

# NEUE ENERGIEN 2020

**Programmsteuerung:**

Klima- und Energiefonds

**Programmabwicklung:**

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

## Endbericht

erstellt am  
10.06.2014

## Lüftung 3.0

Bewohner-gesundheit und Raumluftqualität  
in neu errichteten, energieeffizienten  
Wohnhäusern

Projektnummer: 819037

# Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

|                                 |                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Ausschreibung                   | 1. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020                             |
| Projektstart                    | 01.05.2010                                                      |
| Projektende                     | 30.09.2013                                                      |
| Gesamtprojektdauer (in Monaten) | 41                                                              |
| Projektnehmer (Institution)     | Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO) |
| Ansprechpartner                 | DI Peter Tappler                                                |
| Postadresse                     | 1090 Wien, Alserbachstrasse 5/8                                 |
| Telefon                         | 01 / 3192005                                                    |
| Fax                             | 01 / 3192005 - 50                                               |
| E-Mail                          | ibo@ibo.at                                                      |
| Website                         | www.ibo.at                                                      |

## Lüftung 3.0

# Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern

### **Autorinnen und Autoren:**

#### **Projektleiter:**

Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO): DI Peter Tappler

Institut für Umwelthygiene, ZPH, MedUni Wien:

OA Assoz.-Prof. DI Dr. med. Hans-Peter Hutter

IG Passivhaus: DI Herwig Hengsberger

AGES: DI Dr. Wolfgang Ringer

#### **Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:**

DI Ute Muñoz-Czerny (IBO)

DI Bernhard Damberger (IBO)

DI Felix Twrdik (IBO Innenraumanalytik)

DI Dr. Karl Torghele (Spektrum GmbH)

Ao.Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi (MUW)

Mag. Anna Wanka (MUW)

Dr. Peter Wallner (MUW)

DI Gernot Wurm, BSc (AGES)

Werden Personenbezeichnungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                    |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>                                       | <b>6</b>  |
| 1.1      | Einleitung .....                                                                   | 6         |
| 1.2      | Aufgabenstellung .....                                                             | 6         |
| 1.3      | Schwerpunkt des Projektes.....                                                     | 7         |
| 1.4      | Einordnung in das Programm .....                                                   | 7         |
| 1.5      | Verwendete Methoden .....                                                          | 7         |
| 1.6      | Aufbau der Arbeit.....                                                             | 8         |
| <b>2</b> | <b>Vorgangsweise und Methodik .....</b>                                            | <b>9</b>  |
| 2.1      | Rekrutierung und Vorgangsweise .....                                               | 9         |
| 2.2      | Fragebogenerhebung zu Gesundheit und Wohlbefinden .....                            | 9         |
| 2.3      | Fragebogenerhebung zu Radon .....                                                  | 10        |
| 2.4      | Innenraumklimatologische Untersuchungen, Analytik und Beurteilungsgrundlagen ..... | 10        |
| 2.4.1    | Allgemeines .....                                                                  | 10        |
| 2.4.2    | Flüchtige organische Verbindungen (VOC) .....                                      | 11        |
| 2.4.3    | Aldehyde .....                                                                     | 16        |
| 2.4.4    | Schimmelpilzsporen in der Raumluft .....                                           | 19        |
| 2.4.5    | Staubmilbenallergene .....                                                         | 20        |
| 2.4.6    | Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) als Marker für anthropogene Verunreinigungen ..... | 21        |
| 2.4.7    | Luftwechsel und Zuluftvolumenstrom .....                                           | 23        |
| 2.4.8    | Radon .....                                                                        | 25        |
| 2.4.9    | Schall .....                                                                       | 25        |
| 2.4.10   | Temperatur und Luftfeuchtigkeit .....                                              | 27        |
| 2.5      | Auswertung der Fragebögen.....                                                     | 28        |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse .....</b>                                                            | <b>29</b> |
| 3.1      | Allgemeine Angaben zur Test- und Kontrollgruppe .....                              | 29        |
| 3.2      | Ergebnisse im Zuge der Begehungen.....                                             | 30        |
| 3.3      | Auswertung der medizinischen Fragebögen .....                                      | 30        |
| 3.3.1    | Gesundheitszustand .....                                                           | 30        |
| 3.3.2    | Allergien .....                                                                    | 34        |
| 3.3.3    | Erkältungen und Atemwegsbeschwerden .....                                          | 34        |
| 3.3.4    | Gesundheitliche Beschwerden .....                                                  | 35        |
| 3.3.5    | Einschränkungen durch den Gesundheitszustand .....                                 | 36        |
| 3.3.6    | Stimmungslage .....                                                                | 37        |
| 3.4      | Auswertung der Fragebögen zur Zufriedenheit .....                                  | 38        |
| 3.4.1    | Luftqualität im Wohnraum .....                                                     | 38        |
| 3.4.2    | Weitere Eigenschaften des Innenraumklimas .....                                    | 40        |
| 3.4.3    | Wohnzufriedenheit .....                                                            | 41        |
| 3.5      | Auswertung der chemisch-physikalischen Messungen .....                             | 43        |
| 3.5.1    | Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) .....                                      | 43        |
| 3.5.2    | Aldehyde .....                                                                     | 56        |
| 3.5.3    | Schimmelpilzsporen in der Raumluft .....                                           | 64        |

|          |                                                                                    |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.4    | Staubmilbenallergene .....                                                         | 68         |
| 3.5.5    | Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) als Marker für anthropogene Verunreinigungen ..... | 72         |
| 3.5.6    | Zuluftvolumenstrom.....                                                            | 77         |
| 3.5.7    | Radon .....                                                                        | 79         |
| 3.5.8    | Schall.....                                                                        | 80         |
| 3.5.9    | Temperatur und Luftfeuchtigkeit .....                                              | 82         |
| 3.6      | Verknüpfung von Fragebogendaten und Messergebnissen .....                          | 84         |
| 3.6.1    | Methoden .....                                                                     | 84         |
| 3.6.2    | Ergebnisse.....                                                                    | 85         |
| <b>4</b> | <b>Diskussion.....</b>                                                             | <b>87</b>  |
| 4.1      | Medizinische bzw. gesundheitliche Fragestellungen .....                            | 87         |
| 4.2      | Wohnzufriedenheit.....                                                             | 87         |
| 4.3      | Messergebnisse und analytische Fragestellungen .....                               | 88         |
| 4.3.1    | Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) .....                                      | 88         |
| 4.3.2    | Aldehyde .....                                                                     | 94         |
| 4.3.3    | Schimmelpilzsporen in der Raumluft.....                                            | 101        |
| 4.3.4    | Staubmilbenallergene .....                                                         | 103        |
| 4.3.5    | Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) und personenbezogener Außenluftvolumenstrom .....  | 104        |
| 4.3.6    | Radon .....                                                                        | 108        |
| 4.3.7    | Schall .....                                                                       | 108        |
| 4.3.8    | Temperatur und Luftfeuchtigkeit .....                                              | 109        |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung, Ausblick und Empfehlung .....</b>                              | <b>111</b> |
| 5.1      | Allgemeines .....                                                                  | 111        |
| 5.2      | Chemikalienmanagement .....                                                        | 111        |
| 5.3      | Vorurteile gegenüber Lüftungsanlagen .....                                         | 112        |
| 5.4      | Luftfeuchtemanagement .....                                                        | 113        |
| 5.5      | Medizinische Zusammenfassung .....                                                 | 114        |
| 5.6      | Follow-Up-Untersuchungen .....                                                     | 114        |
| <b>6</b> | <b>Danksagung .....</b>                                                            | <b>115</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                                   | <b>116</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang.....</b>                                                                 | <b>122</b> |
| 8.1      | Radon-Ergebnisbericht .....                                                        | 122        |
| 8.1.1    | Was ist Radon? .....                                                               | 122        |
| 8.1.2    | Gesundheitsgefährdung durch Radon.....                                             | 122        |
| 8.1.3    | Radon in Gebäuden .....                                                            | 122        |
| 8.1.4    | Methodik und Durchführung .....                                                    | 124        |
| 8.1.5    | Ergebnisse und Diskussion .....                                                    | 124        |
| 8.1.6    | Schlussfolgerung .....                                                             | 130        |
| 8.1.7    | Literatur.....                                                                     | 131        |
| 8.1.8    | Fragebogen .....                                                                   | 132        |
| 8.2      | Endbericht an Studienteilnehmer .....                                              | 135        |
| <b>9</b> | <b>Kontaktdaten.....</b>                                                           | <b>150</b> |

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

### 1.1 Einleitung

Aus der wissenschaftlichen Literatur ergeben sich deutliche Hinweise, dass eine bessere Belüftung von Räumen (in Einfamilienhäusern mittels Einbau Lüftungstechnischer Anlagen) zu Verbesserungen der subjektiven Einschätzung der Luftqualität, zur Reduktion von Beschwerden und zur Steigerung der Leistungsfähigkeit führen (Leech et al. 2004, Wargocki et al. 2000). Grundlegend kann angenommen werden, dass der mit Lüftungstechnischen Anlagen in Wohnungen verbundene erhöhte Luftwechsel in der Regel zu einem verstärkten Abtransport von Schadstoffen und damit insgesamt zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation in Innenräumen führt (Hutter et al. 2005, Schulze Darup 2002). Andererseits werden selbst in Fachkreisen Bedenken geäußert, dass die mit technischen Anlagen verbundenen potentiellen Risiken diesen Vorteil wieder aufheben könnten.

Seitens der Bewohner, die sich gegen eine Lüftungstechnische Anlage entschieden hatten, wurden folgende Befürchtungen mehrfach genannt (Rohracher et al. 2001): Angst vor Entstehung von Zugluft und Lärm sowie Zweifel in Hinblick auf die hygienischen Bedingungen in den Rohrleitungen.

Befragungen zeigten, dass knapp 80 % der Nutzer von Wohnraumlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ihre Anlagen als „gut“ bis „sehr gut“ einstufen (Greml et al. 2004). „Lüftungsanlagen“ werden von BewohnerInnen vor allem mit Komfort, Ökologie und Gesundheit assoziiert (Rohracher et al. 2001). Dennoch existieren in breiten Bevölkerungsschichten Unsicherheiten, Skepsis und dergleichen in Bezug auf derartige Anlagen. Die Ursachen dafür liegen zum einen in tatsächlichen Problemen in Zusammenhang mit der allgemeinen Konzeption, unzureichenden Anlagenkomponenten und steuerungstechnischen Schwierigkeiten (Greml et al. 2004). In Folge werden auch gesundheitliche Auswirkungen solcher insuffizienter Anlagen befürchtet.

### 1.2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Studie ist, Einflüsse der Raumluftqualität auf Wohlbefinden sowie (Wohn-) Zufriedenheit von Bewohnerinnen und Bewohnern von Ein- und Mehrfamilienhäusern mit und ohne Wohnraumlüftungsanlage zu untersuchen sowie Bereiche zu identifizieren, in denen es Handlungsbedarf in Hinblick auf eine Verbesserung der Anlagen gibt.

Geprüft wurde, ob sich bei Bewohnern von Häusern bzw. Wohnungen mit Wohnraumlüftungsanlagen – im Vergleich mit Bewohnern von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung – eine Veränderung hinsichtlich Wohlbefinden und Gesundheit, empfundenem Raumklima und (Wohn-)Zufriedenheit nach einem Jahr Nutzung zeigt.

Die Auswertungen der chemisch-physikalischen Messungen und der weiteren erhobenen Daten dienen als Grundlage für die Beantwortung folgender Fragen bzw. Fragestellungen:

- Unterscheiden sich die unterschiedlichen Einfamilienhaus- bzw. Wohnungs-Typen hinsichtlich der untersuchten innenraumklimatologischen Parameter sowie der Daten zu Wohlbefinden und (Wohn-) Zufriedenheit?
- Finden sich zwischen den erhobenen innenraumklimatologischen Daten (Raumklima, Schadstoffe) und den Untersuchungsergebnissen aus den Fragebögen zu Wohlbefinden und Lebensqualität Zusammenhänge?
- Gibt es eine Veränderung in den beiden Haustypen im Laufe eines Jahres in Hinblick auf die erhobenen Parameter?

### 1.3 Schwerpunkt des Projektes

Es soll gezeigt werden, ob sich die aus bautechnischer Sicht unterschiedlichen Haustypen bezüglich der Innenraum-Schadstoffbelastung unterscheiden und ob sich allfällige Unterschiede im subjektiven Wohlbefinden niederschlagen. Endpunkte sind die gesundheitsbezogene subjektive Lebensqualität und die Wohnzufriedenheit.

### 1.4 Einordnung in das Programm

Das vorliegende Projekt fällt unter den Forschungsschwerpunkt 3.5 Energie und Endverbraucher, konkret ist es unter 3.5.4 Energiebedarf und Lebensstile in den nächsten Jahrzehnten einzuordnen.

### 1.5 Verwendete Methoden

Im Rahmen einer epidemiologischen Kohortenstudie wurden Bewohnerinnen und Bewohner von neuen, nach Niedrigstenergie- bzw. Passivhausstandard (nach ÖNORM B 8110-1) errichteten Wohnhäusern mit kontrollierten Wohnraumlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (n=62) als Testgruppe sowie Bewohner von Wohnhäusern (n=61), welche üblichen Baustandards entsprechen und ohne mechanisches Lüftungssystem errichtet wurden, als Kontrollgruppe definiert. In den Gebäuden der Testgruppe ist davon auszugehen, dass die Luftzufuhr sowohl mechanisch als auch über Fensterlüftung erfolgte, in der Kontrollgruppe erfolgte die Frischluftzufuhr

ausschließlich durch Fensterlüftung. In beiden Gruppen betrug der Anteil an Einfamilienhäusern rund 70 %, 30 % waren Wohnungen im mehrgeschossigen Wohnbau. Die Kohorten werden mit folgenden Abkürzungen im Bericht verwendet:

Tab. 1.5.1: Bezeichnungen der Kohorten und Messtermine

|              | Objekte mit Wohnraumlüftungsanlagen<br>bzw. deren Bewohner<br>Testgruppe | Objekte mit ausschließlicher<br>Fensterlüftung bzw. deren Bewohner<br>Kontrollgruppe |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Messtermin 1 | TM1                                                                      | KM1                                                                                  |
| Messtermin 2 | TM2                                                                      | KM2                                                                                  |

Der erste Messtermin fand etwa drei Monate (+/- drei Wochen) nach Bezug statt, der Folgetermin etwa ein Jahr (+/- drei Wochen) nach dem Ersttermin. Bei beiden Terminen fanden vor Ort Messungen von Innenraumluftverunreinigungen (Flüchtige Organische Verbindungen-VOC, Aldehyde, Schimmelpilzsporen, Hausstaubmilbenallergene, Radon) und innenraumklimatologischen Faktoren (CO<sub>2</sub> als Lüftungsparameter, Temperatur, Luftfeuchte) sowie eine Fragebogenerhebung statt. Letztere beinhaltete Fragen zu medizinischen und wohnhygienischen Aspekten. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden zusätzlich der tatsächliche Luftwechsel und der Zuluftvolumenstrom ermittelt sowie Messungen des Schallpegels durchgeführt.

Nicht in allen Objekten konnten alle geplanten Befragungen bzw. Messungen durchgeführt bzw. ausgewertet werden.

## 1.6 Aufbau der Arbeit

Das Forschungsprojekt umfasst fünf Arbeitspakete (AP). In einem ersten Schritt (AP1: Vorbereitung) wurden Fragen betreffend Bewohner- und Gebäudecharakteristika sowie Gesundheitssymptome zur Erhebung der relevanten Daten formuliert und Studienteilnehmer aus beiden Kohorten geworben. Die beiden folgenden Arbeitspakete (AP2 und AP3: Durchführung der Interviews und Messungen) betrafen die Untersuchung der teilnehmenden Objekte hinsichtlich der innenraumklimatologischen Parameter sowie die Durchführung der Befragung. Erstmessungen und Basisinterviews fanden ca. drei Monate nach Erstbezug statt, eine zweite Untersuchung bzw. Befragung wurde etwa ein Jahr nach der Erstuntersuchung durchgeführt. Nach Abschluss der Untersuchungen erfolgte die Auswertung der Ergebnisse (AP4) sowie die Vermittlung der Resultate in Form von Vorträgen und Publikationen (AP5). Den Studienteilnehmern wurden ihre Messergebnisse nach Abschluss der Untersuchungen mitgeteilt.

## 2 Vorgangsweise und Methodik

### 2.1 Rekrutierung und Vorgangsweise

Die Teilnehmer bzw. Wohnobjekte (n=123 Haushalte) wurden in Zusammenarbeit mit Institutionen, die eine Übersicht über die Gebäudesituation (energieeffiziente Wohnbauprojekte) in Österreich haben (Vereine, Förderstellen) sowie über Zeitungsartikel, Newsletter und mit Hilfe bauausführender Firmen geworben und ausgewählt.

Die untersuchten Ein- bzw. Mehrfamilienhäuser befinden sich in Österreich mit Schwerpunkt Wien und Niederösterreich (Abb. 2.1.1) und wurden im Zeitraum 2010 bis 2012 fertig gestellt. Als Anreiz für eine Teilnahme wurde den Teilnehmern die Übermittlung der Messergebnisse (Gegenwert von etwa Euro 2.800,– pro Haushalt) angeboten.

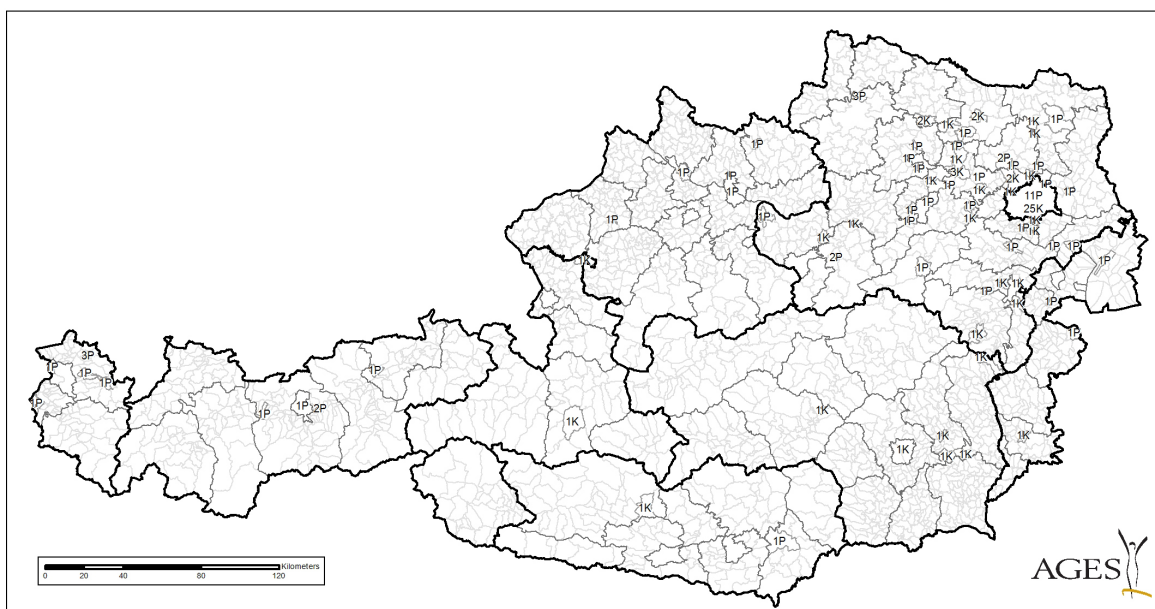


Abb. 2.1.1: Lage der Messobjekte; P = Testgruppe, K = Kontrollgruppe (Grafik: AGES)

### 2.2 Fragebogenerhebung zu Gesundheit und Wohlbefinden

Jede(r) Bewohner(in) ab 16 Jahren wurde im Zuge der angekündigten Begehung (mit Messungen) des Hauses / der Wohnung von geschulten Interviewern befragt. Es wurden nur Selbstauskünfte einbezogen (jede eingeschlossene Person wurde einzeln befragt). Die Fragebögen für Personen unter 16 Jahren wurden von einer erziehungsberechtigten Person ausgefüllt.

Der Fragebogen, angelehnt an die standardisierten Fragebögen SF36 und AUPHEP („Austrian Project on Health Effects of Particulates“, Hauck et al. 2004), bestand aus mehreren Teilen:

- Aktuelle gesundheitliche Beschwerden der Bewohner mit Schwerpunkt Befindlichkeitsstörungen und respiratorische Beschwerden,
- frühere Beschwerden und Krankheiten in der Familie,
- Wohnumwelt und Wohnzufriedenheit,
- Lebensstil.

Die Befragung wurde mittels Laptop administriert. Die teilnehmenden Personen wurden von den Interviewern informiert, dass es bei der Erhebung um Fragen zu modernen Gebäuden und Bewohnergesundheit geht, über das eigentliche Ziel der Untersuchung (Vergleich unterschiedlicher Haustypen) wurden sie nicht informiert. Im Rahmen der zweiten Befragungsserie wurden die Teilnehmer nicht an ihre Antworten von vor einem Jahr erinnert, auch den Interviewern waren diese Antworten nicht bekannt. Die Zusammenschau der Daten erfolgte nicht vor Ort.

## **2.3 Fragebogenerhebung zu Radon**

Für die Erhebung zu Radon wurde ein spezifischer Fragebogen mit Fragen unter anderem zu Gebäudetyp, Baumaterialien und Heizform eingesetzt (siehe Anhang 8.1.8).

## **2.4 Innenraumklimatologische Untersuchungen, Analytik und Beurteilungsgrundlagen**

### **2.4.1 Allgemeines**

Die Messplanung und Probenahmestrategie gestaltete sich laut der Normenreihe ÖNORM ISO 16000 bzw. den Vorgaben der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des Lebensministeriums/Österreichische Akademie der Wissenschaften (BMLFUW 2011) zu einzelnen Noxen. Die Schadstoffmessungen der Raumluft erfolgten ausnahmslos unter standardisierten Bedingungen.

Für die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes und des Medians wurde bei nicht bestimmbar bzw. nicht nachweisbar Werten (d.h. Werte unterhalb der Bestimmungsbzw. Nachweisgrenzen) die Hälfte der jeweiligen Bestimmungsbzw. Nachweisgrenze herangezogen. In den Grafiken wurden derartige Werte als „0“ dargestellt.

Die Probenahme für flüchtige Luftschadstoffe, Schimmelpilzsporen und Allergene in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen erfolgte bei Normalbetrieb der raumlufttechnischen Anlage. Sowohl in dieser Gruppe als auch bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung wurden die untersuchten Räume mindestens acht Stunden vor der Probenahme verschlossen und ab diesem Zeitpunkt nicht über Fenster oder Türen gelüftet. Dieses Versuchsdesign spiegelt die Situation in den Nachtstunden wider, in denen in der kalten Jahreszeit in der Regel nicht gelüftet wird. Kohlendioxid, Luftfeuchte und Temperatur wurde über einen Zeitraum von einer Woche, Radon über den Zeitraum von einem Jahr unter nicht vorgegebenen bzw. kontrollierten Bedingungen gemessen.

Gesetzliche Grenzwerte für die im Rahmen der Studie erfassten Verbindungen in der Luft von Innenräumen<sup>1</sup> sind in Österreich nicht vorhanden, es existieren allerdings eine Reihe von Richtwerten, die angeführt werden..

### **2.4.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)**

#### **2.4.2.1 Probenahmestrategie und Messmethodik**

Die Konzentration der flüchtigen organischen Verbindungen wurde in der Raumluft von Schlaf- und Wohnzimmer bestimmt.

Messplanung und Probenahmestrategie folgten neben der ÖNORM EN ISO 16000-1 auch der ÖNORM EN ISO 16000-5. Die Sammlung der flüchtigen organischen Verbindungen erfolgte gemäß ÖNORM M 5700-2 durch Adsorption an ein Adsorbens, wobei ein definiertes Luftvolumen durch ein Adsorptionsröhrchen [SKC, Anasorb 747] gesaugt wurde. Das Sammelvolumen war auf die bei der Messung herrschenden Temperatur- und Luftdruckbedingungen bezogen. Die Probenahme erfolgte in Raummitte in einer Höhe zwischen 1,2 und 1,5 m. Die chemische Untersuchung erfolgte nach ÖNORM M 5700-2. Die flüchtigen organischen Verbindungen wurden mittels Kapillargaschromatographie mit gekoppeltem Massenspektrometer [Shimadzu QP-2010S] unter Verwendung einer Kapillarsäule [HP-VOC Fa. HEWLETT PACKARD] gegen externe und interne Standards bestimmt. Die Ergebnisse werden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Mikrogramm pro Kubikmeter) angegeben. Die Messunsicherheit wird mit  $\pm 20\%$  abgeschätzt. Die Berechnung des Parameters „Summe VOC“ erfolgte durch Quantifizieren der gesamten Peakfläche über den Kalibrierstandard Toluol. Die angegebenen Konzentrationen der Einzelverbindungen sowie die Summenwerte wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet.

---

<sup>1</sup> Innenräume definiert in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4300 Blatt 1, dies beinhaltet auch Räume an Arbeitsplätzen, die nicht im Hinblick auf den interessierenden Luftschadstoff arbeitnehmerschutzrechtlichen Bestimmungen unterliegen. Diese Definition entspricht auch der Definition der vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft

### 2.4.2.2 Beurteilungsgrundlagen

Der Begriff flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds = VOC) bezeichnet im Folgenden eine Gruppe organischer Verbindungen, die bei normalem Atmosphärendruck einen Siedebereich von etwa 50-100°C bis 240-260 °C aufweist (WHO 1989). Die Ergebnisse einmaliger Messungen geben den Momentanzustand der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen wieder und gelten für die zum Zeitpunkt der Messung herrschenden Bedingungen. Ein Vergleich mit durchschnittlichen Innenraumkonzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen beruht auf Angaben in der Literatur (AGÖF 2013) und auf Erfahrungen aus eigenen Untersuchungen.

In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft werden Richtwerte für die Innenraumluft festgelegt (BMLFUW 2011). Ziel dieser Richtlinie ist es, eine österreichweit einheitliche Erfassung und Bewertung der Innenraumluft zu ermöglichen. Die angegebenen Richtwerte sind als wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte (WIR) definiert, wobei ein WIR jene Konzentration darstellt, bei dessen Unterschreitung gemäß dem derzeitigen Wissensstand mit keiner schädigenden Wirkung zu rechnen ist.

Für Tetrachlorethen (auch PER oder TCE) ist der WIR mit 250 µg/m<sup>3</sup> und für Styrol mit 40 µg/m<sup>3</sup> als 7-Tages-Mittelwerte festgelegt, für Toluol mit 75 µg/m<sup>3</sup> als Stunden-Mittelwert. Bei Überschreitung dieser Werte sind Maßnahmen einzuleiten, die nach dem Stand der Technik geeignet sind, eine Reduktion der Raumluftkonzentration herbeizuführen. Bei Unterschreiten des Wertes von 10 µg/m<sup>3</sup> Styrol bei einer Kurzzeitmessung unter worst-case Bedingungen wird davon ausgegangen, dass auch der WIR unterschritten ist. Eine Langzeitmessung ist dann nicht erforderlich.

Für die für den Menschen krebserregende Substanz Benzol werden keine wirkungsbezogenen Grenzkonzentrationen, sondern nur Werte zur Begrenzung des Krebsrisikos angegeben. In den Luftqualitätskriterien VOC (Akademie der Wissenschaften 1997) wird ein Aktionswert von 10 µg/m<sup>3</sup> und ein Zielwert von 2,5 µg/m<sup>3</sup>, jeweils als Jahresmittelwert angegeben.

Zur Beurteilung weiterer Einzelsubstanzen bzw. Gruppen ähnlicher Substanzen können auch die von den deutschen Ad-hoc Arbeitsgruppen der IRK/AGLMB und der IRK/AOLG (Innenraumkommission) bzw. der Landesgesundheitsbehörde Hamburg für einzelne VOC oder Gruppen festgelegten Richtwerte dienen. Es wurden zwei unterschiedlich hohe Richtwerte festgelegt (Bundesgesundheitsblatt 1996). Bei Überschreitung von Richtwert II besteht unverzüglich Handlungsbedarf, da bei Daueraufenthalt in diesen Räumen eine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Bei Überschreitung von Richtwert I sind bei lebenslanger Exposition allein durch den Luftpfad gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen. Eine Überschreitung des Richtwertes I ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden.

Aus kontrollierten Wirkungsstudien mit VOC-Gemischen definierter Zusammensetzung kann geschlossen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender Gesamtkonzentration des Gemisches, ausgedrückt als VOC-Gesamtkonzentration, zunimmt. Wegen der Variabilität der Zusammensetzung des VOC-Spektrums und der daraus resultierenden Vielfalt möglicher Wirkungsendpunkte lassen sich jedoch keine abgesicherten Dosis-Wirkungs-Beziehungen angeben. Mit steigender Konzentration nimmt jedoch die Wahrscheinlichkeit zu, dass sich spezifische Quellen an VOC in den jeweiligen Innenräumen befinden.

Es existieren weiters österreichische und deutsche Orientierungswerte für „Gesamt VOC“ bzw. TVOC (total volatile organic compounds). Aufgrund der beschriebenen Einschränkungen der Aussagekraft eines VOC-Summenparameters werden in der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft keine Richt-, sondern Orientierungswerte vorgeschlagen (BMLFUW 2011). Diese Orientierungswerte basieren nicht auf einer toxikologischen Ableitung, sondern spiegeln die in der Praxis auftretenden Konzentrationsbereiche wider. Der VOC Summenparameter eignet sich demnach nicht als alleiniges Kriterium für eine allfällige gesundheitliche Bewertung, sondern ist vielmehr als einer der Indikatoren für die Gesamtsituation anzusehen. Kanzerogene und Geruchsstoffe sowie Verbindungen, für welche Einzelstoffbewertungen vorliegenden, sind dabei einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen.

Tab. 2.4.1: Österreichische und deutsche Richtwerte für ausgewählte VOC

| Substanz                                                | Bezeichnung                                                                                                  | Raumluftkonzentration<br>[µg/m³] | Bemerkungen                                                            |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Tetrachlorethen<br>(TCE, PER)                           | WIR – wirkungsbezogener<br>Innenraumrichtwert                                                                | 250                              | 7-Tages Mittelwert                                                     |
|                                                         | Grenzwert laut Bundesimmissions-<br>schutzgesetz (2. Verordnung zum<br>Bundesimmissionsschutzgesetz<br>1990) | 149 (0,1 mg/m³)                  | 7-Tages Mittelwert<br>Gültig in Deutschland                            |
| Styrol                                                  | WIR – wirkungsbezogener<br>Innenraumrichtwert<br>(BMLFUW 2011)                                               | 40                               | 7-Tages Mittelwert                                                     |
|                                                         |                                                                                                              | 10                               | Stunden-Mittelwert, bei Überschreitung<br>7-Tages Messung erforderlich |
|                                                         | Deutscher Innenraumrichtwert<br>(Ad-hoc AG 1998)                                                             | 30                               | Richtwert I: keine Gefährdung                                          |
|                                                         |                                                                                                              | 30 ... 300                       | Zwischenbereich <sup>a</sup>                                           |
|                                                         |                                                                                                              | 300                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf                                   |
| Toluol                                                  | WIR – wirkungsbez.<br>Innenraumrichtwert<br>(BMLFUW 2011)                                                    | 75                               | Stunden-Mittelwert                                                     |
|                                                         |                                                                                                              | 300                              | Richtwert I: keine Gefährdung                                          |
|                                                         | Deutscher Innenraumrichtwert<br>(Sagunski 1996)                                                              | 300 ... 3.000                    | Zwischenbereich <sup>a</sup>                                           |
|                                                         |                                                                                                              | 3.000                            | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf                                   |
| Xylole                                                  | WIK – wirkungsbez.<br>Immissionsgrenzkonzentration<br>(Akademie der Wissenschaften<br>1997)                  | 350                              | Tagesmittelwert                                                        |
| Benzol                                                  | WIK – wirkungsbez.<br>Immissionsgrenzkonzentration<br>(Akademie der Wissenschaften<br>1997)                  | 2,5                              | Zielwert                                                               |
|                                                         |                                                                                                              | 10                               | Aktionswert                                                            |
| Summe C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -<br>Alkylbenzole  | Landesgesundheitsbehörde<br>Hamburg, Deutschland<br>(Sagunski 2004)                                          | 300                              | Richtwert I: keine Gefährdung                                          |
|                                                         |                                                                                                              | 300 ... 3.000                    | Zwischenbereich <sup>a</sup>                                           |
|                                                         |                                                                                                              | 3.000                            | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf                                   |
| Summe C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> -<br>Alkylbenzole | Deutscher Innenraumrichtwert<br>(Ad-hoc Arbeitsgruppe 2012)                                                  | 100                              | Richtwert I: Vorsorgewert                                              |
|                                                         |                                                                                                              | 100 ... 1.000                    | Zwischenbereich <sup>a</sup>                                           |
|                                                         |                                                                                                              | 1.000                            | Richtwert II: Gefahrenrichtwert                                        |

Tab. 2.4.2: Deutsche Richtwerte für ausgewählte VOC

| Substanz                                                                | Bezeichnung                                                   | Raumluftkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Bemerkungen                          |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Aromatenarme Kohlenwasserstoff gemische C <sub>9</sub> -C <sub>14</sub> | Deutscher Innenraumrichtwert (Sagunski, Mangelsdorf 2005)     | 200                                                | Richtwert I: Vorsorgewert            |
|                                                                         |                                                               | 200 ... 2.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 2.000                                              | Richtwert II: Gefahrenrichtwert      |
| Summe bicyclischer Terpene (Leitsubstanz $\alpha$ -Pinen)               | Deutscher Innenraumrichtwert (Sagunski, Heinzow 2003)         | 200                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 200 ... 2.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 2.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Summe monocyclischer Monoterpene (Leitsubstanz Limonen)                 | Deutscher Innenraumrichtwert (Ad-hoc AG 2010)                 | 1.000                                              | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 1.000 ... 10.000                                   | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 10.000                                             | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| N-Methylpyrrolidon                                                      | Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland (Sagunski 2004) | 40                                                 | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 40 ... 400                                         | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 400                                                | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Decamethyl-pentacyclosiloxan (Siloxan D5)                               | Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland (Sagunski 2004) | 300                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 300 ... 3.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 3.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Zyklische Dimethylsiloxane D3-D6 (Summenwert)                           | Deutsche Innenraumrichtwerte (Ad-hoc AG 2011)                 | 400                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 400 ... 4.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 4.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Texanoldiisobutyrat (TXIB)                                              | Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland (Sagunski 2004) | 10                                                 | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 10 ... 1.000                                       | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 1.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Cyclohexan                                                              | Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland (Sagunski 2004) | 400                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 400 ... 4.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 4.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Benzylalkohol                                                           | Deutscher Innenraumrichtwert (Ad-hoc AG 2010)                 | 400                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 400 ... 4000                                       | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 4000                                               | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Ethylbenzol                                                             | Deutsche Innenraumrichtwerte (Ad-hoc AG 2012)                 | 200                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                         |                                                               | 200 ... 2000                                       | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                         |                                                               | 2000                                               | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |

Tab. 2.4.3: Österreichische und deutsche Orientierungswerte „Gesamt VOC“

| Bezeichnung                                                              | Bewertung der Konzentration  | Raumluftkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Bemerkungen                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2011) | Niedrig                      | < 250                                              | Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig |
|                                                                          | Durchschnittlich             | 250 ... 500                                        |                                                                                                                             |
|                                                                          | Leicht erhöht                | 500 ... 1.000                                      |                                                                                                                             |
|                                                                          | Deutlich erhöht              | 1.000 ... 3.000                                    |                                                                                                                             |
|                                                                          | Stark erhöht                 | > 3.000                                            |                                                                                                                             |
| Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB (2007) definiert für TVOC             | Hygienisch unbedenklich      | < 300                                              |                                                                                                                             |
|                                                                          | Hygienisch noch unbedenklich | 300 ... 1000                                       | Unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen vorliegen                                                              |
|                                                                          | Hygienisch auffällig         | 1.000 ... 3.000                                    | Nutzung nur befristet akzeptabel (< 12 Monate)                                                                              |
|                                                                          | Hygienisch bedenklich        | 3.000 ... 10.000                                   | Nutzung nur befristet akzeptabel (< 1 Monat)                                                                                |
|                                                                          | Hygienisch inakzeptabel      | > 10.000                                           | Raumnutzung möglichst vermeiden                                                                                             |

## 2.4.3 Aldehyde

### 2.4.3.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Konzentration der Aldehyde wurde in der Raumluft von Schlaf- und Wohnzimmer bestimmt. Messplanung und Probenahmestrategie gestalten sich gemäß ÖNORM EN ISO 16000-1 und ÖNORM EN ISO 16000-2. Die Probenahme erfolgte in Raummitte in einer Höhe zwischen 1,2 und 1,5 m. Die Sammlung der Aldehyde erfolgte durch Adsorption an DNPH-Kartuschen, wobei ein definiertes Luftvolumen durch das Röhrchen gesaugt wurde. Die chemische Untersuchung der Kartusche erfolgte mittels HPLC (High-Pressure-Liquid-Chromatography) gemäß DIN ISO 16000-3. Die Probenauswertung erfolgte durch das Umweltbundesamt in Wien.

### 2.4.3.2 Beurteilungsgrundlagen für Formaldehyd

Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst.

Für die Beurteilung von Formaldehyd in der Raumluft existieren eine Reihe von nationalen beziehungsweise internationalen Richtwerten, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden. Die auf ppm bzw.  $\text{mg}/\text{m}^3$  umgerechneten Werte, die vom Luftdruck und der bei der Messung herrschenden Temperatur abhängig sind, werden nur dort angegeben, wo sie explizit in der Originalliteratur genannt werden.

Tab. 2.4.4: Richtwerte für Formaldehyd in Innenräumen

| Formaldehyd                                                                              | Raumluftkonzentration |                      | Bemerkungen                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                          | [ppm]                 | [mg/m <sup>3</sup> ] |                                                                                                             |
| Umweltministerium (BMLFUW) und Österreichische Akademie der Wissenschaften (BMLFUW 2011) | -                     | 0,06                 | 24-Stunden-Mittelwert                                                                                       |
|                                                                                          | -                     | 0,10                 | Höchstwert, 30 Minuten Richtwert                                                                            |
| Weltgesundheitsorganisation (WHO)                                                        | -                     | 0,06                 | level of no concern (WHO 1983)                                                                              |
|                                                                                          | -                     | 0,1                  | 30 Minuten Richtwert (WHO 2010)                                                                             |
| Bundesgesundheitsamt Deutschland (Bundesgesundheitsamt-BGA 1977)                         | 0,1                   | 0,120                | Richtwert auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten, 2006 durch das deutsche Umweltbundesamt bestätigt |

Formaldehyd wurde von der IARC (Untergruppe der WHO für Krebsforschung) als kanzerogen für den Menschen klassifiziert und in Kategorie 1 eingestuft. Laut einer Stellungnahme des deutschen Bundesinstitutes für Risikobewertung kann eine inhalative Formaldehydexposition beim Menschen Krebs auslösen und zu Tumoren der oberen Atemungswege führen. Außerdem deuten die Ergebnisse von epidemiologischen Studien auf eine Assoziation zwischen der Formaldehydexposition durch Inhalation und der Entstehung von Leukämien hin. Es wird abgeleitet, dass eine Konzentration von 0,1 ppm Formaldehyd als sicher angesehen werden kann und das Krebsrisiko für den Menschen nicht nennenswert erhöht. Daher wird vom BfR und vom Umweltbundesamt (Ad-hoc AG 2006) ein "safe level" von 0,1 ppm empfohlen.

Im Folgenden werden die einzelnen Richtwerte für Innenräume kurz erläutert.

## Richtwerte der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft

Die Vorgangsweise zur Probenahme, Auswertung und Beurteilung von Formaldehyd in Innenräumen wurde in der vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ dargestellt (BMLFUW 2011). Aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Reizwirkung im oberen Respirationstrakt bei sehr niedrigen Formaldehydkonzentrationen bei empfindlichen Erwachsenen und bei Kindern ist demnach eine formelle Ableitung eines Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes (WIR) derzeit nicht sinnvoll. Daher wird bezüglich der Beurteilung von Innenräumen empfohlen, den Richtwert der WHO (1983) als Wert mit keinem oder nur geringem Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit von 0,06 mg/m<sup>3</sup> bzw. für die Kurzzeiteexposition den Wert der WHO-Air Quality Guidelines for Europe (2000) von 0,1 mg/m<sup>3</sup> (angegeben mit einer zusätzlichen Nachkommastelle als 0,10 mg/m<sup>3</sup>) heranzuziehen. Der Beurteilungswert ist die Massekonzentration bezogen auf die Umgebungsbedingungen (aktuelle Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck des Raumes).

## Richtwert Bundesgesundheitsamt (Deutschland):

Das Bundesgesundheitsamt Berlin hat 1977, 1984 und 1992 einen Richtwert von 0,1 ppm (angegeben wurde auch der Wert von 0,120 mg/m<sup>3</sup>) für die maximale Immissionskonzentrationen in Innenräumen empfohlen, der auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten ist. Der Wert von 0,1 ppm wurde 2006 durch das Umweltbundesamt in Hinblick auf die Vermeidung krebserzeugender Wirkung bestätigt. Dieser Wert dient in vielen Fällen als Interventionswert.

## Richtwert Weltgesundheitsorganisation (WHO):

Die Weltgesundheitsorganisation legte in den aktuellen WHO-Guidelines for indoor air quality (2010) einen Richtwert von 0,1 mg/m<sup>3</sup> als Halbstundenmittelwert fest. Eine ältere Publikation der WHO (1983) definierte einen „level of no concern“ von 0,06 mg/m<sup>3</sup>, unter dem Gesundheitsschäden unwahrscheinlich sind.

### 2.4.3.3 Beurteilungsgrundlagen für weitere Aldehyde

Zur Beurteilung von Aldehyden können die von den deutschen Ad-hoc Arbeitsgruppen der IRK/AGLMB und der IRK/AOLG (Innenraumkommission) für Aldehyde festgelegten Richtwerte dienen. Es wurden zwei unterschiedlich hohe Richtwerte festgelegt (Bundesgesundheitsblatt 1996 und Sagunski 2004): Bei Überschreitung von Richtwert II besteht unverzüglich Handlungsbedarf, da bei Daueraufenthalt in diesen Räumen eine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Bei Überschreitung von Richtwert I sind bei lebenslanger Exposition allein durch den Luftpfad gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen. Eine Überschreitung des Richtwertes I ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden.

Zur Gruppe der gesättigten azyklischen aliphatischen C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde gehören folgende Aldehyde (Tab. 2.4.6):

Tab. 2.4.5: Gesättigte azyklische aliphatische C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde

|                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|
| Butyraldehyd und Isobutyraldehyd (= Butanal und 2-Methyl-Propanal) |
| Valeraldehyd (= Pentanal)                                          |
| Hexanal                                                            |
| Heptanal                                                           |
| Octanal                                                            |
| Nonanal                                                            |
| Decanal                                                            |
| 2-Methyl-Butanal                                                   |
| 3-Methyl-Butanal                                                   |

Tab. 2.4.6: Deutsche Richtwerte für Aldehyde (umgerechnet in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Substanz                                                         | Bezeichnung                                   | Raumluftkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Bemerkungen                          |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Azyklische aliphatische $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyde | Deutsche Innenraumrichtwerte (Ad-hoc AG 2009) | 100                                                | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                  |                                               | 100 ... 2.000                                      | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                  |                                               | 2.000                                              | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |
| Benzaldehyd                                                      | Deutsche Innenraumrichtwerte (Ad-hoc AG 2010) | 20                                                 | Richtwert I: keine Gefährdung        |
|                                                                  |                                               | 20 ... 200                                         | Zwischenbereich <sup>a</sup>         |
|                                                                  |                                               | 200                                                | Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf |

<sup>a</sup> Zwischenbereich: hygienisch unerwünschte Situation

## 2.4.4 Schimmelpilzsporen in der Raumluft

### 2.4.4.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Schimmelbestandteile, die nach Kultivierung zu koloniebildenden Einheiten (KBE) führen (hauptsächlich flugfähige Pilzsporen), wurden in der Raumluft von Schlaf- und Wohnzimmer gemessen.

Die Probenahme zur Untersuchung auf Hefe- und Schimmelpilzsporen erfolgte in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 16000-16 bzw. VDI 4300 Blatt 10. Als Vergleichswerte dienten aktuelle Messungen der Außenluft. Als Probenahmegerät wurde ein Luftkeimsammler [MAS-100, Fa. Merck] eingesetzt, der nach dem Impaktionsverfahren zur Bestimmung von vitalen Hefe- und Schimmelpilzen arbeitet. Die nominale Luftstrom-Rate beträgt 100 Liter pro Minute ( $\pm 2,5\%$ ). Als Nährmedium wurde Dichloran-Glycerin (DG18)-Agar [Fa. Merck] zur Isolierung und Zählung von kultivierbaren Schimmelpilzen verwendet. Nach der Probenahme wurden die Nährmedien 3 bis 7 Tage bei  $25\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ ) bebrütet.

### 2.4.4.2 Beurteilungsgrundlagen

Grenz- oder Richtwerte für die Belastung der Raumluft mit Pilzsporen in der Luft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Beim Auftreten erhöhter Sporenkonzentrationen durch Quellen im Innenraum besteht die Gefahr, dass die regelmäßige Exposition gegenüber einer erhöhten Sporenmenge insbesondere für Allergiker sensibilisierend wirkt, und zwar spezifisch auf die im Lebensraum vorhandenen Schimmelpilzarten (Gams 1998). Eine nachgewiesene Kontamination kann aber auch für Nicht-Allergiker ein mögliches Gesundheitsrisiko bedeuten.

Die je nach Umfeld und Vegetationsperiode stark unterschiedliche Sporenbelastung der Außenluft beeinflusst auch die Grundkonzentration in Innenräumen. Die Konzentration an Schimmelpilzsporen im Innenraum kann daher nicht losgelöst von der Außenluft-

konzentration betrachtet werden. Erhöhte Sporenkonzentrationen in der Raumluft können bei entsprechender Aktivität im Raum auch durch Aufwirbelung von Staub, der eine erhöhte Zahl an sedimentierten Sporen enthält, verursacht werden. Auch die Außenluft, die eine höhere Sporenmenge aufweist, führt in der Regel zu einer Belastung der Raumluft, ohne dass dies ein Hinweis auf eine Schimmelpilzquelle im Innenraum wäre.

Für eine orientierende Beurteilung der Situation wurde die absolute Konzentration der vitalen Schimmelbestandteile, die nach Kultivierung zu koloniebildenden Einheiten führen (hauptsächlich flugfähige Pilzsporen) in Innen- und Außenluft bestimmt. Auf eine vertiefende Auswertung mit Bestimmung der Artzusammensetzung wurde im Rahmen der Studie verzichtet.

Die Einteilung der Kategorien erfolgte nach folgendem Schema:

Tab. 2.4.7: Festgelegtes Beurteilungsschema für koloniebildende Einheiten (KBE/m<sup>3</sup>) <sup>a</sup>

| Konzentrationsdifferenz<br>Außen – Innen in [KBE/m <sup>3</sup> ] | qualitative Bewertung                         | Interpretation                                  |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ≥ 0                                                               | Innen geringer als/gleich wie im Außenbereich | unauffällig                                     |
| < 0 .... -500                                                     | Innen höher als im Außenbereich               | Indiz für Schimmelpilz-Quelle im Innenraum      |
| < -500                                                            | Innen deutlich höher als im Außenbereich      | Schimmelpilz-Quelle im Innenraum wahrscheinlich |

<sup>a</sup> KBE = koloniebildende Einheiten

### 2.4.5 Staubmilbenallergene

#### 2.4.5.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Probenahme zur Bestimmung der Konzentration der Hausstaubmilbenallergene erfolgte durch Absaugen von Matratzen im Schlafzimmer sowie von Möbelstücken mit Textilien wie Sofas und Teppichen (sofern vorhanden) im Wohnzimmer und Sammlung des Hausstaubs auf einem Filter. Die Allergene wurden mittels ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) bestimmt. Die Probenauswertung erfolgte durch das deutsche Labor BMA-Labor GbR – Technologiezentrum Ruhr in Bochum.

#### 2.4.5.2 Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgte anhand der Beurteilungsrichtlinien des ELISA-Testkit-Herstellers [Indoor Biotechnologies Ltd.]. Der Labortest (Enzym-Immunoassay oder „ELISA“-Verfahren) nutzt speziell hergestellte Antikörper, welche lediglich das Milben-Allergen erfasst. Die im Rahmen der Studie untersuchten Proteine Der p1 und Der p2 der *Dermatophagoides pteronyssinus* gehören zu den häufigsten Allergenen. Die

Ergebnisse werden in Mikrogramm Allergen pro Gramm Staub angegeben ( $\mu\text{g/g}$ ). Allergenmengen von weniger als  $0,5 \mu\text{g/g}$  gelten als niedrig, ab  $2 \mu\text{g/g}$  besteht das Risiko der Entwicklung einer Allergie. Ab einem Wert von  $10 \mu\text{g/g}$  ist die Wahrscheinlichkeit von Symptomen bei Allergiepatienten hoch.

Tab. 2.4.8: Festgelegtes Beurteilungsschema für Allergene der Dermatophagoides-Milben <sup>a</sup>

| Summe<br>Der p1 und Der p2<br>[ $\mu\text{g/g}$ ] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                    |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| < 0,5                                             | Niedrig bis normal    | nicht ausreichend für das Auslösen allergischer Symptome          |
| 0,5 ... 2                                         | leicht erhöht         | Beginn einer möglichen Sensibilisierung                           |
| > 2 ... 10                                        | deutlich erhöht       | Risikofaktor für Sensibilisierung und bronchiale Hyperreaktivität |
| > 10                                              | stark erhöht          | Risikofaktor für akute Asthmaanfälle                              |

<sup>a</sup> Allergengehalt in Mikrogramm Allergene pro Gramm Hausstaub [ $\mu\text{g/g}$ ]

### 2.4.6 Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) als Marker für anthropogene Verunreinigungen

#### 2.4.6.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Werte wurden über den Zeitraum von einer Woche im Schlafzimmer aufgenommen. Berechnet wurde der gleitende Stundenmittelwert, der den arithmetischen Mittelwert der in einer Stunde ermittelten Messwerte darstellt.

Die kontinuierliche Bestimmung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration erfolgte in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 9 mittels Multifunktions-Messgeräten [Mosway, Wöhler CDL 210].

#### 2.4.6.2 Beurteilungsgrundlagen

$\text{CO}_2$  ist ein guter Indikator für die durch den Menschen verursachte Raumlufbelastung. Bei  $0,1 \text{ Vol}\% = 1000 \text{ ppm}$  empfinden rund 20 % der Personen die Raumluf als unbefriedigend (Luftqualität in Innenräumen 1997). Bei ansteigenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen erhöht sich die Zahl der Personen, die die Luft als unbefriedigend empfinden, die Konzentrationsfähigkeit nimmt ab. Bei zunehmender Konzentration an  $\text{CO}_2$  steigt auch das Risiko, an Beschwerden des Sick-Building Syndroms zu erkranken. Bei höheren Werten erfüllt die Raumluf nach übereinstimmender Expertenmeinung nicht mehr die notwendigen hygienischen Anforderungen an saubere Raumluf (unter anderem definiert in den Vorgaben des Arbeitskreises Innenraumluf am BMLFUW). Erhöhte Konzentrationen entstehen bei Überbelegung von Innenräumen und/oder unzureichender Belüftung sowie bei den meisten Verbrennungsvorgängen.

Über die physiologischen Wirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen liegen umfangreiche Erkenntnisse aus der Arbeitsmedizin, aber auch aus luft- und raumfahrtmedizinischen Untersuchungen vor. In den bisher angesprochenen Konzentrationsbereichen deutlich unterhalb von 1 Vol% (10.000 ppm) sind keine unmittelbaren physiologischen Wirkungen des CO<sub>2</sub> zu erwarten. Bei hohen Konzentrationen treten Erstickungserscheinungen auf und ab ca. 10 Vol% (100.000 ppm) sind Schwindel und Bewusstseinsverlust dokumentiert, bei noch höheren Konzentrationen tritt vollständige Bewusstlosigkeit ein (Pluschke 1996). CO<sub>2</sub> hat schon im üblicherweise auftretenden Konzentrationsbereich deutliche Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit.

In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft werden Orientierungswerte für die Innenraumluft festgelegt (BMLFUW 2011), die sich an die ÖNORM EN 13779 anlehnen. Aufgrund der Tatsache, dass keine definierten Grenzen für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit beeinträchtigende Konzentrationen vorliegen, sondern steigende Konzentrationen ab etwa 700 ppm kontinuierliche Verschlechterungen der Raumluftqualität anzeigen, werden Kategorien gebildet, die die Luftqualität bezeichnen.

Tab. 2.4.9: Klassifizierung der Innenraumluftqualität und Anforderungen an natürlich und mechanisch belüftete Gebäude in Hinblick auf CO<sub>2</sub> nach BMLFUW/ Österreichische Akademie der Wissenschaften (BMLFUW 2011) bzw. ÖNORM EN 13779

| Beurteilungswert<br>als CO <sub>2</sub> -Konzentration (absolut) | Beschreibung der Innenraum-<br>Luftqualität nach BMLFUW/<br>Österreichische Akademie der<br>Wissenschaften | Beschreibung<br>der Innenraum-Luftqualität nach<br>ÖNORM EN 13779 (2008) |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| < etwa 800 ppm                                                   | Hohe Raumluftqualität                                                                                      | Hohe Raumluftqualität (IDA 1)                                            |
| etwa 800 - 1000 ppm                                              | Mittlere Raumluftqualität                                                                                  | Mittlere Raumluftqualität (IDA 2)                                        |
| etwa 1000 - 1400 ppm                                             | Mäßige Raumluftqualität                                                                                    | Mäßige Raumluftqualität (IDA 3)                                          |
| etwa 1400 - 1900 ppm                                             | Niedrige Raumluftqualität                                                                                  | Niedrige Raumluftqualität (IDA 4)                                        |
| > etwa 1900 ppm                                                  | Sehr niedrige Raumluftqualität                                                                             |                                                                          |

| Mindest- und Zielvorgaben für dauernd von Menschen genutzte Innenräume als CO <sub>2</sub> -Konzentration (absolut) |                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| natürlich belüftete Innenräume                                                                                      | mechanisch belüftete Innenräume                                                |
| Zielbereich<br>für die Innenraumluft<br>< etwa 1000 ppm                                                             | Zielbereich<br>für die Innenraumluft<br>< etwa 800 ppm                         |
| Mindestvorgabe<br>1-MWg < etwa 1400 ppm                                                                             | Mindestvorgabe<br>1-MWg < etwa 1000 ppm                                        |
| Mindestvorgabe<br>Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum:<br>< etwa 1900 ppm                                      | Mindestvorgabe<br>Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum:<br>< etwa 1400 ppm |

1-MWg = maximaler gleitender Stundenmittelwert

Die Orientierungswerte nach BMLFUW/ Österreichische Akademie der Wissenschaften bzw. ÖNORM EN 13779 werden auch in den Erläuterungen der OIB-Richtlinie 3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz genannt:

Zu Punkt 8.1: Eine differenzierte Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft kann auf Basis der "Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft" erfolgen. Zu Punkt 10.1.1: Wenn in Innenräumen die Luft als „verbraucht“ empfunden wird, liegt dies in erster Linie neben Tabakrauch und Gerüchen am Kohlendioxidgehalt. Eine regelmäßige Belüftung solcher Räume ist somit eine wichtige Voraussetzung für ein gutes Wohn- und Arbeitsklima. Für die Beurteilung der Raumluftqualität können beispielsweise die „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft: CO<sub>2</sub> als Lüftungsparameter“, die ÖNORM H 6038 „Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, Planung, Montage, Prüfung, Betrieb und Wartung“ oder die ÖNORM EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“, Kap. 5.2.5.2 herangezogen werden.

In Deutschland wurden Innenraumrichtwerte für CO<sub>2</sub> von der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (Ad-hoc AG 2008) veröffentlicht.

Tab. 2.4.10: Klassifizierung der Innenraumluftqualität laut deutscher Ad-hoc Arbeitsgruppe

| Beurteilungswert<br>als CO <sub>2</sub> -Konzentration (absolut)<br>[ppm] | Hygienische Bewertung   | Empfehlungen                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 1000                                                                    | Hygienisch unbedenklich | Keine weiteren Maßnahmen                                                                                       |
| 1000 ... 2000                                                             | Hygienisch auffällig    | Lüftungsmaßnahme (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen). Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern |
| > 2000                                                                    | Hygienisch inakzeptabel | Belüftbarkeit des Raums prüfen; ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen                                            |

### 2.4.7 Luftwechsel und Zuluftvolumenstrom

#### 2.4.7.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Der Luftwechsel und der Zuluftvolumenstrom wurden im Schlafzimmer der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bestimmt. Bei Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ist die Ermittlung des Luftwechsels auf Grund der in derartigen Objekten erfahrungsgemäß stark schwankenden Werte nicht zielführend und wurde daher nicht durchgeführt.

Zur Bestimmung des Luftwechsels nach VDI 4300 Blatt 7 wurde der Raumluft das Tracergas SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid) in geeigneter Konzentration beigemischt und mittels eines Ventilators gleichmäßig verteilt. Die Konzentration des Tracergases SF<sub>6</sub> wurde mit Hilfe eines Detektors mit dem Funktionsprinzip der photoakustischen Infrarotspektroskopie mit selektivem Filter gemessen und aufgezeichnet. Es wurde die Abnahme der Tracergaskonzentration über einen bestimmten Zeitraum gemessen und aufgezeichnet. Aus der Abnahmekurve wurden über ein Regressionsverfahren (Minimierung der Abweichungsquadrat-Summe zwischen Messwert und Rechenwert (least-square-fit-Verfahren) die Luftwechselzahlen rechnerisch ermittelt.

Zur Ermittlung des über die Lüftungsanlage in den Raum verbrachten Zuluftvolumens wurde die Zuluftmenge bei der/den Zuluftöffnung(en) der kontrollierten Wohnraumlüftung anhand eines Volumenstrommessgerätes [testovent 417 bzw. FlowFinder-mk2] ermittelt<sup>2</sup>. Das druckkompensierte Messgerät FlowFinder arbeitet nach dem Nulldruckkompensationsverfahren, welches den Gerätewiderstand mittels integriertem Ventilator kompensiert.

### 2.4.7.2 Beurteilungsgrundlagen

Grenzwerte für den Luftwechsel in Schlafräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Zur Beurteilung einer konkreten Situation in Innenräumen muss zusätzlich zum Luftwechsel die Größe des Raumes berücksichtigt werden. Aus der Größe des Raumes und der Luftwechselzahl lässt sich die Luftmenge, die pro Stunde zugeführt wird (Zuluftvolumenstrom) berechnen. Der Luftvolumenstrom bei geschlossenen Fenstern und Türen, der als Grundlüftung bezeichnet wird, setzt sich aus Außenluft aus der Lüftungsanlage bzw. über Fugen von Fenstern und Türen sowie aus Luft aus anderen Räumen des Hauses zusammen.

Der in der ÖNORM H 6038 (2014) festgelegte personenbezogene Außenluftvolumenstrom pro erwachsener Person liegt für den Schlafbereich bei 20 bis 25 m<sup>3</sup>/h, abhängig davon, ob eine bedarfsabhängige Regelung der Luftvolumenströme existiert.

---

<sup>2</sup> Die mit dem testovent-Gerät ermittelten Werte wurden mittels eines Kalibrierfaktors, der sich aus Vergleichsmessungen zwischen den beiden Geräten ergab, korrigiert.

## 2.4.8 Radon

### 2.4.8.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Radonmessungen erfolgten nach ÖNORM S 5280-1 mittels passiver Kernspurdetektoren [RSKS, Radosys] jeweils in den drei meistbewohnten Räumen der Studienobjekte über den Zeitraum eines Jahres. Der Radon-Jahresmittelwert je Objekt errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelkonzentrationen im jeweiligen Haus bzw. Wohnung (Hausmittelwerte).

Ein detaillierter Ergebnisbericht zu den Radonmessungen ist im Anhang beigefügt (Anhang 8.1 Radon-Ergebnisbericht).

### 2.4.8.2 Beurteilungsgrundlagen

Die wichtigste Quelle von Radon ist der geologische Untergrund. Weitere mögliche Radonquellen sind vor allem Baumaterialien, aber auch Mineraliensammlungen, Leitungswasser oder Erdgas.

Die österreichische Strahlenschutzkommission empfiehlt für Innenräume einen Planungsrichtwert von 200 Bq/m<sup>3</sup>, der bei Planung und Bau neuer Wohnungen eingehalten werden soll, sowie einen Eingreifrichtwert von 400 Bq/m<sup>3</sup>, bei dessen Überschreitung Sanierungsmaßnahmen empfohlen werden (Strahlenschutzkommission 1992). Die Höhe der Richtwerte basiert auf der EU-Empfehlung 90/143/EURATOM (1990).

## 2.4.9 Schall

### 2.4.9.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die Schallmessung im Schlafraum wurde in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage gemeinsam mit den anderen Untersuchungen im Rahmen der Studie tagsüber durchgeführt. Grundsätzlich fordert eine normgerechte Messung gemäß ÖNORM EN ISO 16032 einen niedrigeren Fremdgeräuschpegel, sodass im Allgemeinen Messungen während der Nacht- oder Abendstunden durchgeführt werden (Nachtpegel). Die Messdauer orientiert sich nach Art und Charakteristik des Signals sowie dem Signal:Hintergrund-Verhältnis, beträgt aber mindestens 30 Sekunden (Dauergeräusch, Signal:Hintergrundgeräusch > 6 dB).

Im gegenständlichen Projekt wurden alle Messungen während des Tages im Zuge der weiteren Befundaufnahmen durchgeführt. Grundsätzlich wurde eine Messdauer von 30 Sekunden gewählt.

Die Signifikanz der Messung wurde auf Grundlage der ermittelten statistischen Parameter  $L_{A,1}$ ,  $L_{A,50}$ ,  $L_{A,95}$ ,  $L_{A,99}$  sowie des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{A,eq}$  beurteilt.<sup>3</sup>

Es wurden in allen Räumen Messungen durchgeführt. Nicht bei allen Untersuchungen konnten aufgrund der unabänderbaren Messgegebenheiten signifikante Messungen (Signal:Hintergrund-Verhältnis unzureichend, kein Dauergeräusch identifizierbar) durchgeführt werden. Es wurden im Weiteren nur jene Räume akustisch ausgewertet und beurteilt, wo dies die Qualität der Messdaten zuließ.

Die Auswertung und Beurteilung der Messdaten erfolgte unter Berücksichtigung der Fremdgeräuschpegel. Zur Standardisierung der gemessenen Schalldruckpegel wurden Nachhallzeitmessungen im Frequenzbereich (Terzbandanalysen) zwischen 50 Hz und 10.000 Hz durchgeführt und berücksichtigen somit den durch den Betrieb der Anlage verursachten standardisierten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{A,eq,nT}$  und den C-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{C,eq,nT}$ .<sup>4</sup>

Die Messung erfolgte mittels eines tragbaren Audio- und Akustik-Analysators [NTi Audio]. Die Auswertung der Schallmessungen erfolgte durch die Firma Spektrum GmbH.

### **OIB Richtlinie 5 – gesetzlicher Mindeststandard**

Für die Beurteilung der schalltechnischen Anforderungen wurde OIB-Richtlinie 5 herangezogen.

Demgemäß gilt laut Kapitel „Schalltechnische Anforderungen an haustechnische Anlagen“ in 2.6.2:

*Sofern eine mechanische Lüftungsanlage in der eigenen Nutzungseinheit vorhanden ist, dürfen für Aufenthaltsräume mit dem Schutzziel Schlaf (z.B. Aufenthaltsräume in Wohnungen, ausgenommen Küchen) die Geräusche dieser Anlage, bezogen auf die lufthygienisch mindesterforderliche Betriebsart, einen äquivalenten Anlagen-geräuschpegel  $L_{Aeq,nT}$  von 25 dB, für Aufenthaltsräume mit dem Schutzziel Konzentration (z.B. Klassenräume) von 30 dB nicht überschreiten.*

---

<sup>3</sup> Dauergeräusche zeichnen sich dadurch aus, dass gilt:  $L_{A,eq} \sim L_{A,50} \sim L_{A,95}$

<sup>4</sup> Für die Standardisierung wurden die Terzbänder mit der Mittenfrequenz von 50 Hz bis 10.000 Hz berücksichtigt.

## Komfortlüftung – freiwillige Qualitätsstandards

Der Verein komfortlüftung.at hat gemeinsam mit Experten Qualitätskriterien für Lüftungsanlagen ausgearbeitet. Die dort formulierten Ziele gehen teilweise über die baugesetzlichen Mindeststandards und Normen hinaus, mit dem Ziel, die Verbreitung und Akzeptanz von Lüftungsanlagen zu erhöhen.

Die Qualitätskriterien zu Schall lauten:

| Qualitätskriterium 5 (M)                                                                                                                                                                                                                                                                              | Anforderung                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geringer Schalldruckpegel im Aufenthaltsbereich bzw. beim Aufstellungsort des Gerätes (hier in 1 m Entfernung) beim Betriebsluftvolumenstrom<br><br>(Schallbelastung der Aufenthaltsbereiche im Freien bzw. der Fenster in der Nähe von Außenluftansaugung bzw. Fortluft sind ebenfalls zu beachten.) | a) Schlafräume (Eltern, Kinder,...) max. 23 dB(A) <u>und</u> max. 43 dB(C)<br>Zielwert: <20 dB(A) bzw. 1 dB(A) über Ruheschallpegel und <40 dB(C)           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | b) Wohnbereich (Wohnzimmer, Wohnküche,...) max. 25 dB(A) <u>und</u> max. 45 dB(C)<br>Zielwert: <20 dB(A) bzw. 1 dB(A) über Ruheschallpegel und <40 dB(C)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | c) Funktionsraum (z.B. Bad, WC, Arbeitsküche) max. 27 dB(A) <u>und</u> max. 47 dB(C)<br>Zielwert: <23 dB(A) bzw. 3 dB(A) über Ruheschallpegel und <43 dB(C) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | d) Geräteraum im Wohnbereich max. 35 dB(A) <u>und</u> max. 55 dB(C)<br>Zielwert: <30 dB(A) bzw. <40 dB(C)                                                   |

## 2.4.10 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

### 2.4.10.1 Probenahmestrategie und Messmethodik

Die kontinuierliche Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur wurde mit Multifunktions-Messgeräten [Mosway, Wöhler CDL 210] im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Messungen über den Zeitraum einer Woche im Schlafrum durchgeführt. Die Momentanwerte der Messgrößen wurden gespeichert und mittels Software elektronisch weiterverarbeitet.

### 2.4.10.2 Beurteilungsgrundlagen

Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur sind wesentliche Kriterien für ein als angenehm bzw. unangenehm empfundenen Raumklima. Im Idealfall liegt der langfristige Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit im Kernbereich zwischen 40 % und 60 %, die Raumlufttemperatur je nach Aktivitätsniveau, Außentemperatur und persönlichem

Bedürfnis zwischen 18 und 25 °C.

In konventionell mittels Fensterlüftung oder RLT-Anlagen ohne Befeuchtungseinrichtung belüfteten Räumen stellt sich die relative Luftfeuchtigkeit der Innenraumluft in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der zugeführten Außenluft und der im Innenraum vorhandenen Feuchtigkeitsquellen ein. Dies führt in der kalten Jahreszeit bei konstanter Feuchtigkeitsfreisetzung im Innenraum zu einer Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit, da die eingebrachte kalte Außenluft nur wenig Feuchtigkeit speichern kann. Das Erwärmen der Außenluft erfolgt entweder durch die Raumheizung oder die RLT-Anlage und führt aufgrund der physikalischen Eigenschaften zu einer Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit der erwärmten Luftmasse. Dies hat zur Folge, dass sich in der kalten Jahreszeit in der Regel bei intensiverer Lüftung eine niedrigere relative Luftfeuchtigkeit einstellt als bei geringfügigem oder gar hygienisch unzureichendem Luftaustausch.

Eine relative Luftfeuchte unter 30 % wird in einigen Studien als hygienisch bedenklich eingestuft (bspw. Pfluger et al. 2013), der Wert von 20 % sollte wenn möglich nur kurzfristig unterschritten werden.

### 2.5 Auswertung der Fragebögen

Die erhobenen Daten (Fragebögen) wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 20.0) ausgewertet. Es wurde insbesondere auf solche Auswertungsmethoden fokussiert, die dazu befähigen, signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen zu ermitteln (Mittelwertsvergleiche: z.B. t-Tests, ANOVA; Maßzahlen: z.B.  $\chi^2$ ). Von zentralem Interesse sind dabei einerseits Unterschiede zwischen Bewohnern der beiden Haustypen – Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage und Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung – und andererseits Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten. Als Signifikanzniveau wurde dabei von einem maximalen Unsicherheitsbereich von 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit ( $p < 0,05$ ) ausgegangen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Allgemeine Angaben zur Test- und Kontrollgruppe

Insgesamt wurden im Zeitraum von Oktober 2010 bis Mai 2013 575 Interviews geführt, davon bezogen sich 409 Interviews auf erwachsene Personen und 166 Interviews auf Kinder (Personen unter 16 Jahren). Interviews, die Daten von Kindern betreffen, wurden mit einem Elternteil geführt. 52 % der Interviews wurden mit Bewohnern von Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage (Testgruppe), 48 % mit Bewohnern von Wohnhäusern mit ausschließlicher Fensterlüftung (Kontrollgruppe) geführt.

Die Befragungen wurden zu zwei Messzeitpunkten (Erst- und Folgetermin) durchgeführt: einmal etwa drei Monate (+/- 3 Wochen) nach dem Umzug in die neue Wohnung/das neue Haus (Messzeitpunkt 1), das nächste Mal etwa ein Jahr (+/- 3 Wochen) nach der Erstmessung (Messzeitpunkt 2). Die Befragungen zum Ersttermin wurden zwischen Oktober 2010 und Mai 2012 durchgeführt. Die Befragungen zum Folgetermin wurden zwischen Oktober 2011 und Mai 2013 durchgeführt (Tab. 3.1.1). Beim Ersttermin wurden 293 Personen befragt, beim Folgetermin 282 Personen. Der Panelausfall betrug damit 4 %.

Tab. 3.1.1: Anzahl Messobjekte nach Messzeiträumen

|                      | Testgruppe |             | Kontrollgruppe |             |
|----------------------|------------|-------------|----------------|-------------|
|                      | Ersttermin | Folgetermin | Ersttermin     | Folgetermin |
| Messzeitraum 2010/11 | 46         |             | 26             |             |
| Messzeitraum 2011/12 | 16         | 45          | 35             | 25          |
| Messzeitraum 2012/13 |            | 16          |                | 34          |
| Gesamtzahl           | 62         | 61          | 61             | 59          |

Das Durchschnittsalter der erwachsenen Befragten betrug zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung sowohl in der Test- als auch in Kontrollgruppe 37,8 Jahre, jenes der Kinder 5,7 Jahre in der Testgruppe bzw. 7,5 Jahre in der Kontrollgruppe. Die durchschnittliche Haushaltsgröße betrug 2,8 Personen; da es sich größtenteils um Paarhaushalte handelte, lebten durchschnittlich 0,8 Jugendliche unter 16 Jahren in jedem Haushalt. Auch diese Ergebnisse waren für beide Haustypen nahezu ident.

18,4 % der Befragten aus der Testgruppe und 25,4 % der Befragten aus der Kontrollgruppe rauchten. Allerdings rauchten nur 0,5 % (Testgruppe) bzw. 2,6 % (Kontrollgruppe) auch in der Wohnung bzw. im Haus.

### 3.2 Ergebnisse im Zuge der Begehungen

In mehreren Objekten wurden von den Nutzern Informationen über die Lüftungsanlage bzw. über die Gesamtsituation gegeben. Punktuell wurden gegenüber dem Interviewer Anlagengeräusche beklagt. In mehreren Fällen war der Steuerungsmechanismus der Lüftungsanlage offensichtlich außer Betrieb, was zu einem nicht regelbaren Luftvolumenstrom führte.

### 3.3 Auswertung der medizinischen Fragebögen

#### 3.3.1 Gesundheitszustand

##### 3.3.1.1 Subjektiver Gesundheitszustand

Insgesamt schätzten 28,5 % der Befragten ihre Gesundheit als ausgezeichnet, 48,3 % als sehr gut, 21,0 % als gut und 2,1 % als weniger gut ein. Diese Werte stellten die Durchschnittsangaben von Test- und Kontrollgruppe über den Zeitraum eines Jahres (vom Einzug – M1 – bis ein Jahr nach Einzug – M2) dar. Hinsichtlich der Einschätzung des eigenen Gesundheitszustandes ergaben sich sowohl unter den Erwachsenen als auch unter den Kindern signifikante Unterschiede nach Haustyp ( $p < 0,01$ ). Befragte der Testgruppe schätzten dabei innerhalb dieses Jahres ihren eigenen Gesundheitszustand sowie den ihrer Kinder durchschnittlich signifikant besser ein: 24,9 % sahen sich selber und 50,6 % ihre Kinder bei ausgezeichneter Gesundheit, im Vergleich zu 19,8 % der erwachsenen Befragten der Kontrollgruppe und 38,4 % ihrer Kinder.

##### 3.3.1.2 Vergleich des Gesundheitszustandes

###### a) Vergleich mit anderen

Die erwachsenen Befragten (beider Gruppen) wurden gebeten, ihren Gesundheitszustand mit dem anderer Personen in ihrem Bekanntenkreis zu vergleichen. Dazu wurden ihnen mehrere Aussagen vorgelegt, zu denen sie auf einer vierstufigen Skala ihre Zustimmung geben sollten. 4,0 % der Test- und 8,3 % der Kontrollgruppe stimmten dabei (sehr oder eher) zu, dass sie leichter krank werden als andere Personen, die sie kennen. Die Unterschiede zwischen den Haustypen und Messzeitpunkten waren nicht signifikant.

###### b) Vergleich im Zeitverlauf

Um die Veränderungen im subjektiven Gesundheitszustand zu erfassen, wurden die Befragten gebeten, ihren Gesundheitszustand vor der Übersiedelung, zum ersten

Messzeitpunkt sowie zum zweiten Messzeitpunkt einzuschätzen. Anzumerken ist, dass die Einschätzung des Gesundheitszustandes vor der Übersiedelung gemeinsam mit der Einschätzung zum 1. Messzeitpunkt beim Ersttermin stattfand. Abbildungen Abb. 3.3.1 und Abb. 3.3.2 verdeutlichen die Ergebnisse für Erwachsene, Abbildungen Abb. 3.3.3 und Abb. 3.3.4 für Kinder.

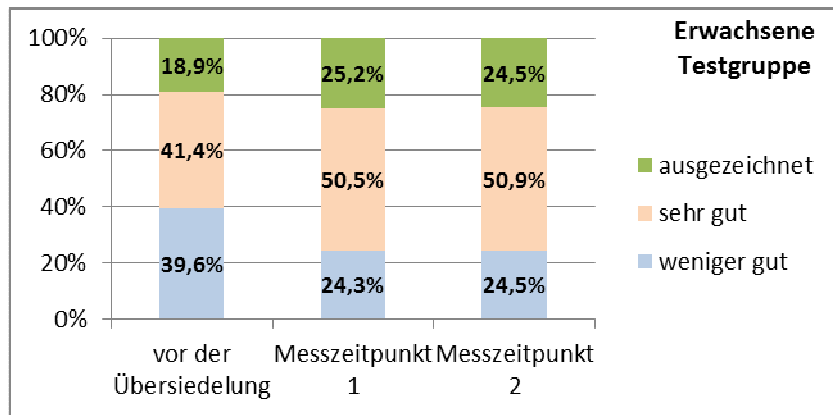


Abb. 3.3.1: Einschätzung des Gesundheitszustandes vor der Übersiedelung, zum ersten Messzeitpunkt sowie zum zweiten Messzeitpunkt (Testgruppe)

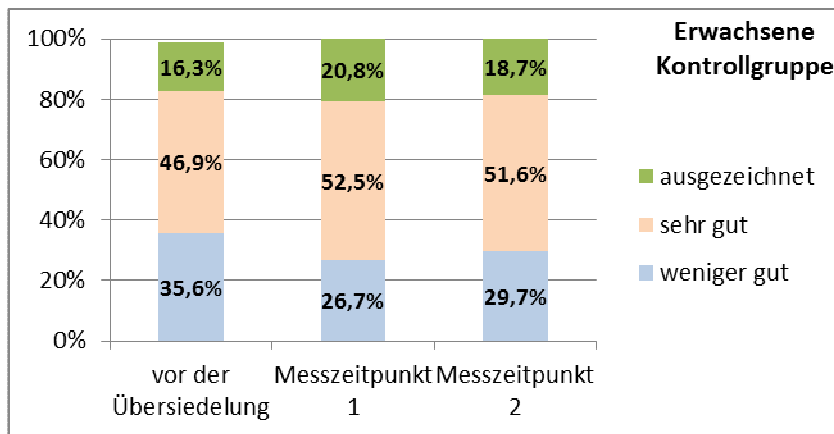


Abb. 3.3.2: Einschätzung des Gesundheitszustandes vor der Übersiedelung, zum ersten Messzeitpunkt sowie zum zweiten Messzeitpunkt (Kontrollgruppe).

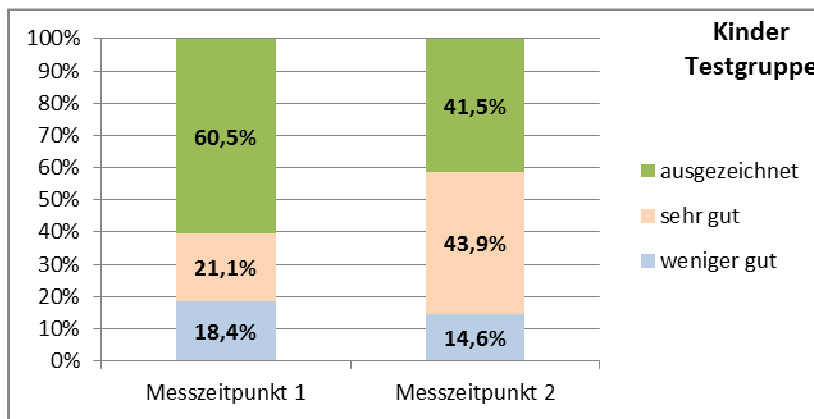


Abb. 3.3.3: Elterliche Einschätzung des Gesundheitszustandes der Kinder zum ersten und zweiten Messzeitpunkt (Testgruppe).

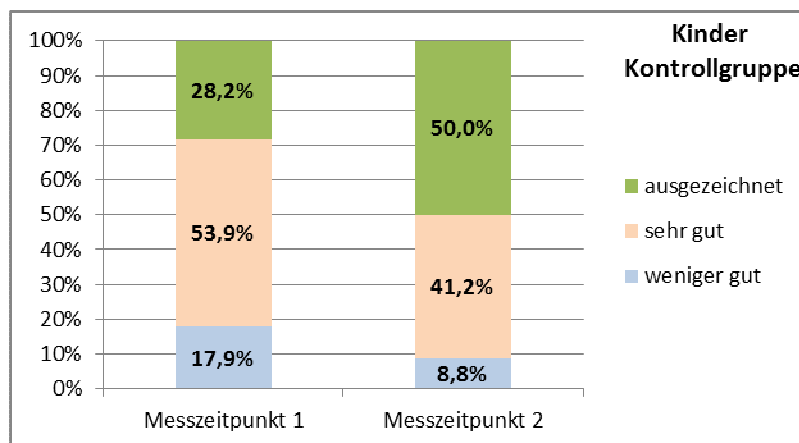


Abb. 3.3.4: Elterliche Einschätzung des Gesundheitszustandes der Kinder zum ersten und zweiten Messzeitpunkt (Kontrollgruppe).

Bei den Erwachsenen zeigten sich dabei leichte Verbesserungen des Gesundheitszustandes nach der Übersiedelung, die allerdings nicht signifikant waren. Sobald der Umzug vollzogen war und die Personen ein Jahr in ihrem neuen Haus lebten, ließen sich kaum noch Veränderungen im Gesundheitszustand – weder in der Test- noch in der Kontrollgruppe – feststellen.

Der Gesundheitszustand der Kinder (Abb. 3.3.3 und Abb. 3.3.4) wurde nur zwischen den Messzeitpunkten, also direkt nach der Übersiedelung (Messzeitpunkt 1) sowie ein Jahr später (Messzeitpunkt 2) erhoben. Dabei zeigten sich insbesondere in der Kontrollgruppe signifikante ( $p < 0,05$ ) Veränderungen bei den Kindern: Ihr Gesundheitszustand verbesserte sich nach Einschätzung der Eltern stark, während jener von Kindern der Testgruppe in der elterlichen Einschätzung von der Kategorie „ausgezeichnet“ nach „sehr gut“ abnahm. Anzumerken ist auch, dass die elterlichen Einschätzungen eines weniger

guten Gesundheitszustandes zugunsten eines besseren Gesundheitszustandes in beiden Gruppen zunahmen.

Zusätzlich wurden die Befragten um einen direkten Vergleich ihres Gesundheitszustandes mit dem vergangenen Jahr gebeten. Im Vergleich zum vergangenen Jahr gab insgesamt – also unabhängig vom Gebäudetyp bzw. von der Gruppe – etwa ein Viertel (25,6 %) an, dass sich der eigene Gesundheitszustand (sehr oder eher) verbessert hat, bei 68,0 % ist er etwa gleich geblieben und bei 6,4 % hat er sich (eher oder sehr) verschlechtert. In der Kontrollgruppe zeigte sich dabei eine größere Verschlechterung des Gesundheitszustandes im Vergleich zur Testgruppe: Bei 13,2 % hat sich der Gesundheitszustand im vergangenen Jahr verschlechtert, während dies nur bei 0,9 % der Personen der Testgruppe der Fall war.

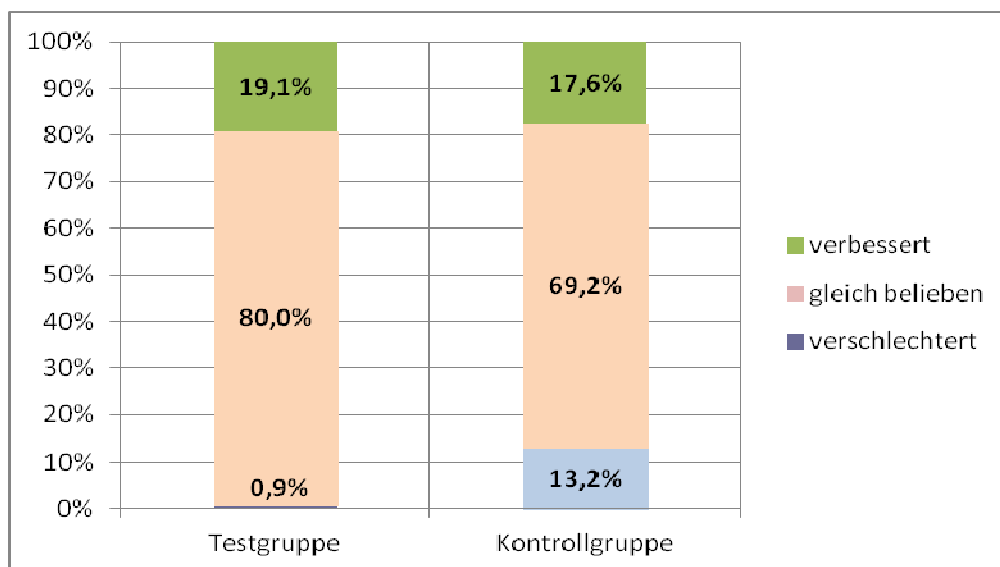


Abb. 3.3.5: Veränderungen im Gesundheitszustand Erwachsener ein Jahr nach Einzug

Diese Frage ist nun insbesondere im Vergleich der beiden Messzeitpunkte interessant: Zum zweiten Messzeitpunkt lebten die Befragten bereits ein Jahr in den betreffenden Objekten – Veränderungen im Gesundheitszustand konnten also unter anderem auf die verschiedenen Haustypen zurückgeführt werden. Tatsächlich erwiesen sich die Veränderungen im subjektiv empfundenen Gesundheitszustand der Erwachsenen als hochsignifikant ( $p < 0,01$ ). Ein Jahr nach Einzug in ein Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage hat sich der Gesundheitszustand bei 19,1 % der Erwachsenen verbessert, bei 80 % ist er gleich geblieben und bei 0,9 % hat er sich verschlechtert. Ein Jahr nach Einzug in ein Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung hat sich dagegen der Gesundheitszustand bei 13,2 % der Erwachsenen verschlechtert (bei 17,6 % verbessert, bei 69,2 % ist er gleich geblieben) (Abb. 3.3.5).

Für die Zukunft erwarteten sich 4,3 % der Befragten aus der Testgruppe und 7,9 % der Befragten aus der Kontrollgruppe, dass sich ihr Gesundheitszustand in Zukunft verschlechtern wird.

### 3.3.2 Allergien

29,9 % der befragten Personen gaben Allergien an. 33,6 % der Erwachsenen und 12,7 % der Kinder in der Testgruppe sowie 37,5 % der Erwachsenen und 17,8 % der Kinder in der Kontrollgruppe waren davon betroffen. Die durchschnittliche Anzahl an Allergien betrug bei allergischen Erwachsenen 2,0 (Testgruppe) bzw. 2,1 (Kontrollgruppe) und bei allergischen Kindern 1,0 (Testgruppe) und 1,5 (Kontrollgruppe). Am häufigsten vertreten waren Pollenallergien (32,6 %), gefolgt von Tierhaarallergien (23,3 %), Hausstaubmilbenallergien (22,2 %) und Nahrungsmittelallergien (16,1 %).

Allergien traten in Wohnhäusern mit Wohnraumlüftungsanlage generell nicht signifikant häufiger oder in größerer Anzahl auf. Allerdings kamen spezielle Arten von Allergien, darunter Allergien auf Tierhaare, Pollen und Insekten bei der Testgruppe signifikant ( $p < 0,05$ ) seltener vor. Weder generelle Prävalenz noch Art oder Anzahl von Allergien haben sich zwischen den Messzeitpunkten weder in der Test- noch in der Kontrollgruppe signifikant verändert.

### 3.3.3 Erkältungen und Atemwegsbeschwerden

Innerhalb der zurückliegenden vier Wochen vor den beiden Untersuchungszeitpunkten waren 49,6 % aller befragten Personen erkältet, wobei dies bei 41,7 % nur einmal, bei 7,9 % öfters vorkam (1,4 % waren sogar dauernd erkältet). In diesem Zeitraum hatten 35,5 % ein Trockenheitsgefühl in den Atemwegen, 22,6 % spürten zumindest manchmal ein Brennen in Nase oder Rachen und 13,9 % hatten trockene, gerötete oder juckende Augen, ohne gleichzeitig Schnupfen gehabt zu haben oder im Schwimmbad gewesen zu sein. 12,5 % der befragten Personen gaben an, innerhalb der vergangenen vier Wochen länger als zwei Wochen anhaltenden Husten gehabt zu haben.

Hinsichtlich Vorkommen und Anzahl von Erkältungen, Trockenheit der Atemwege, Brennen in Nase oder Rachen oder Husten bestanden keine signifikanten Unterschiede nach Haustyp. Erwachsene der Testgruppe (Daten aus dem Erst- und Folgetermin gemeinsam) litten allerdings signifikant ( $p < 0,05$ ) häufiger (19,4 %) unter trockenen Augen als Bewohner aus der Kontrollgruppe (12,5 %). Diese Differenz blieb unabhängig vom Tragen von Kontaktlinsen bestehen.

Prinzipiell kam es zwischen den Messzeitpunkten weder in der Test- noch in der Kontrollgruppe zu signifikanten Veränderungen in diesen Erkrankungen bzw. Beschwerden. Lediglich Erkältungen nahmen in der Testgruppe vom Erst- zum

Folgetermin signifikant ( $p < 0,05$ ) ab (von 15,2 % auf 7,9 %). Diese Abnahme von Erkältungen in der Testgruppe lässt sich insbesondere auf die jungen Bewohner zurückführen. Von diesen waren nämlich zum ersten Messzeitpunkt 39,5 %, zum zweiten Zeitpunkt jedoch nur 9,8 % erkältet. Dieses Ergebnis könnte aber auch auf unterschiedliche Wetterbedingungen zwischen den Messzeitpunkten zurückzuführen sein.

### 3.3.4 Gesundheitliche Beschwerden

Weiters wurde gefragt, wie häufig bei den Bewohnern der unterschiedlichen Gebäudetypen folgende Beschwerden auftraten: Müdigkeit, Abgeschlagenheit, Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Konzentrationsschwierigkeiten, Unruhe, Nervosität, Stimmungsschwankungen, Leistungseinschränkungen. Die Ergebnisse finden sich in folgender Tabelle (Tab. 3.3.6).

Tab. 3.3.6: Prävalenz von angegebenen Symptomen/Beschwerden in den untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2)

| Symptom/Beschwerde in %                | T M1 | K M1 | T M2 | K M2 |
|----------------------------------------|------|------|------|------|
| Müdigkeit                              | 65,5 | 67,9 | 72,8 | 61,6 |
| Abgeschlagenheit                       | 42,5 | 50,3 | 51,6 | 46,5 |
| Kopfschmerzen                          | 29,5 | 40,8 | 29,4 | 34,9 |
| Stimmungsschwankungen                  | 32,9 | 34,0 | 34,9 | 35,3 |
| Unruhe                                 | 26,0 | 30,6 | 26,8 | 31,0 |
| Leistungseinschränkungen               | 21,2 | 22,4 | 21,6 | 30,2 |
| Nervosität                             | 16,4 | 19,7 | 24,0 | 24,2 |
| Konzentrationsschwierigkeiten          | 20,5 | 21,1 | 17,6 | 23,3 |
| Übelkeit                               | 10,3 | 10,2 | 6,5  | 9,3  |
| Schwindel                              | 8,9  | 11,6 | 7,8  | 7,8  |
| Beschwerden (durchschnittliche Anzahl) | 2,7  | 3,1  | 2,9  | 3,0  |

Die Differenzen nach Haustyp waren weder bei den Erwachsenen noch bei den Kindern signifikant (allerdings litten Kinder generell signifikant seltener an den abgefragten Beschwerden als Erwachsene). In der Testgruppe zeigte sich ein Anstieg von Beschwerden/Symptomen u. a. von Müdigkeit, Abgeschlagenheit und Nervosität, in der Kontrollgruppe waren Konzentrationsschwierigkeiten und Nervosität nach einem Jahr häufiger (Tab. 3.3.6). Jedoch waren alle diese Veränderungen bei keiner der Gruppen signifikant.

Auch die durchschnittliche Anzahl an angegebenen Beschwerden waren praktisch gleich (Tab. 3.3.6).

### 3.3.5 Einschränkungen durch den Gesundheitszustand

#### 3.3.5.1 Einschränkungen im täglichen Leben

Gesundheitliche Beeinträchtigungen können verschiedene Aktivitäten des täglichen Lebens maßgeblich einschränken. Abgefragte Lebensbereiche umfassten anstrengende Tätigkeiten (z.B. schnell Laufen, anstrengenden Sport betreiben), mittelschwere Tätigkeiten (z.B. Staubsaugen, Kegeln), Einkaufstaschen heben oder tragen, über mehrere bzw. ein Stockwerk Stufen hinaufsteigen, sich beugen, knien oder bücken, mehr als 1 km zu Fuß gehen, mehrere bzw. eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen sowie sich baden oder anziehen. Am ehesten fühlten sich die Befragten beim Verrichten anstrengender Tätigkeiten durch ihren Gesundheitszustand eingeschränkt (29,0 % der Testgruppe, 22,2 % der Kontrollgruppe) sowie beim Stiegensteigen von mehreren Stockwerken (12,4 % respektive 12,2 %). Die restlichen abgefragten Einschränkungen bewegten sich im einstelligen Prozentbereich. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen Bewohnern der beiden Haustypen und zwischen den Messzeitpunkten.

#### 3.3.5.2 Einschränkungen im Berufsleben

Neben Einschränkungen des täglichen Lebens wurden Einschränkungen im Berufsalltag durch die körperliche und seelische Gesundheit erhoben. Aufgrund körperlicher Probleme konnten 8,3 % der Testgruppe und 12,2 % der Kontrollgruppe nicht so lange wie üblich tätig sein, 9,7 % respektive 13,8 % haben aufgrund ihres körperlichen Gesundheitszustandes weniger in der Arbeit geschafft, 2,8 % respektive 3,2 % konnten nur bestimmte Tätigkeiten ausüben und 2,3 % respektive 2,6 % hatten Schwierigkeiten bei der Ausführung. Aufgrund seelischer Probleme haben 11,5 % der Testgruppe und 10,1 % der Kontrollgruppe weniger in der Arbeit geschafft, 6,9 % respektive 6,3 % konnten nicht so lange wie üblich tätig sein und 5,1 % respektive 3,7 % nicht mit der gewohnten Sorgfalt ans Werk gehen. 83,8 % der Befragten gaben keinerlei Einschränkungen an. Gleichsam waren auch 85,7 % der Befragten durch körperliche oder seelische Gesundheit nicht in ihren sozialen Kontakten eingeschränkt.

Die Unterschiede zwischen den Haustypen waren nicht signifikant und auch zwischen den Messzeitpunkten ergaben sich keine signifikanten Veränderungen.

## 3.3.6 Stimmungslage

Neben der körperlichen Gesundheit wurde die Stimmungslage der Respondenten innerhalb der vergangenen vier Wochen erhoben. Abgefragt wurde, wie häufig sich die Befragten voller Schwung, ruhig und gelassen, voller Energie und glücklich einerseits sowie sehr nervös, niedergeschlagen, entmutigt und traurig, erschöpft und müde andererseits fühlten.

### 3.3.6.1 Positive Stimmungslage

Hinsichtlich einer positiven Stimmungslage erwiesen sich die erwachsenen Befragten der Testgruppe als glücklicher und gelassener, allerdings waren diese Unterschiede nicht signifikant. Genauso wenig ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten. In untenstehender Tabelle (Tab. 3.3.7) finden sich die Unterschiede in der positiven Stimmungslage nach Haustyp. Dargestellt werden die Antwortkategorien 1 = immer, 2 = meistens und 3 = ziemlich oft als zustimmende Antworten. Der Restprozentsatz auf 100 % beinhaltet die Antwortkategorien 4 = manchmal, 5 = selten und 6 = nie.

Tab. 3.3.7: Positive Stimmungslage in den untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

| Positive Stimmung innerhalb der vergangenen 4 Wochen | T M1 | K M1 | T M2 | K M2 |
|------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Ruhig und gelassen                                   | 83,2 | 83,7 | 83,6 | 80,2 |
| Glücklich                                            | 84,1 | 78,6 | 86,4 | 80,2 |
| Voll Schwung                                         | 73,8 | 71,4 | 72,7 | 76,9 |
| Voll Energie                                         | 72,9 | 72,4 | 74,5 | 75,8 |

### 3.3.6.2 Negative Stimmungslage

Ein ähnliches Bild zeigte sich hinsichtlich der negativen Stimmungslage, wobei sich die Kontrollgruppe als geringfügig trauriger und entmutigter und weniger nervös erwies. Diese Unterschiede waren allerdings ebenfalls nicht signifikant. Hinsichtlich Müdigkeit und Erschöpfung waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen marginal. Auch hier fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten außer hinsichtlich des Gefühls der Niedergeschlagenheit, das in der Testgruppe von M1 bis M2 signifikant ( $p < 0,05$ ) – allerdings von einem sehr niedrigen Niveau startend – zugenommen hat. In untenstehender Tabelle (Tab. 3.3.8) werden, wie oben, Unterschiede in der negativen Stimmungslage nach Haustyp dargestellt.

Tab. 3.3.8: Negative Stimmungslage in den untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

| Negative Stimmung innerhalb der vergangenen 4 Wochen | T M1 | K M1 | T M2 | K M2 |
|------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Müde                                                 | 22,4 | 30,6 | 24,5 | 19,8 |
| Erschöpft                                            | 12,1 | 18,4 | 12,7 | 13,2 |
| Sehr nervös                                          | 4,7  | 4,1  | 7,3  | 6,6  |
| Traurig und entmutigt                                | 3,7  | 4,1  | 2,7  | 5,5  |
| Niedergeschlagen                                     | 0,0  | 1,1  | 4,5  | 4,4  |

## 3.4 Auswertung der Fragebögen zur Zufriedenheit

### 3.4.1 Luftqualität im Wohnraum

Die Befragten wurden gebeten, die Luftqualität in ihrer Wohnung hinsichtlich einer Wahrnehmungsqualität (schal, muffig, frisch etc.) auf einer fünfstufigen Skala (1 = überhaupt nicht, 2 = ein bisschen, 3 = mäßig, 4 = ziemlich, 5 = sehr) einzuschätzen.

Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren hinsichtlich einer negativen Einschätzung der Luftqualität fast durchwegs (bis auf die Attribute „übelriechend“ und „verraucht“, die nicht signifikant waren) hochsignifikant ( $p < 0,01$ ) (Tab. 3.4.1 und Abb. 3.4.2).

Tab. 3.4.1: Einschätzung der Luftqualität (negative Wahrnehmungen) der untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

| Luftqualität: negative Attribute* | T M1 | K M1 | T M2 | K M2 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Schal                             | 14,0 | 37,8 | 22,7 | 38,5 |
| Muffig                            | 12,1 | 26,5 | 10,9 | 22,0 |
| Abgestanden                       | 14,0 | 42,9 | 10,9 | 45,1 |
| Übelriechend                      | 5,6  | 11,2 | 1,8  | 3,3  |
| Verraucht                         | 0,9  | 1,0  | 2,7  | 2,8  |

\* Antwortkategorie 2 = ein bisschen bis 5 = sehr sind in die Prozentsätze eingerechnet, die Kategorie 1 = überhaupt nicht wurde nicht einbezogen, da diese Antwortkategorie darauf schließen lässt, dass das abgefragte negative Attribut keineswegs auf die Luftqualität in der Wohnung zutrifft

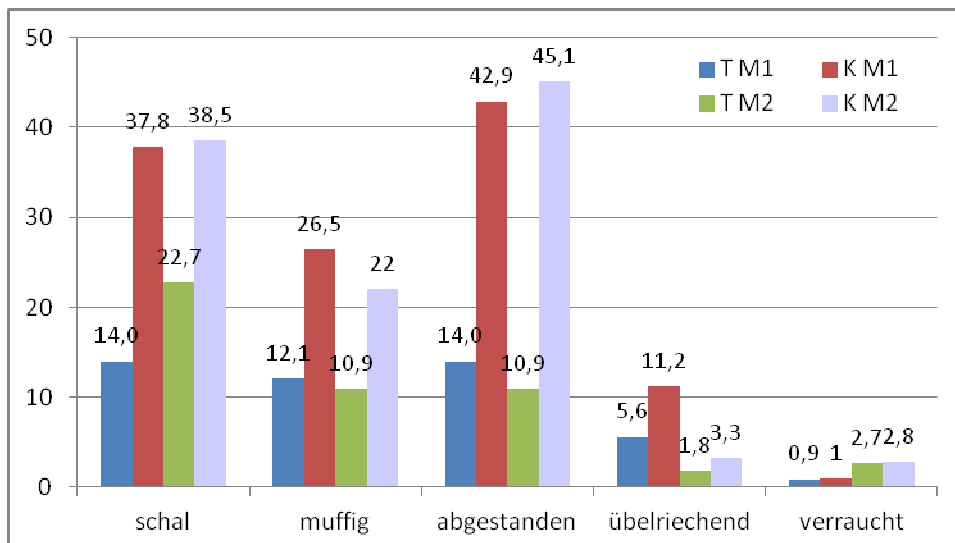


Abb. 3.4.2: Einschätzung der Luftqualität (negative Wahrnehmungen) der untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

Hinsichtlich der positiven Wahrnehmungen waren die Unterschiede der Attribute „angenehm“ und „frisch“ zwischen den beiden Gruppen hochsignifikant ( $p < 0,01$ ), bei dem Attribut „sauber“ signifikant ( $p < 0,05$ ) und bei „duftend“ nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) (Tab. 3.4.3 und Abb. 3.4.4).

Zwischen den Messzeitpunkten veränderten sich die Einschätzungen der Luftqualität nicht signifikant.

Tab. 3.4.3: Einschätzung der Luftqualität (positive Wahrnehmungen) der untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

| Luftqualität: positive Attribute* | T M1 | K M1 | T M2 | K M2 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| angenehm                          | 49,5 | 28,6 | 45,5 | 25,3 |
| sauber                            | 44,9 | 32,7 | 40,9 | 27,5 |
| frisch                            | 39,3 | 14,3 | 32,7 | 9,9  |
| duftend                           | 0,0  | 1,0  | 1,8  | 1,1  |

\* Die Prozentsätze beziehen sich auf die Antwortkategorie 5 = sehr; es wurde nur diese Kategorie berücksichtigt, da Respondenten bei Zufriedenheitsfragen zu sehr positiven Beurteilungen neigen (Effekt der sozialen Erwünschtheit). Auch hier ist die Verteilung bei zusätzlichen Einbeziehung der Kategorie 4 = ziemlich bereits relativ schief, womit sich kaum mehr eine Aussage treffen lassen würde.

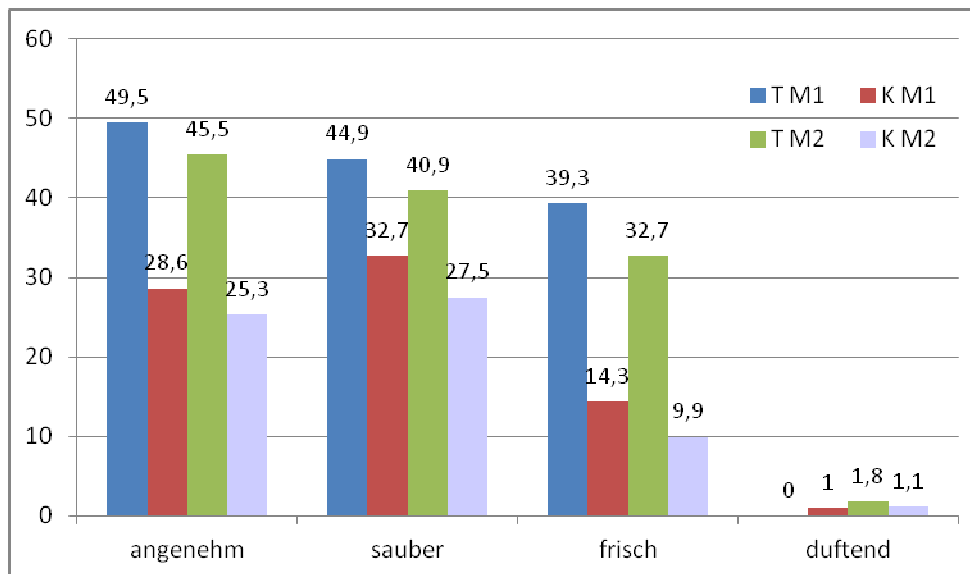


Abb. 3.4.4: Einschätzung der Luftqualität (positive Wahrnehmungen) der untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2) in Prozent

## 3.4.2 Weitere Eigenschaften des Innenraumklimas

Weiters wurden die Befragten gebeten, die Raumtemperatur, Lufttrockenheit, Luftbewegung, Geruchs- und Lärmbelästigung zu bewerten. Wenn nicht ausdrücklich zwischen den Messzeitpunkten differenziert wird, beziehen sich die hier dargestellten Daten auf die Durchschnittswerte beider Messzeitpunkte pro Gruppe. Damit kann die durchschnittliche Bewertung des Innenraumklimas über ein Jahr (M1 bis M2) auf einen Blick dargestellt werden. Die Raumtemperatur und die Luftbewegung wurde dabei von der Testgruppe (Bewohner von Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage) signifikant ( $p < 0,01$ ) angenehmer eingeschätzt: 77,0 % der Test- und 65,2 % der Kontrollgruppe bewerteten ihre Raumtemperatur dabei als „gerade richtig“; 7,9 % (Testgruppe) respektive 12,1 % (Kontrollgruppe) als (zu) kalt und 15,2 % respektive 22,7 % als (zu) warm. Die Luftbewegung empfanden 80,6 % der Test- und 66,7 % der Kontrollgruppe als „gerade richtig“; von der Kontrollgruppe wurde vermehrt Luftzug (29,1 % im Vergleich zu 14,3 %) beanstandet.

Demgegenüber wurde die Luftfeuchtigkeit (abgefragt als: „Ich empfinde in der Wohnung die Luft für gewöhnlich als...“ mit den Antwortkategorien „zu trocken“, „eher trocken“, „gerade richtig“, „eher feucht“ und „zu feucht“) von der Kontrollgruppe signifikant ( $p < 0,01$ ) besser bewertet: 58,8 % der Test-, aber 67,2 % der Kontrollgruppe schätzten diese als „gerade richtig“ ein. In der Testgruppe wurde die Luft von 40,6 % der Befragten als zu trocken eingeschätzt (im Vergleich zu 26,4 %). Anzumerken ist, dass in

Abb. 3.4.5 die beiden Messzeitpunkte getrennt dargestellt sind, weshalb es zu leichten Abweichungen zu den hier genannten Zahlen kommen kann. Zum Beispiel waren es bei

der Testgruppe zum Ersttermin 64 % Zufriedene („gerade richtig“), zum Folgetermin 54 % Zufriedene – dies macht im Durchschnitt 59 % Zufriedene.

Hinsichtlich der Geruchs- und Lärmsituation bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Zwischen den Messzeitpunkten waren kaum signifikanten Veränderungen feststellbar. Allein die Zufriedenheit mit der Luftfeuchtigkeit in der Testgruppe sank, allerdings nicht signifikant, von anfänglichen 63,6 % (Kontrollgruppe: 65,3 % „gerade richtig“) auf 53,6 % (Kontrollgruppe: 69,2 %) zum zweiten Messzeitpunkt (Abb. 3.4.5).

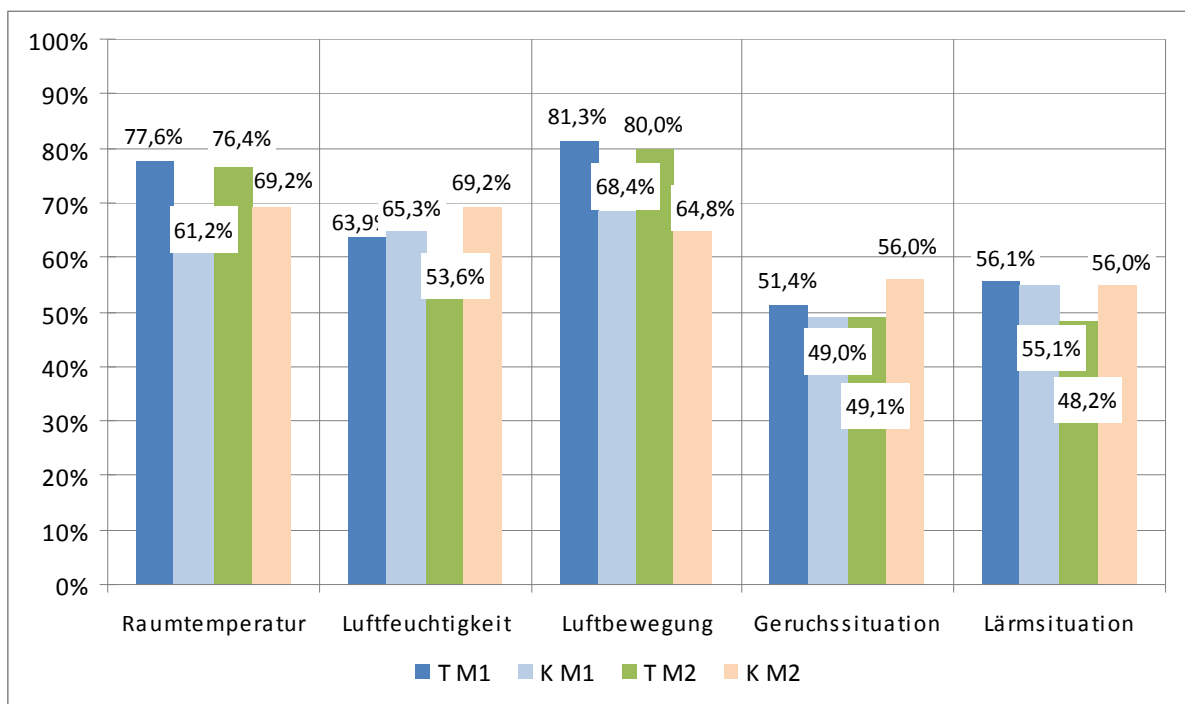


Abb. 3.4.5: Innenraumklimatologische Aspekte – Anteil der zufriedenen Personen (Antwortkategorie „gerade richtig“ bei Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung; Antwortkategorie: „überhaupt nicht belästigend“ bei Geruchs- und Lärmsituation) in beiden untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2)

### 3.4.3 Wohnzufriedenheit

Die Wohnzufriedenheit wurde mittels Einschätzungen der Wohnungs- und Wohnumfeldzufriedenheit sowie mittels Vergleich mit den meisten Wohnungen von Freunden und Bekannten einerseits sowie zur eigenen alten Wohnung andererseits erhoben.

Im Vergleich zur vorigen Wohnung hat sich die Wohnzufriedenheit mit dem Umzug überwiegend verbessert. Dementsprechend waren 80,6 % der Personen, die in ein Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage und 72,0 % der Personen, die in Gebäude mit

ausschließlicher Fensterlüftung umgezogen sind, viel zufriedener, 12,0 % respektive 16,9 % eher zufriedener und 7,4 % respektive 11,0 % weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden.

Zum Ersttermin, also drei Monate nach dem Umzug, war die Wohnzufriedenheit dementsprechend insbesondere in der Testgruppe hoch: 86,9 % waren zum Befragungszeitpunkt mit ihrer Wohnung sehr zufrieden, 10,3 % zufrieden und nur 2,8 % waren mit ihrer Wohnung weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden. Von der Kontrollgruppe waren zum ersten Messzeitpunkt 76,5 % mit ihrer Wohnung sehr zufrieden, 21,4 % zufrieden und 2,0 % weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden. Die Unterschiede in der Wohnungszufriedenheit waren zum ersten Messzeitpunkt nicht signifikant (Abb. 3.4.6).

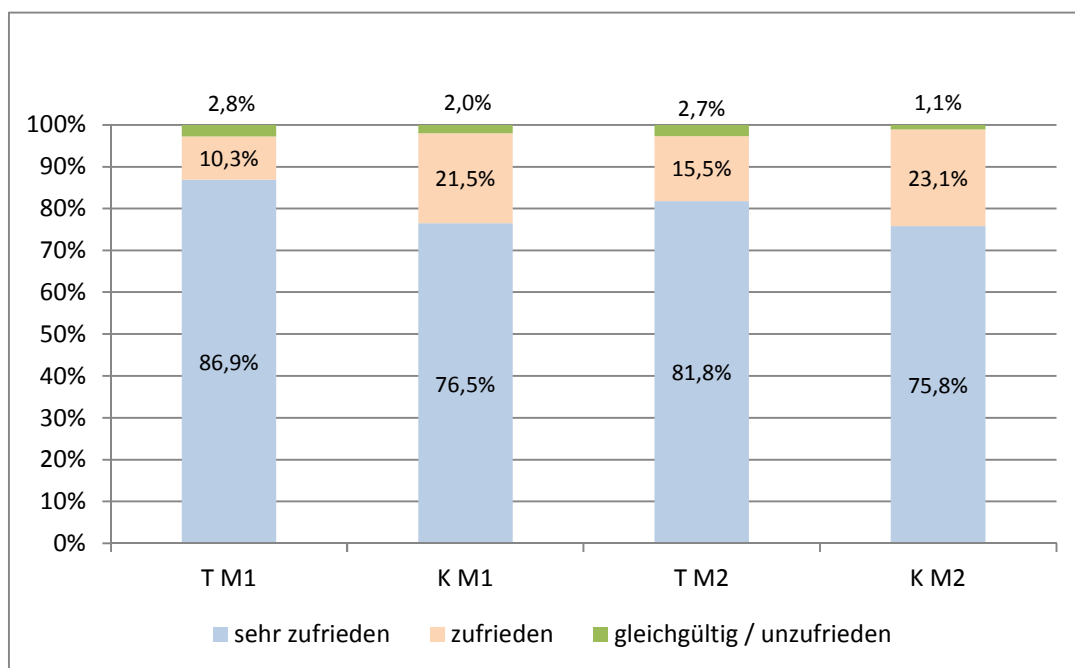


Abb. 3.4.6: Zufriedenheit mit der eigenen Wohnung in den untersuchten Gruppen (Testgruppe T; Kontrollgruppe K) zu den beiden Messzeitpunkten (M1, M2)

Zum zweiten Messzeitpunkt (ein Jahr nach dem ersten Messzeitpunkt) verringerte sich dieses Zufriedenheitsniveau bei beiden Gruppen lediglich marginal. Von den Befragten in der Testgruppe waren immer noch 81,8 % mit ihrer Wohnung sehr zufrieden und 15,5 % zufrieden; von den Befragten in der Kontrollgruppe waren 75,8 % mit ihrer Wohnung sehr zufrieden und 23,1 % zufrieden. Auch zwischen den Messzeitpunkten ergaben sich keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Wohnzufriedenheit (Abb. 3.4.6).

Zur Einschätzung des Wohnumfeldes liegen folgende, nicht signifikante Ergebnisse vor: Mit ihrem Wohnumfeld waren in der Testgruppe beim Ersttermin 70,1 % sehr zufrieden,

25,2 % zufrieden und 3,7 % weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden. In der Kontrollgruppe waren zu diesem Zeitpunkt 72,4 % sehr zufrieden, 24,5 % zufrieden und 3,0 % weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden. Zum zweiten Messzeitpunkt 68,2 % der Test- und 64,8 % der Kontrollgruppe sehr zufrieden, 26,4 % respektive 31,9 % zufrieden und 4,4 % respektive 3,3 % weder zufrieden noch unzufrieden oder unzufrieden.

Die Testgruppe stellte sich allerdings im Vergleich mit dem Bekanntenkreis als signifikant ( $p < 0,01$ ) zufriedener als die Kontrollgruppe heraus (Anmerkung: dies könnten auch an der relativen Seltenheit von Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage liegen). 64,1 % der Test- und 54,0 % der Kontrollgruppe schätzten sich im Vergleich zu ihren Bekannten als viel zufriedener mit ihrer Wohnung ein; 26,3 % respektive 27,5 % sind eher unzufrieden, 7,4 % respektive 17,5 % gleich zufrieden und 2,3 % respektive 1,0 % unzufriedener.

### 3.5 Auswertung der chemisch-physikalischen Messungen

Im Sinne einer vereinfachten Darstellung sind in den folgenden Grafiken die Testgruppe mit Wohnraumlüftungsanlagen als „Mechanisch belüftet Objekte“ und die Kontrollgruppe mit ausschließlicher Fensterlüftung als „Natürlich belüftete Objekte“ bezeichnet (siehe Definition unter Punkt 1.5).

#### 3.5.1 Flüchtige Organische Verbindungen (VOC)

Die VOC-Konzentration wurde beim Ersttermin in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 61 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen. Beim Folgetermin wurde in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen.

Die VOC-Summenkonzentrationen in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage waren im Durchschnitt zu beiden Messterminen hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) niedriger als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Auch die Veränderung der Konzentration zwischen den beiden Messterminen war in beiden Haustypen signifikant, es bestand im prozentuellen Grad der Veränderung jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Haustypen.

Bei den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lag der Median für den Summenparameter „Gesamt VOC“ bei den Erstmessungen bei  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abb. 3.5.3). Die VOC-Konzentrationen (Gesamt VOC) gingen in beiden Objekttypen im Zeitraum zwischen Erst- und Folgetermin bei etwa 80 % der gemessenen Räume deutlich zurück. Bei den

Folgemessungen lag der Median für den Summenparameter „Gesamt VOC“ in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage bei  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Bei den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage kam es in 17 % der untersuchten Räume zu einer Zunahme der Gesamt VOC-Werte zwischen den beiden Messterminen, bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung in 19 % der untersuchten Räume. Die prozentuelle Veränderung war in beiden Gruppen ähnlich (Abb. 3.5.13).

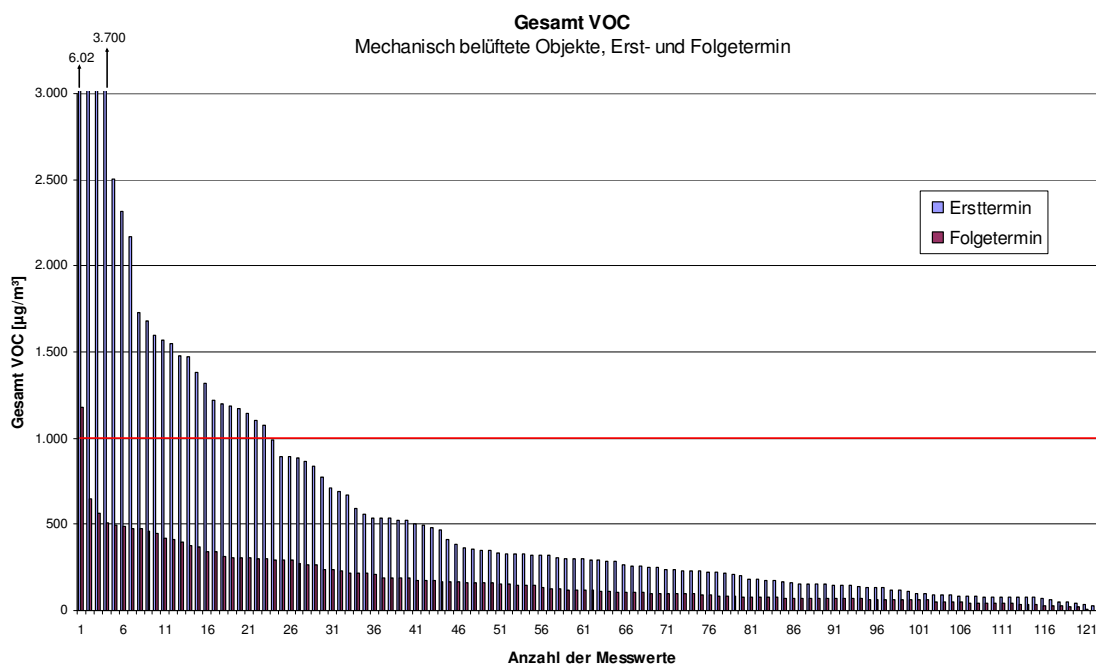


Abb. 3.5.1: Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

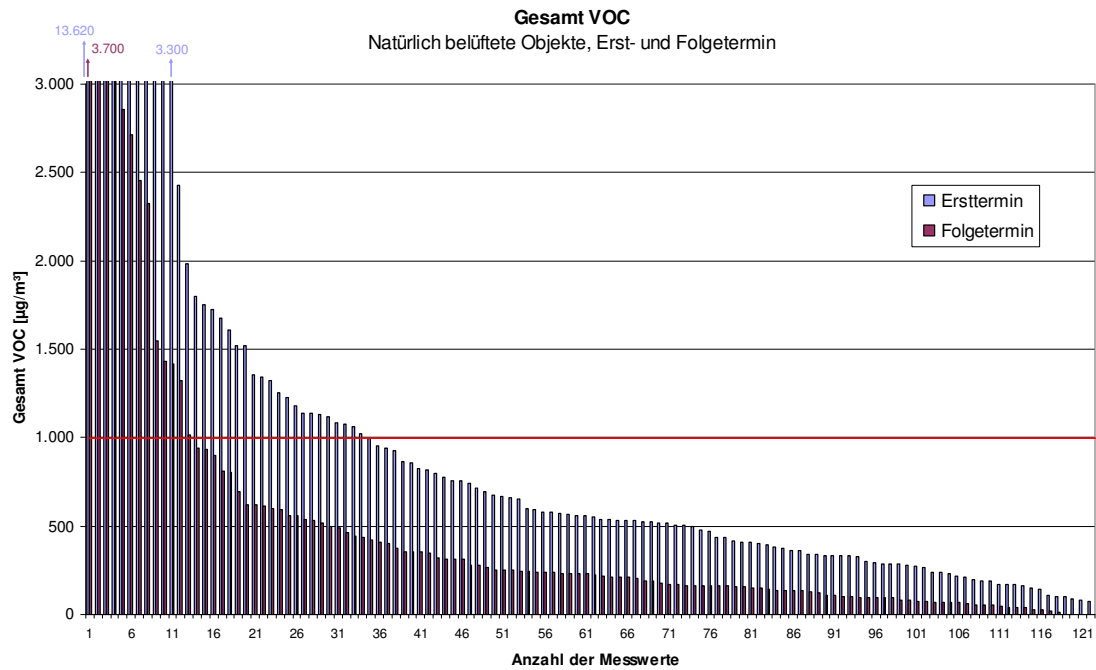


Abb. 3.5.2: Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

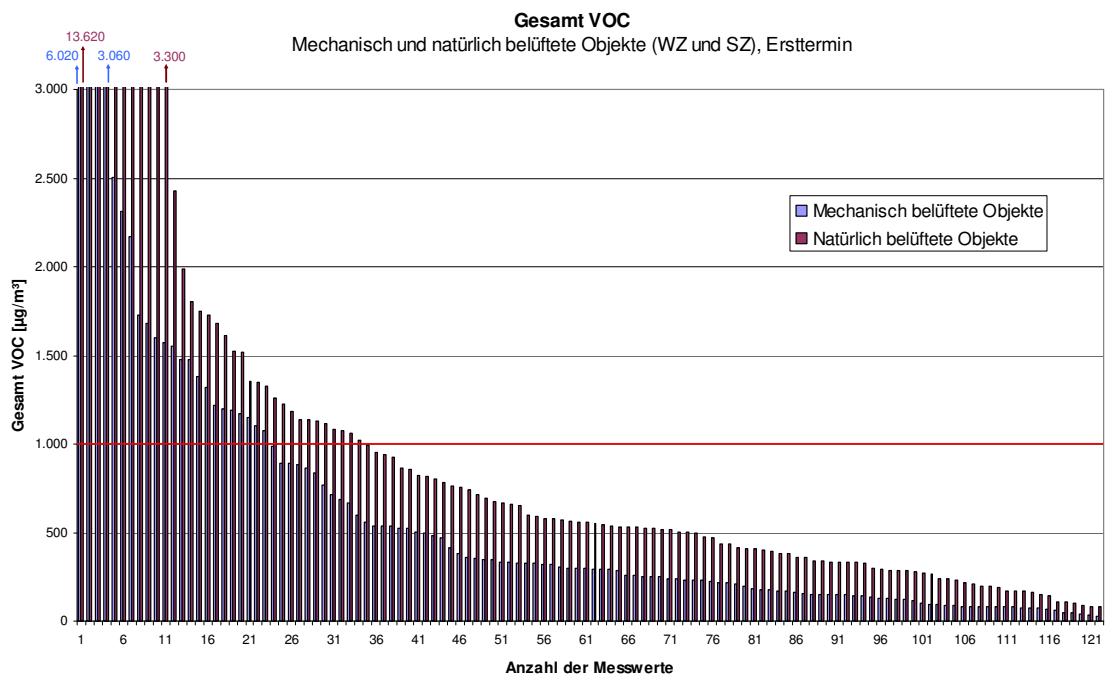


Abb. 3.5.3: Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

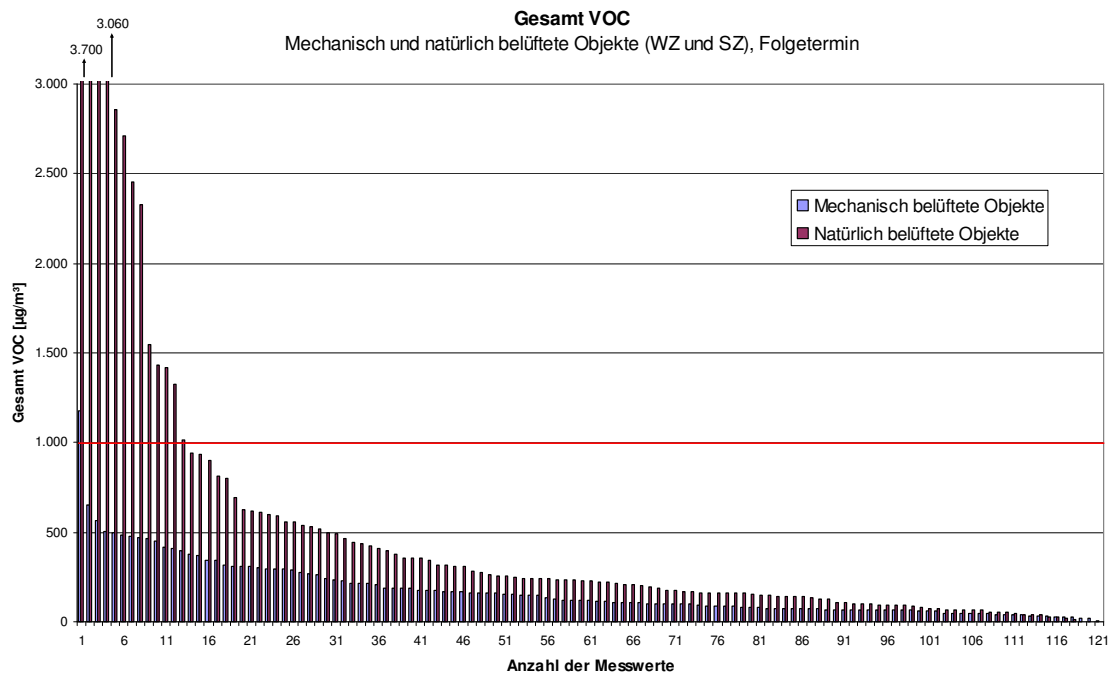


Abb. 3.5.4: Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

Tab. 3.5.5: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Ersttermin (M1)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                    | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Aliphaten und Alicyclen</b>                              |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| n-Hexan                                                     | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| n-Heptan                                                    | n.b.                             | n.b.              | 55              | n.b.            | 8,6                        | 5,7                                | 4             |
| n-Octan                                                     | n.b.                             | n.b.              | 30              | n.b.            | 8,5                        | 3,4                                | 4             |
| n-Nonan                                                     | n.b.                             | n.b.              | 38              | n.b.            | 11                         | 4,6                                | 4             |
| n-Decan                                                     | 4,6                              | n.b.              | 49              | n.b.            | 15                         | 7,3                                | 4             |
| n-Undecan                                                   | 7,1                              | n.b.              | 73              | n.b.            | 28                         | 12                                 | 5             |
| n-Dodecan                                                   | 6,1                              | n.b.              | 54              | n.b.            | 27                         | 8,2                                | 6             |
| n-Tridecan                                                  | n.b.                             | n.b.              | 17              | n.b.            | 8,7                        | n.b.                               | 4             |
| n-Tetradecan                                                | n.b.                             | n.b.              | 45              | n.b.            | 12                         | n.b.                               | 6             |
| n-Pentadecan                                                | n.b.                             | n.b.              | 64              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| n-Hexadecan                                                 | n.b.                             | n.b.              | 43              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Cyclohexan                                                  | 35                               | n.b.              | 1.400           | n.b.            | 33                         | 180                                | 4             |
| Methylcyclohexan                                            | n.b.                             | n.b.              | 34              | n.b.            | 10                         | 4,2                                | 4             |
| 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan                                 | 8,1                              | n.b.              | 150             | n.b.            | 26                         | 17                                 | 6             |
| Trimeres Isobuten I + II                                    | n.b.                             | n.b.              | 6,3             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 4-Phenylcyclohexen                                          | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Aromaten</b>                                             |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Benzol                                                      | n.b.                             | n.b.              | 86              | n.b.            | 6                          | 7,9                                | 4             |
| Toluol                                                      | 37                               | 5,9               | 1.900           | n.b.            | 140                        | 190                                | 4             |
| Ethylbenzol                                                 | 11                               | 10                | 76              | n.b.            | 24                         | 9,3                                | 4             |
| m,p-Xylol                                                   | 14                               | 10                | 80              | n.b.            | 42                         | 15                                 | 4             |
| o-Xylol                                                     | 7,1                              | n.b.              | 59              | n.b.            | 17                         | 7,0                                | 5             |
| Styrol                                                      | n.b.                             | n.b.              | 31              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Propylbenzol                                                | n.b.                             | n.b.              | 23              | n.b.            | 7,3                        | n.b.                               | 4             |
| 3-Ethyltoluol                                               | n.b.                             | n.b.              | 36              | n.b.            | 7,1                        | 4,7                                | 4             |
| 2-Ethyltoluol                                               | n.b.                             | n.b.              | 13              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 1,3,5-Trimethylbenzol                                       | n.b.                             | n.b.              | 21              | n.b.            | 5,6                        | n.b.                               | 5             |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                       | n.b.                             | n.b.              | 75              | n.b.            | 11                         | 7,9                                | 5             |
| 1,2,3-Trimethylbenzol                                       | n.b.                             | n.b.              | 17              | n.b.            | 5,9                        | n.b.                               | 4             |
| <b>Chlorierte Substanzen</b>                                |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Tetrachlorethen (PER)                                       | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Chlorbenzol                                                 | 6,8                              | 2,0               | 99              | n.b.            | 17                         | 10                                 | 4             |
| <b>Ester</b>                                                |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Ethylacetat                                                 | 18                               | n.b.              | 850             | n.b.            | 45                         | 80                                 | 8             |
| iso-Propylacetat                                            | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| iso-Butylacetat                                             | n.b.                             | n.b.              | 63              | n.b.            | 9,0                        | 6,0                                | 9             |
| n-Butylacetat                                               | 33                               | n.b.              | 370             | n.b.            | 150                        | 62                                 | 9             |
| 1-Methoxy-2-Propylacetat (MPA)                              | 11                               | n.b.              | 260             | n.b.            | 76                         | 33                                 | 4             |
| Texanoldiisobutytrat (TXIB)                                 | n.b.                             | n.b.              | 8,5             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.6: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1) (Fortsetzung)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Ersttermin (M1) (Fortsetzung)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                                  | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Ketone</b>                                                             |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| 4-Methyl-2-pentanon (MIBK)                                                | n.b.                             | n.b.              | 14              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| Cyclohexanon                                                              | 8,7                              | n.b.              | 240             | n.b.            | 39                         | 26                                 | 5             |
| Acetophenon                                                               | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| Benzophenon                                                               | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| <b>Terpene</b>                                                            |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Alpha Pinen                                                               | 140                              | 40                | 3.200           | n.b.            | 540                        | 360                                | 5             |
| Beta-Pinen                                                                | 17                               | 6,2               | 370             | n.b.            | 56                         | 42                                 | 5             |
| 3-Caren                                                                   | 27                               | 6,4               | 500             | n.b.            | 84                         | 63                                 | 5             |
| Limonen                                                                   | 30                               | 20                | 280             | n.b.            | 96                         | 36                                 | 4             |
| <b>Sonstige</b>                                                           |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Octamethyltetraacyclosiloxan                                              | n.b.                             | n.b.              | 12              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                               | 42                               | 8,5               | 940             | n.b.            | 160                        | 130                                | 8             |
| <b>Summenparameter</b>                                                    |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Summe Aliphaten                                                           | 100                              | 50                | 1.600           | 43              | 210                        | 200                                |               |
| Summe Aromaten                                                            | 95                               | 55                | 2.200           | 28              | 230                        | 220                                |               |
| Summe Terpene                                                             | 220                              | 89                | 4.200           | 9,5             | 690                        | 480                                |               |
| Gesamt VOC                                                                | <b>630</b>                       | <b>300</b>        | <b>6.000</b>    | <b>28</b>       | <b>2.100</b>               | <b>920</b>                         |               |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.7: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Ersttermin (M1)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                             | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Aliphaten und Alicyclen</b>                                       |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| n-Hexan                                                              | n.b.                             | n.b.              | 28              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| n-Heptan                                                             | 6,2                              | n.b.              | 65              | n.b.            | 23                         | 11                                 | 4             |
| n-Octan                                                              | 5,4                              | n.b.              | 110             | n.b.            | 20                         | 14                                 | 4             |
| n-Nonan                                                              | 4,2                              | n.b.              | 36              | n.b.            | 12                         | 5,3                                | 4             |
| n-Decan                                                              | 7,6                              | n.b.              | 120             | n.b.            | 29                         | 16                                 | 4             |
| n-Undecan                                                            | 13                               | n.b.              | 370             | n.b.            | 33                         | 44                                 | 5             |
| n-Dodecan                                                            | 8,7                              | n.b.              | 180             | n.b.            | 19                         | 21                                 | 6             |
| n-Tridecan                                                           | 4,4                              | n.b.              | 34              | n.b.            | 18                         | n.b.                               | 4             |
| n-Tetradecan                                                         | n.b.                             | n.b.              | 21              | n.b.            | 9,1                        | n.b.                               | 6             |
| n-Pentadecan                                                         | n.b.                             | n.b.              | 15              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| n-Hexadecan                                                          | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Cyclohexan                                                           | 6,3                              | n.b.              | 80              | n.b.            | 24                         | 10                                 | 4             |
| Methylcyclohexan                                                     | n.b.                             | n.b.              | 26              | n.b.            | 12                         | 4,6                                | 4             |
| 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan                                          | n.b.                             | n.b.              | 59              | n.b.            | 19                         | 8,1                                | 6             |
| Trimeres Isobuten I + II                                             | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 4-Phenylcyclohexen                                                   | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Aromaten</b>                                                      |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Benzol                                                               | n.b.                             | n.b.              | 21              | n.b.            | 9,1                        | n.b.                               | 4             |
| Toluol                                                               | 18                               | 14                | 170             | n.b.            | 42                         | 22                                 | 4             |
| Ethylbenzol                                                          | 16                               | 13                | 63              | n.b.            | 42                         | 12                                 | 4             |
| m,p-Xylol                                                            | 17                               | 9,1               | 200             | n.b.            | 66                         | 25                                 | 4             |
| o-Xylol                                                              | 5,2                              | n.b.              | 59              | n.b.            | 16                         | 7,0                                | 5             |
| Styrol                                                               | 11                               | n.b.              | 75              | n.b.            | 38                         | 12                                 | 8             |
| Propylbenzol                                                         | n.b.                             | n.b.              | 10              | n.b.            | 4,6                        | n.b.                               | 4             |
| 3-Ethyltoluol                                                        | n.b.                             | n.b.              | 22              | n.b.            | 12                         | n.b.                               | 4             |
| 2-Ethyltoluol                                                        | n.b.                             | n.b.              | 6,6             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 1,3,5-Trimethylbenzol                                                | n.b.                             | n.b.              | 18              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 5             |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                                | 5,2                              | n.b.              | 34              | n.b.            | 19                         | 5,8                                | 5             |
| 1,2,3-Trimethylbenzol                                                | n.b.                             | n.b.              | 8,2             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Chlorierte Substanzen</b>                                         |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Tetrachlorethen (PER)                                                | n.b.                             | n.b.              | 130             | n.b.            | 11                         | 12                                 | 8             |
| Chlorbenzol                                                          | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Ester</b>                                                         |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Ethylacetat                                                          | 130                              | n.b.              | 8.000           | n.b.            | 64                         | 880                                | 8             |
| iso-Propylacetat                                                     | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| iso-Butylacetat                                                      | 12                               | n.b.              | 210             | n.b.            | 43                         | 31                                 | 9             |
| n-Butylacetat                                                        | 33                               | 11                | 1.000           | n.b.            | 110                        | 97                                 | 9             |
| 1-Methoxy-2-Propylacetat (MPA)                                       | 4,5                              | n.b.              | 77              | n.b.            | 17                         | 11                                 | 4             |
| Texanoldiisobutytrat (TXIB)                                          | n.b.                             | n.b.              | 15              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.8: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1) (Fortsetzung)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Ersttermin (M1) (Fortsetzung)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                                           | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Ketone</b>                                                                      |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| 4-Methyl-2-pentanon (MIBK)                                                         | n.b.                             | n.b.              | 77              | n.b.            | 15                         | 9,2                                | 11            |
| Cyclohexanon                                                                       | 7,6                              | n.b.              | 98              | n.b.            | 30                         | 14                                 | 5             |
| Acetophenon                                                                        | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| Benzophenon                                                                        | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| <b>Terpene</b>                                                                     |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Alpha Pinen                                                                        | 160                              | 46                | 3.000           | n.b.            | 570                        | 400                                | 5             |
| Beta-Pinen                                                                         | 27                               | 8,3               | 580             | n.b.            | 80                         | 74                                 | 5             |
| 3-Caren                                                                            | 32                               | 10                | 510             | n.b.            | 120                        | 67                                 | 5             |
| Limonen                                                                            | 110                              | 36                | 3.800           | n.b.            | 310                        | 370                                | 4             |
| <b>Sonstige</b>                                                                    |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Octamethyltetraacyclosiloxan                                                       | n.b.                             | n.b.              | 22              | n.b.            | 8,2                        | 2,4                                | 8             |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                                        | 34                               | n.b.              | 490             | n.b.            | 130                        | 75                                 | 8             |
| <b>Summenparameter</b>                                                             |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Summe Aliphaten                                                                    | 67                               | 37                | 720             | 4,2             | 180                        | 100                                |               |
| Summe Aromaten                                                                     | 73                               | 49                | 430             | 7,2             | 190                        | 73                                 |               |
| Summe Terpene                                                                      | 330                              | 130               | 4.400           | 8,7             | 1.200                      | 690                                |               |
| Gesamt VOC                                                                         | <b>1.100</b>                     | <b>560</b>        | <b>14.000</b>   | <b>78</b>       | <b>4.000</b>               | <b>1.900</b>                       |               |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.9: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Folgetermin (M2)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Folgetermin (M2)</b> |                               |                   |                 |                 |                         |                                    |               |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                     | Arithm. Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95 Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Aliphaten und Alicyclen</b>                               |                               |                   |                 |                 |                         |                                    |               |
| n-Hexan                                                      | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 11            |
| n-Heptan                                                     | n.b.                          | n.b.              | 7,9             | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| n-Octan                                                      | n.b.                          | n.b.              | 26              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| n-Nonan                                                      | n.b.                          | n.b.              | 7,8             | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| n-Decan                                                      | n.b.                          | n.b.              | 24              | n.b.            | 4,3                     | n.b.                               | 4             |
| n-Undecan                                                    | n.b.                          | n.b.              | 22              | n.b.            | 5,2                     | n.b.                               | 5             |
| n-Dodecan                                                    | n.b.                          | n.b.              | 11              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 6             |
| n-Tridecan                                                   | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| n-Tetradecan                                                 | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 6             |
| n-Pentadecan                                                 | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 8             |
| n-Hexadecan                                                  | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 8             |
| Cyclohexan                                                   | n.b.                          | n.b.              | 120             | n.b.            | 6,0                     | 11                                 | 4             |
| Methylcyclohexan                                             | n.b.                          | n.b.              | 4,1             | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan                                  | n.b.                          | n.b.              | 13              | n.b.            | 7,4                     | n.b.                               | 6             |
| Trimeres Isobuten I + II                                     | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| 4-Phenylcyclohexen                                           | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| <b>Aromaten</b>                                              |                               |                   |                 |                 |                         |                                    |               |
| Benzol                                                       | n.b.                          | n.b.              | 9,7             | n.b.            | 5,5                     | n.b.                               | 4             |
| Toluol                                                       | 6,7                           | n.b.              | 66              | n.b.            | 21                      | 11                                 | 4             |
| Ethylbenzol                                                  | 6,1                           | n.b.              | 30              | n.b.            | 17                      | 5,9                                | 4             |
| m,p-Xylol                                                    | 4,3                           | n.b.              | 39              | n.b.            | 12                      | 5,7                                | 4             |
| o-Xylol                                                      | n.b.                          | n.b.              | 13              | n.b.            | 5,2                     | n.b.                               | 5             |
| Styrol                                                       | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 8             |
| Propylbenzol                                                 | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| 3-Ethyltoluol                                                | n.b.                          | n.b.              | 11              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| 2-Ethyltoluol                                                | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| 1,3,5-Trimethylbenzol                                        | n.b.                          | n.b.              | 5,1             | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 5             |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                        | n.b.                          | n.b.              | 19              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 5             |
| 1,2,3-Trimethylbenzol                                        | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| <b>Chlorierte Substanzen</b>                                 |                               |                   |                 |                 |                         |                                    |               |
| Tetrachlorethen (PER)                                        | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 8             |
| Chlorbenzol                                                  | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| <b>Ester</b>                                                 |                               |                   |                 |                 |                         |                                    |               |
| Ethylacetat                                                  | n.b.                          | n.b.              | 29              | n.b.            | 14                      | n.b.                               | 8             |
| iso-Propylacetat                                             | n.b.                          | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 11            |
| iso-Butylacetat                                              | n.b.                          | n.b.              | 55              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 9             |
| n-Butylacetat                                                | n.b.                          | n.b.              | 190             | n.b.            | 18                      | 18                                 | 9             |
| 1-Methoxy-2-Propylacetat (MPA)                               | n.b.                          | n.b.              | 20              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 4             |
| Texanoldiisobutytrat (TXIB)                                  | n.b.                          | n.b.              | 12              | n.b.            | n.b.                    | n.b.                               | 8             |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.10: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Folgetermin (M2) (Fortsetzung)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Folgetermin (M2) (Fortsetzung)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                                   | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Ketone</b>                                                              |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| 4-Methyl-2-pentanon (MIBK)                                                 | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| Cyclohexanon                                                               | n.b.                             | n.b.              | 49              | n.b.            | 9,1                        | 5,3                                | 5             |
| Acetophenon                                                                | n.b.                             | n.b.              | 28              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| Benzophenon                                                                | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| <b>Terpene</b>                                                             |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Alpha Pinen                                                                | 38                               | 14                | 650             | n.b.            | 120                        | 76                                 | 5             |
| Beta-Pinen                                                                 | 5,6                              | n.b.              | 81              | n.b.            | 15                         | 8,6                                | 5             |
| 3-Caren                                                                    | 12                               | n.b.              | 170             | n.b.            | 48                         | 23                                 | 5             |
| Limonen                                                                    | 16                               | 9,3               | 130             | n.b.            | 44                         | 18                                 | 4             |
| <b>Sonstige</b>                                                            |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Octamethyltetracyclosiloxan                                                | n.b.                             | n.b.              | 11              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                                | 17                               | n.b.              | 330             | n.b.            | 55                         | 43                                 | 8             |
| <b>Summenparameter</b>                                                     |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Summe Aliphaten                                                            | 46                               | 43                | 160             | 43              | 55                         | 12                                 |               |
| Summe Aromaten                                                             | 40                               | 33                | 170             | 28              | 73                         | 22                                 |               |
| Summe Terpene                                                              | 71                               | 35                | 940             | 9,5             | 220                        | 110                                |               |
| Gesamt VOC                                                                 | <b>180</b>                       | <b>120</b>        | <b>1.200</b>    | <b>10</b>       | <b>470</b>                 | <b>170</b>                         |               |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.11: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Folgetermin (M2)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                              | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Aliphaten und Alicyclen</b>                                        |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| n-Hexan                                                               | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| n-Heptan                                                              | 18                               | n.b.              | 500             | n.b.            | 24                         | 77                                 | 4             |
| n-Octan                                                               | n.b.                             | n.b.              | 15              | n.b.            | 5,2                        | n.b.                               | 4             |
| n-Nonan                                                               | n.b.                             | n.b.              | 30              | n.b.            | 6,6                        | n.b.                               | 4             |
| n-Decan                                                               | 4,1                              | n.b.              | 27              | n.b.            | 15                         | 4,5                                | 4             |
| n-Undecan                                                             | 5,3                              | n.b.              | 42              | n.b.            | 22                         | 6,7                                | 5             |
| n-Dodecan                                                             | n.b.                             | n.b.              | 62              | n.b.            | 12                         | 6,9                                | 6             |
| n-Tridecan                                                            | n.b.                             | n.b.              | 19              | n.b.            | 7,4                        | n.b.                               | 4             |
| n-Tetradecan                                                          | n.b.                             | n.b.              | 18              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| n-Pentadecan                                                          | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| n-Hexadecan                                                           | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Cyclohexan                                                            | 13                               | n.b.              | 610             | n.b.            | 15                         | 71                                 | 4             |
| Methylcyclohexan                                                      | 4,5                              | n.b.              | 78              | n.b.            | 6,7                        | 12                                 | 4             |
| 2.2.4.6.6-Pentamethylheptan                                           | n.b.                             | n.b.              | 20              | n.b.            | 11                         | n.b.                               | 6             |
| Trimeres Isobuten I + II                                              | n.b.                             | n.b.              | 8,6             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 4-Phenylcyclohexen                                                    | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Aromaten</b>                                                       |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Benzol                                                                | n.b.                             | n.b.              | 29              | n.b.            | 6,9                        | n.b.                               | 4             |
| Toluol                                                                | 15                               | 5,7               | 160             | n.b.            | 45                         | 23                                 | 4             |
| Ethylbenzol                                                           | 6,9                              | 4,9               | 29              | n.b.            | 17                         | 5,9                                | 4             |
| m,p-Xylol                                                             | 12                               | 5,0               | 130             | n.b.            | 45                         | 22                                 | 4             |
| o-Xylol                                                               | n.b.                             | n.b.              | 38              | n.b.            | 13                         | 5,6                                | 5             |
| Styrol                                                                | n.b.                             | n.b.              | 19              | n.b.            | 11                         | n.b.                               | 8             |
| Propylbenzol                                                          | n.b.                             | n.b.              | 10              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 3-Ethyltoluol                                                         | n.b.                             | n.b.              | 30              | n.b.            | 9,0                        | 4,6                                | 4             |
| 2-Ethyltoluol                                                         | n.b.                             | n.b.              | 6,6             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| 1,3,5-Trimethylbenzol                                                 | n.b.                             | n.b.              | 13              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 5             |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                                 | n.b.                             | n.b.              | 40              | n.b.            | 12                         | 5,9                                | 5             |
| 1,2,3-Trimethylbenzol                                                 | n.b.                             | n.b.              | 6,7             | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Chlorierte Substanzen</b>                                          |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Tetrachlorethen (PER)                                                 | n.b.                             | n.b.              | 11              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |
| Chlorbenzol                                                           | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| <b>Ester</b>                                                          |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Ethylacetat                                                           | 16                               | n.b.              | 630             | n.b.            | 28                         | 63                                 | 8             |
| iso-Propylacetat                                                      | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| iso-Butylacetat                                                       | n.b.                             | n.b.              | 33              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 9             |
| n-Butylacetat                                                         | 18                               | n.b.              | 690             | n.b.            | 31                         | 73                                 | 9             |
| 1-Methoxy-2-Propylacetat (MPA)                                        | n.b.                             | n.b.              | 13              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 4             |
| Texanoldiisobutytrat (TXIB)                                           | n.b.                             | n.b.              | 14              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 8             |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.12: Ergebnisse der VOC-Messungen in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2) (Fortsetzung)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Folgetermin (M2) (Fortsetzung)</b> |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Substanz                                                                            | Arithm.<br>Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95<br>Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-<br>abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] |
| <b>Ketone</b>                                                                       |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| 4-Methyl-2-pentanon (MIBK)                                                          | n.b.                             | n.b.              | 16              | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 11            |
| Cyclohexanon                                                                        | n.b.                             | n.b.              | 100             | n.b.            | 11                         | 14                                 | 5             |
| Acetophenon                                                                         | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| Benzophenon                                                                         | n.b.                             | n.b.              | n.b.            | n.b.            | n.b.                       | n.b.                               | 6             |
| <b>Terpene</b>                                                                      |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Alpha Pinen                                                                         | 66                               | 20                | 1.300           | n.b.            | 240                        | 180                                | 5             |
| Beta-Pinen                                                                          | 11                               | 2,5               | 260             | n.b.            | 25                         | 34                                 | 5             |
| 3-Caren                                                                             | 15                               | 5,4               | 280             | n.b.            | 48                         | 37                                 | 5             |
| Limonen                                                                             | 50                               | 23                | 420             | n.b.            | 220                        | 78                                 | 4             |
| <b>Sonstige</b>                                                                     |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Octamethyltetra-cyclosiloxan                                                        | 8,5                              | 8,2               | 9,4             | n.b.            | 9,3                        | n.b.                               | 8             |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                                         | 59                               | 33                | 430             | n.b.            | 180                        | 70                                 | 8             |
| <b>Summenparameter</b>                                                              |                                  |                   |                 |                 |                            |                                    |               |
| Summe Aliphaten                                                                     | 75                               | 22                | 1.200           | 3,8             | 390                        | 200                                |               |
| Summe Aromaten                                                                      | 49                               | 30                | 450             | 4,0             | 160                        | 70                                 |               |
| Summe Terpene                                                                       | 140                              | 54                | 2.200           | 4,9             | 440                        | 300                                |               |
| Gesamt VOC                                                                          | <b>490</b>                       | <b>230</b>        | <b>3.700</b>    | <b>27</b>       | <b>2.500</b>               | <b>740</b>                         |               |

BG .... Bestimmungsgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

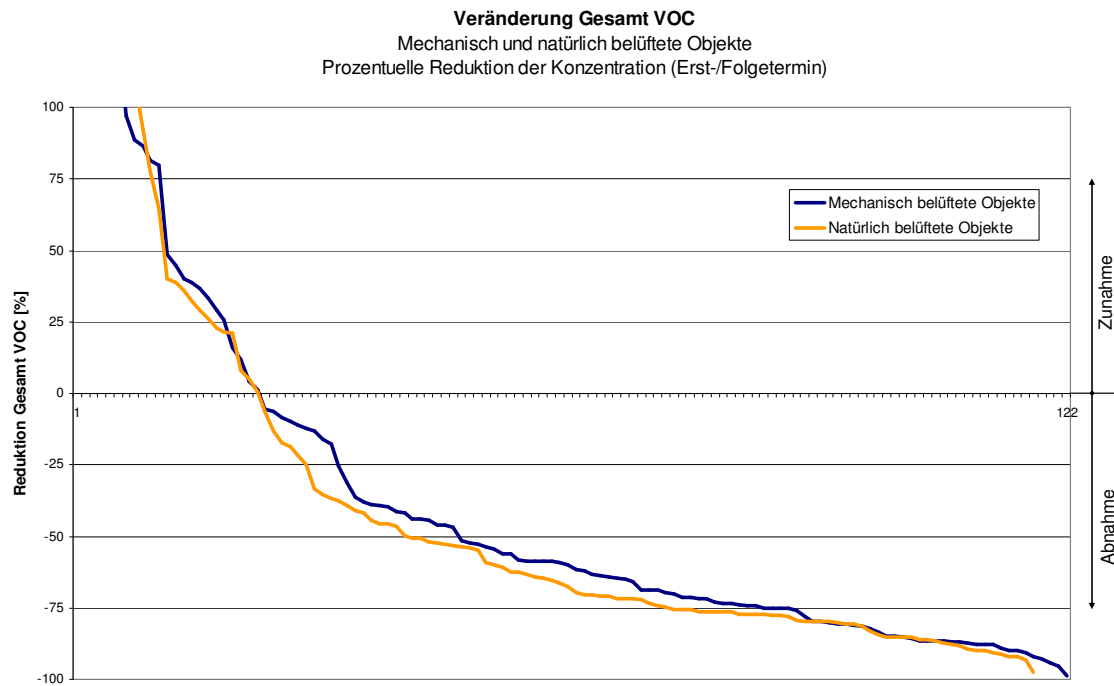


Abb. 3.5.13: Prozentuelle Veränderung der Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung zwischen beiden Messterminen (M1, M2)

### 3.5.2 Aldehyde

Die Formaldehyd-Konzentration wurde beim Ersttermin in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 61 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen. Beim Folgetermin wurde in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen.

Die Konzentrationen an Formaldehyd in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage waren im Durchschnitt zu beiden Messterminen hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) niedriger als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Auch die Veränderung der Konzentration zwischen den beiden Messterminen war in beiden Haustypen signifikant, es bestand im prozentuellen Grad der Veränderung jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Haustypen.

Bei den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lag der Median für die Formaldehyd-Konzentration bei den Erstmessungen bei  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abb. 3.5.21). Bei den Folgemessungen lag der Median für die Formaldehyd-Konzentration in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage bei  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abb. 3.5.22).

In der Gruppe der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage kam es zwischen den beiden Messterminen in 70 % der untersuchten Räume zu einer Reduktion der Formaldehydwerte, bei 23 % der Räume kam es zu einer Zunahme und bei 7 % blieben die Werte etwa gleich. In den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung kam es bei 80 % zu einer Reduktion der Formaldehydkonzentration, bei 16 % zu einer Zunahme und bei 4 % blieben die Werte etwa gleich (Abb. 3.5.23).

Ähnlich verhält es sich bei den anderen untersuchten Aldehyden. Zwischen den Messterminen wurde eine deutliche Senkung der mittleren Konzentrationen festgestellt. Bei den niederen Aldehyden dominierte neben Formaldehyd die Substanz Acetaldehyd, bei den untersuchten höheren Aldehyden (gesättigte azyklische aliphatische  $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyde) dominierte die Substanz Hexanal.

Tab. 3.5.14: Ergebnisse der Aldehyd-Messungen in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Ersttermin (M1)</b>      |                               |                   |                 |                 |                         |                                |               |               |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Substanz                                                         | Arithm. Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95 Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] | NG<br>[µg/m³] |
| Formaldehyd                                                      | 30                            | 27                | 140             | 7,0             | 53                      | 18                             | 1,0           | 0,5           |
| Acetaldehyd                                                      | 36                            | 32                | 100             | 5,0             | 81                      | 22                             | 1,7           | 0,5           |
| Propionaldehyd                                                   | 5,4                           | 4,8               | 18              | n.b.            | 10                      | 3,1                            | 1,7           | 0,5           |
| Butyraldehyd u. Isobutyraldehyd (= Butanal u. 2-Methyl-Propanal) | 3,6                           | 3,1               | 11              | n.b.            | 7,7                     | 2,2                            | 1,0           | 0,5           |
| Valeraldehyd (= Pentanal)                                        | 9,8                           | 7,2               | 42              | 1,3             | 26                      | 8,0                            | 1,0           | 0,5           |
| Hexanal                                                          | 31                            | 21                | 150             | 2,2             | 96                      | 28                             | 1,7           | 0,5           |
| Heptanal                                                         | 2,2                           | 1,9               | 8,1             | n.n.            | 5,3                     | 1,5                            | 2,8           | 1,0           |
| Octanal                                                          | 2,9                           | 2,2               | 13              | n.n.            | 7,8                     | 2,4                            | 1,0           | 0,5           |
| Nonanal                                                          | 6,6                           | 5,7               | 19              | n.b.            | 15                      | 3,7                            | 1,7           | 0,5           |
| Decanal                                                          | 2,4                           | 2,2               | 11              | n.n.            | 5,2                     | 1,5                            | 3,3           | 1,0           |
| 2-Methyl-Butanal                                                 | 1,4                           | 1,1               | 5,3             | n.n.            | 3,8                     | 1,1                            | 1,0           | 0,5           |
| 3-Methyl-Butanal                                                 | 5,5                           | 4,9               | 22              | 2,9             | 9,7                     | 2,5                            | 1,7           | 0,5           |

BG / NG .... Bestimmungs-/Nachweisgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

n.n. .... nicht nachweisbar (Nachweisgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.15: Ergebnisse der Aldehyd-Messungen in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Ersttermin (M1)</b> |                               |                   |                 |                 |                         |                                |               |               |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Substanz                                                             | Arithm. Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95 Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] | NG<br>[µg/m³] |
| Formaldehyd                                                          | 41                            | 40                | 110             | 8,5             | 67                      | 17                             | 1,0           | 0,5           |
| Acetaldehyd                                                          | 81                            | 53                | 710             | 11              | 170                     | 98                             | 1,7           | 0,5           |
| Propionaldehyd                                                       | 10                            | 8,0               | 63              | 1,8             | 24                      | 7,9                            | 1,7           | 0,5           |
| Butyraldehyd u. Isobutyraldehyd (= Butanal u. 2-Methyl-Propanal)     | 7,0                           | 5,9               | 24              | 1,1             | 16                      | 4,4                            | 1,0           | 0,5           |
| Valeraldehyd (= Pentanal)                                            | 17                            | 13                | 78              | 1,9             | 49                      | 15                             | 1,0           | 0,5           |
| Hexanal                                                              | 52                            | 36                | 260             | 3,2             | 150                     | 49                             | 1,7           | 0,5           |
| Heptanal                                                             | 3                             | 1,9               | 10              | n.n.            | 6,7                     | 2                              | 2,8           | 1,0           |
| Octanal                                                              | 3,3                           | 3,0               | 11              | n.n.            | 6,4                     | 1,9                            | 1,0           | 0,5           |
| Nonanal                                                              | 7,5                           | 7,0               | 17              | 1,9             | 15                      | 3,6                            | 1,7           | 0,5           |
| Decanal                                                              | 2,2                           | 2,2               | 6,7             | n.n.            | 4,2                     | 0,93                           | 3,3           | 1,0           |
| 2-Methyl-Butanal                                                     | 2,8                           | 2,2               | 13              | n.n.            | 8,5                     | 2,3                            | 1,0           | 0,5           |
| 3-Methyl-Butanal                                                     | 7,7                           | 6,5               | 27              | 2,6             | 16                      | 4,6                            | 1,7           | 0,5           |

BG / NG .... Bestimmungs-/Nachweisgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

n.n. .... nicht nachweisbar (Nachweisgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.16: Ergebnisse der Aldehyd-Messungen in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Folgetermin (M2)

| <b>Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage - Folgetermin (M2)</b>     |                               |                   |                 |                 |                         |                                |               |               |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Substanz                                                         | Arithm. Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95 Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] | NG<br>[µg/m³] |
| Formaldehyd                                                      | 24                            | 22                | 65              | n.b.            | 46                      | 11                             | 1,0           | 0,5           |
| Acetaldehyd                                                      | 23                            | 18                | 75              | n.b.            | 49                      | 15                             | 1,7           | 0,5           |
| Propionaldehyd                                                   | 2,6                           | 2,2               | 12              | n.n.            | 5,1                     | 1,6                            | 1,7           | 0,5           |
| Butyraldehyd u. Isobutyraldehyd (= Butanal u. 2-Methyl-Propanal) | 2,1                           | 1,8               | 6,5             | n.n.            | 4,7                     | 1,2                            | 1,0           | 0,5           |
| Valeraldehyd (= Pentanal)                                        | 4,8                           | 3,4               | 17              | n.n.            | 12                      | 3,6                            | 1,0           | 0,5           |
| Hexanal                                                          | 15                            | 10                | 59              | n.n.            | 37                      | 12                             | 1,7           | 0,5           |
| Heptanal                                                         | 1,6                           | 1,9               | 5,1             | n.n.            | 3,1                     | 0,94                           | 2,8           | 1,0           |
| Octanal                                                          | 1,8                           | 1,5               | 7,6             | n.n.            | 3,7                     | 1,2                            | 1,0           | 0,5           |
| Nonanal                                                          | 6,0                           | 5,3               | 18              | n.b.            | 11                      | 2,8                            | 1,7           | 0,5           |
| Decanal                                                          | 2,4                           | 2,2               | 8,6             | n.n.            | 5,4                     | 1,3                            | 3,3           | 1,0           |
| 2-Methyl-Butanal                                                 | 0,7                           | 0,75              | 3,2             | n.n.            | 1,9                     | 0,6                            | 1,0           | 0,5           |
| 3-Methyl-Butanal                                                 | 4,6                           | 5,2               | 9,6             | n.n.            | 8,0                     | 2,3                            | 1,7           | 0,5           |

BG / NG .... Bestimmungs-/Nachweisgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

n.n. .... nicht nachweisbar (Nachweisgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.17: Ergebnisse der Aldehyd-Messungen in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

| <b>Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung - Folgetermin (M2)</b> |                               |                   |                 |                 |                         |                                |               |               |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Substanz                                                              | Arithm. Mittelwert<br>[µg/m³] | Median<br>[µg/m³] | Max.<br>[µg/m³] | Min.<br>[µg/m³] | 95 Perzentil<br>[µg/m³] | Standard-abweichung<br>[µg/m³] | BG<br>[µg/m³] | NG<br>[µg/m³] |
| Formaldehyd                                                           | 32                            | 31                | 74              | 7,2             | 59                      | 15                             | 1,0           | 0,5           |
| Acetaldehyd                                                           | 51                            | 33                | 530             | 5,3             | 140                     | 69                             | 1,7           | 0,5           |
| Propionaldehyd                                                        | 5,2                           | 4,2               | 25              | n.b.            | 11                      | 3,6                            | 1,7           | 0,5           |
| Butyraldehyd u. Isobutyraldehyd (= Butanal u. 2-Methyl-Propanal)      | 4,3                           | 3,7               | 15              | n.b.            | 9,4                     | 2,7                            | 1,0           | 0,5           |
| Valeraldehyd (= Pentanal)                                             | 7,9                           | 6,2               | 43              | n.b.            | 19                      | 6,2                            | 1,0           | 0,5           |
| Hexanal                                                               | 24                            | 18                | 140             | 2,2             | 55                      | 20                             | 1,7           | 0,5           |
| Heptanal                                                              | 2,1                           | 1,9               | 6,9             | n.n.            | 4,8                     | 1,2                            | 2,8           | 1,0           |
| Octanal                                                               | 2,2                           | 1,9               | 6,4             | n.n.            | 4,3                     | 1,2                            | 1,0           | 0,5           |
| Nonanal                                                               | 7,0                           | 6,2               | 16              | 1,8             | 13                      | 3,2                            | 1,7           | 0,5           |
| Decanal                                                               | 2,5                           | 2,2               | 7,5             | n.n.            | 4,7                     | 1,2                            | 3,3           | 1,0           |
| 2-Methyl-Butanal                                                      | 1,3                           | 1,1               | 6,5             | n.n.            | 3,1                     | 1,1                            | 1,0           | 0,5           |
| 3-Methyl-Butanal                                                      | 6,1                           | 6,1               | 22              | n.n.            | 11                      | 3,2                            | 1,7           | 0,5           |

BG / NG .... Bestimmungs-/Nachweisgrenze

n.b. .... nicht bestimmbar (Bestimmungsgrenze unterschritten)

n.n. .... nicht nachweisbar (Nachweisgrenze unterschritten)

Tab. 3.5.18: Ergebnisse der Aldehyd-Messungen (Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde) in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

| Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> -Aldehyde | Einheit              | Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|
|                                                                                       |                      | Ersttermin                         | Folgetermin | Ersttermin                                  | Folgetermin |
| Anzahl Messungen                                                                      | -                    | 124                                | 122         | 122                                         | 117         |
| Arithm. Mittelwert                                                                    | [µg/m <sup>3</sup> ] | 65                                 | 39          | 103                                         | 57          |
| Median                                                                                | [µg/m <sup>3</sup> ] | 52                                 | 32          | 81                                          | 50          |
| Maximum                                                                               | [µg/m <sup>3</sup> ] | 260                                | 120         | 440                                         | 260         |
| Minimum                                                                               | [µg/m <sup>3</sup> ] | 13                                 | 3,6         | 19                                          | 8           |
| 95 Perzentil                                                                          | [µg/m <sup>3</sup> ] | 170                                | 80          | 258                                         | 110         |

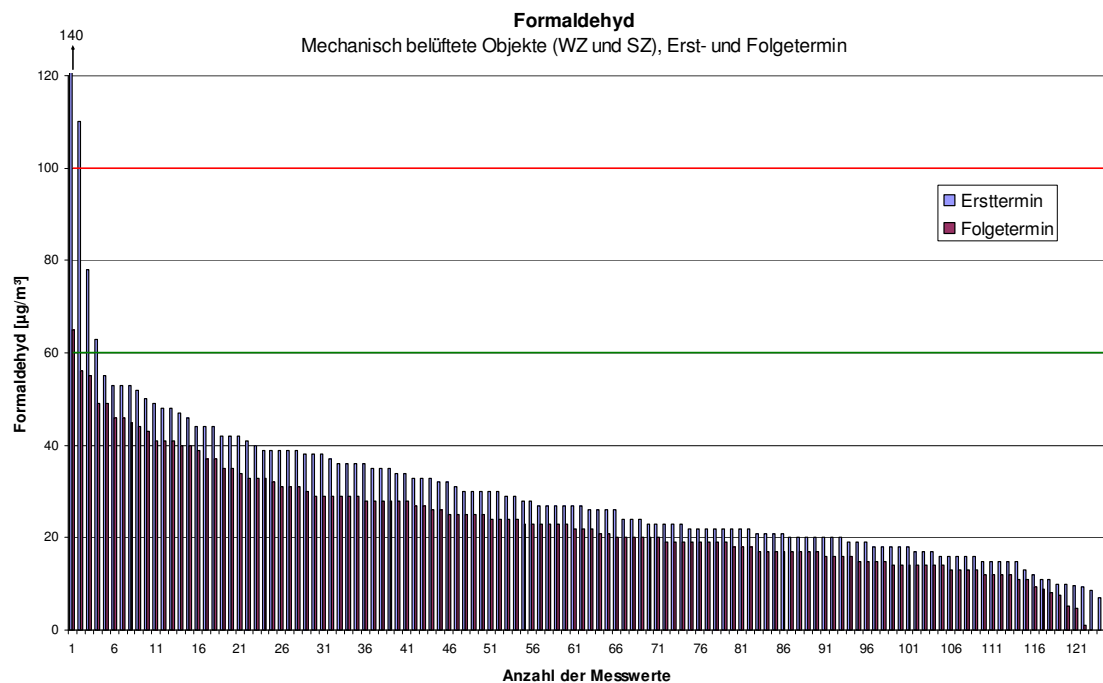


Abb. 3.5.19: Formaldehyd-Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

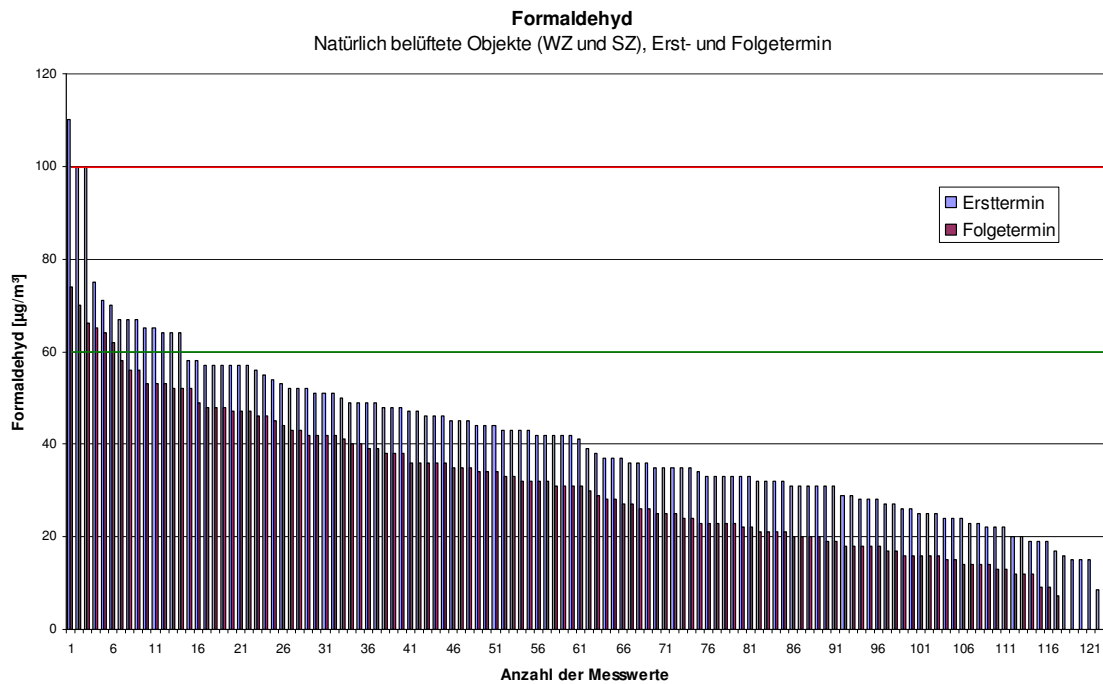


Abb. 3.5.20: Formaldehyd-Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

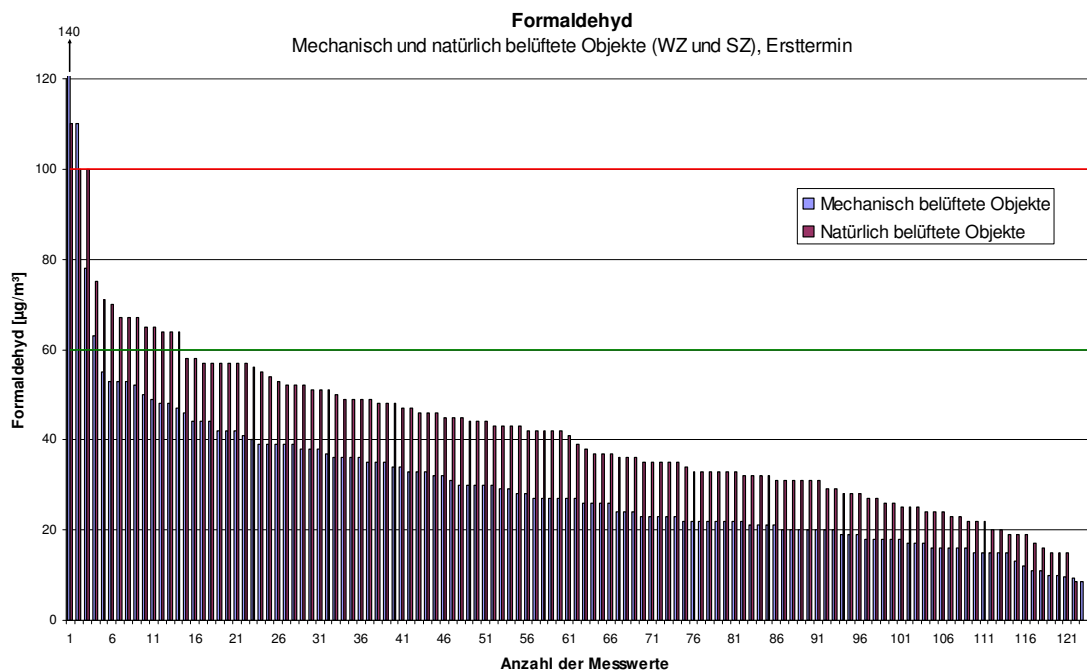


Abb. 3.5.21: Formaldehyd-Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

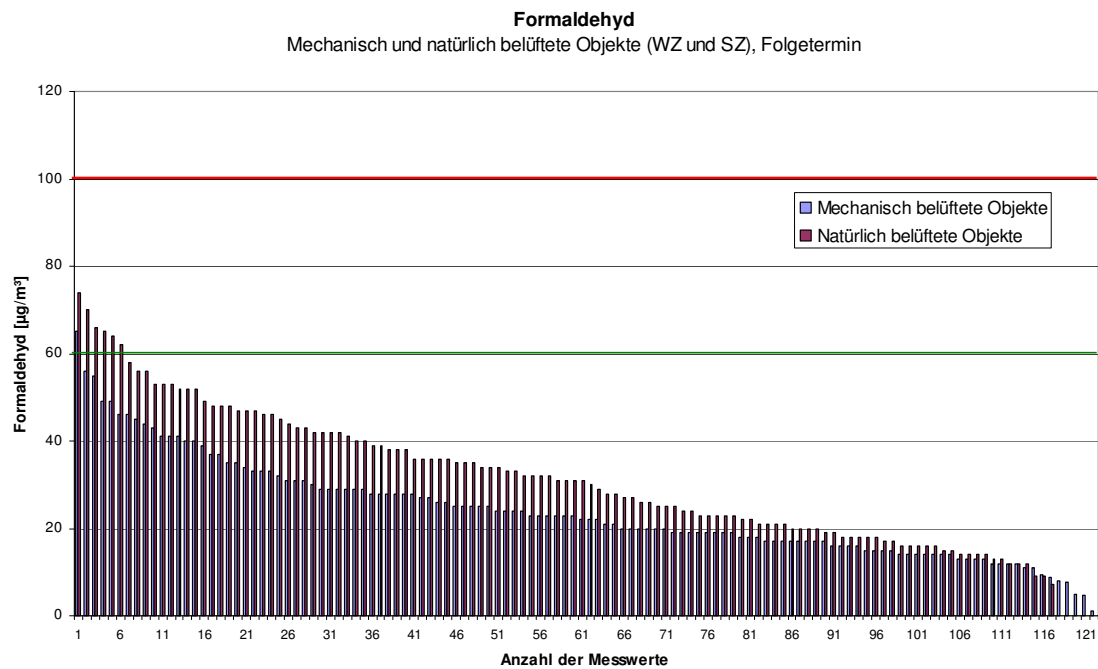


Abb. 3.5.22: Formaldehyd-Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

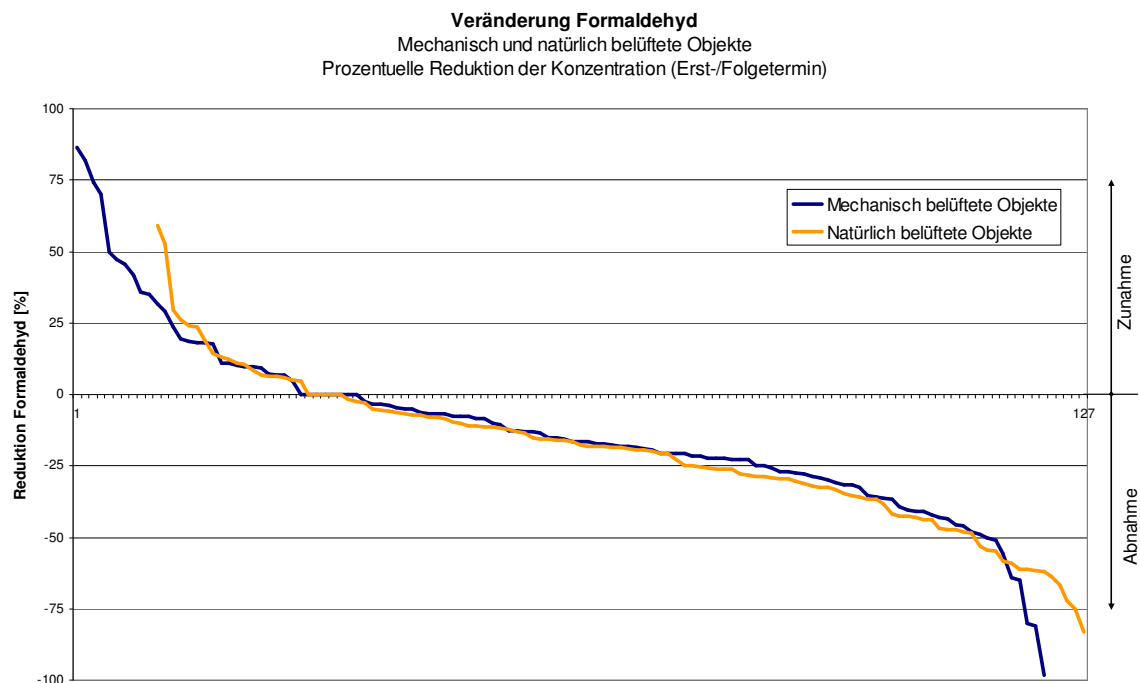


Abb. 3.5.23: Prozentuelle Reduktion der Formaldehyd-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung zwischen beiden Messterminen (M1, M2)

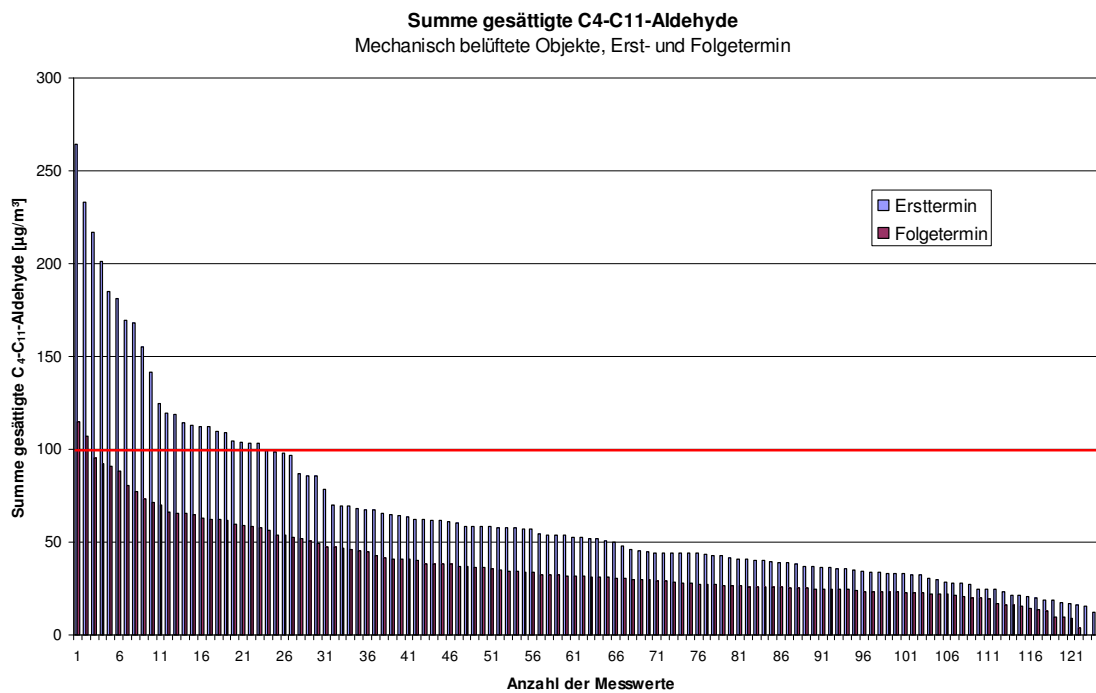


Abb. 3.5.24: Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

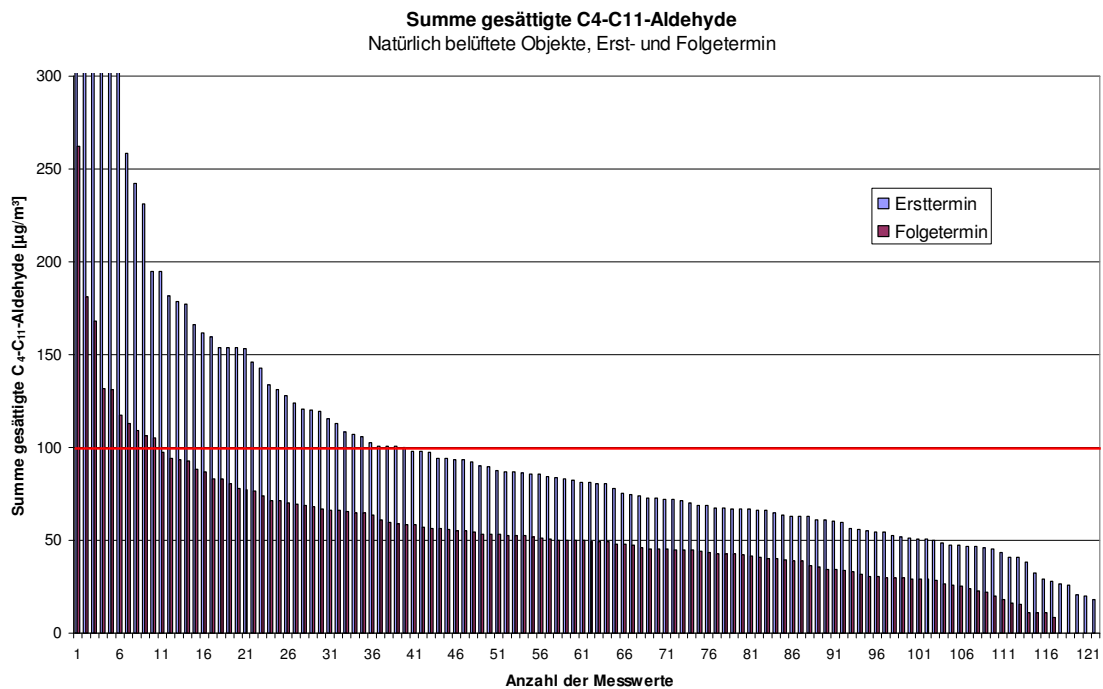


Abb. 3.5.25: Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

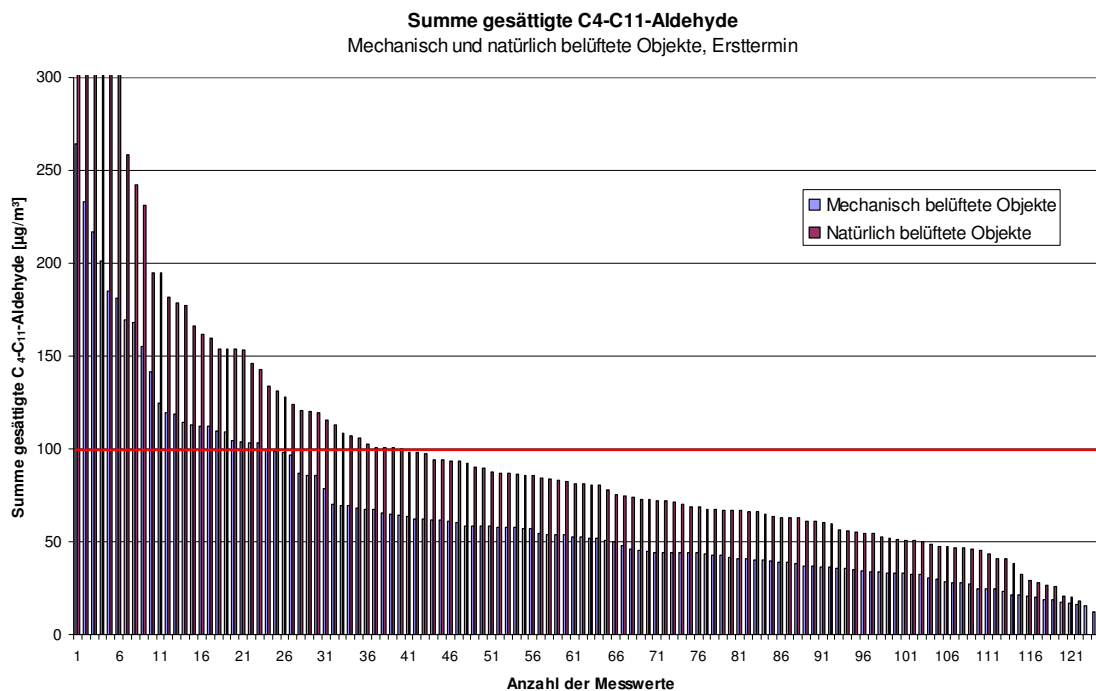


Abb. 3.5.26: Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

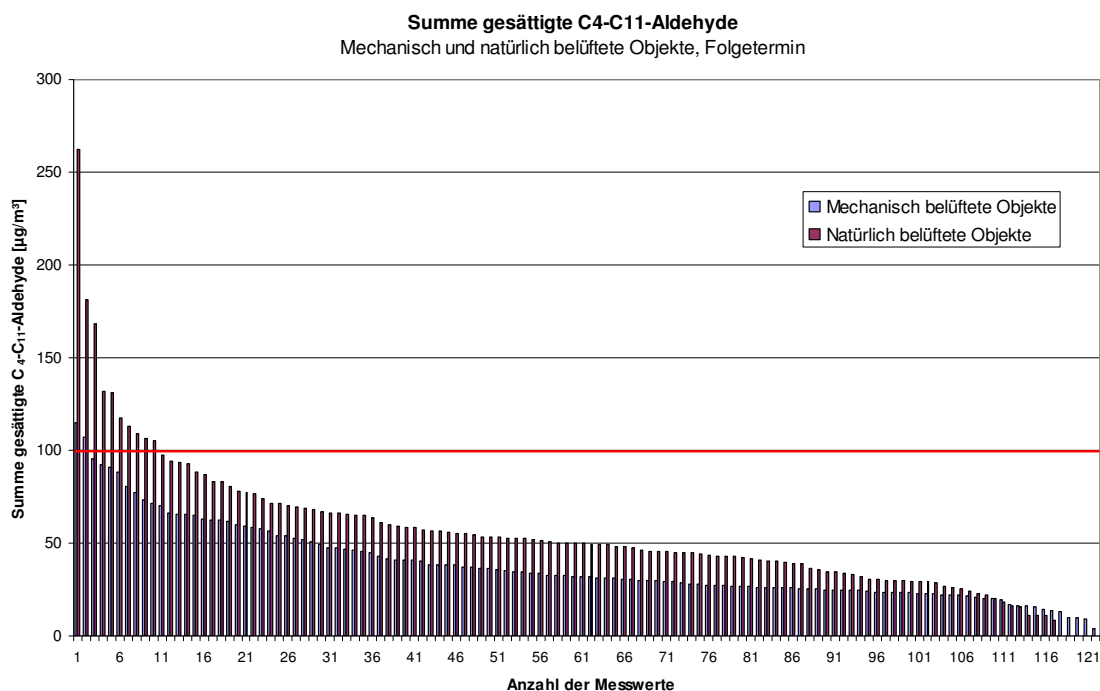


Abb. 3.5.27: Summe gesättigter azyklischer aliphatischer C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

### 3.5.3 Schimmelpilzsporen in der Raumluft

Beim Ersttermin wurde die Schimmelsporenkonzentration in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in 61 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen, beim Folgetermin in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.

Im Rahmen der orientierenden Untersuchung erfolgte eine rein quantitative Beurteilung anhand der Konzentrationsunterschiede außen – innen an koloniebildenden Einheiten (KBE/m<sup>3</sup>), jedoch keine Differenzierung der Schimmelpilzgattungen und -arten.

Bei der Erstmessung war in 84 % der gemessenen Räume in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage die Innenraumkonzentration an KBE/m<sup>3</sup> geringer als bzw. gleich wie in der Außenluft, in 16 % war die Innenraumkonzentration höher als in der Außenluft. Bei Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung lag der Anteil der Räume mit höherer Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> innen bei 35 %.

Bei der Folgemessung lag der Anteil der Objekte mit höherer Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> innen in der Gruppe der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei 10 %, in der Gruppe der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung bei 21 % (Tab. 3.5.36).

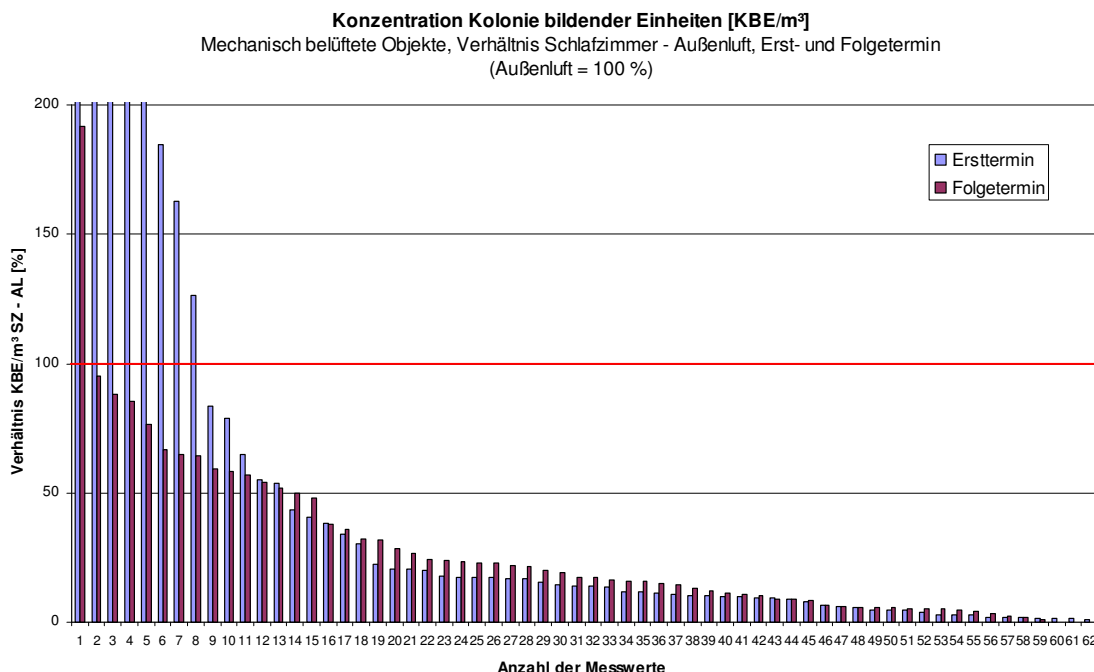


Abb. 3.5.28: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage und der Außenluft, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

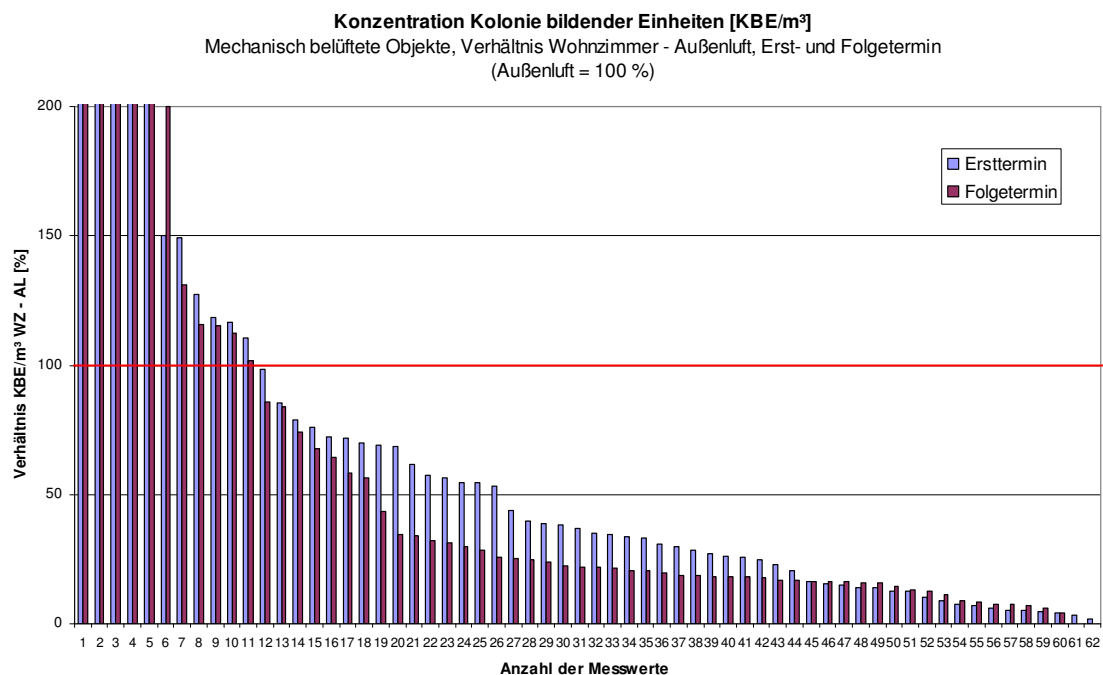


Abb. 3.5.29: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Wohnräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage und der Außenluft, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

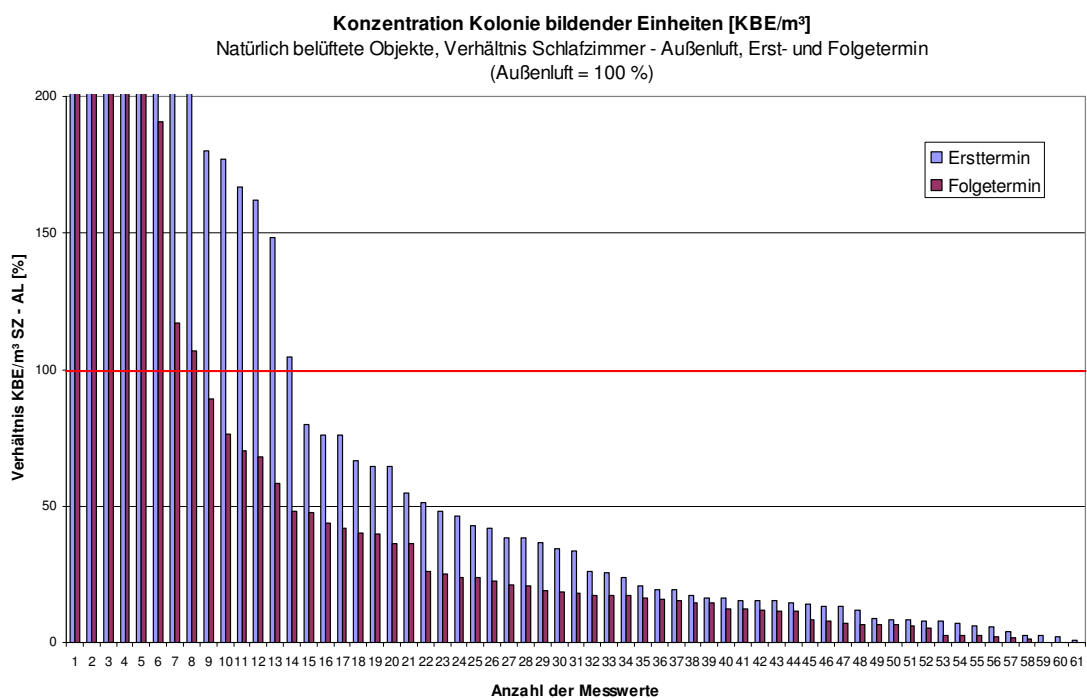


Abb. 3.5.30: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Schlafräumen der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

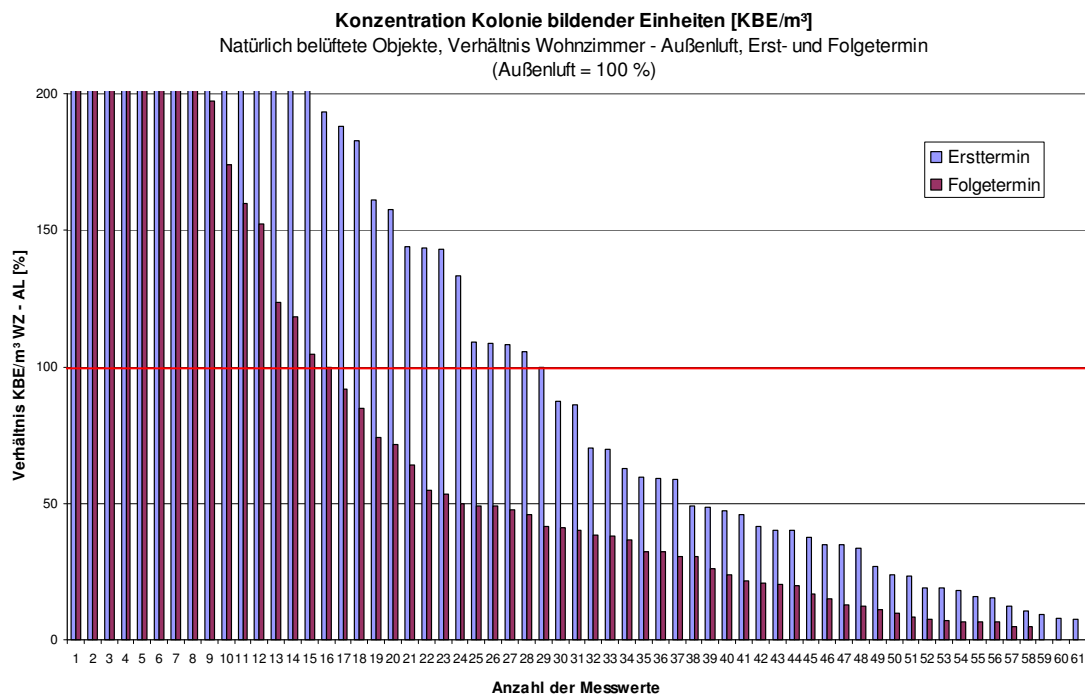


Abb. 3.5.31: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Wohnräumen der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

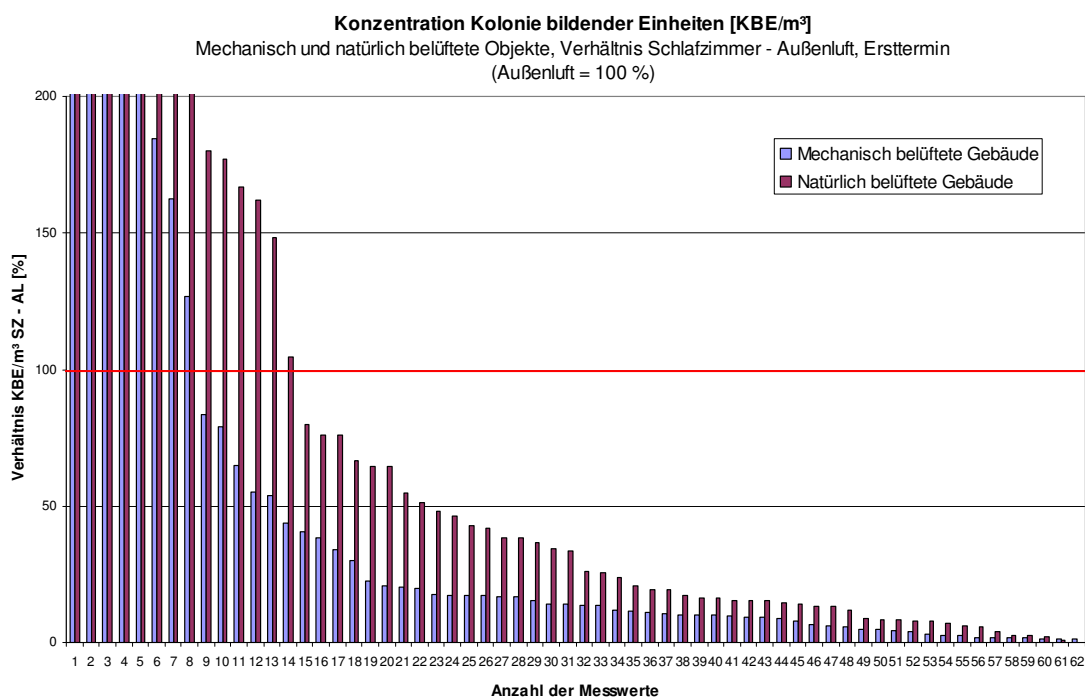


Abb. 3.5.32: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Ersttermin (M1)

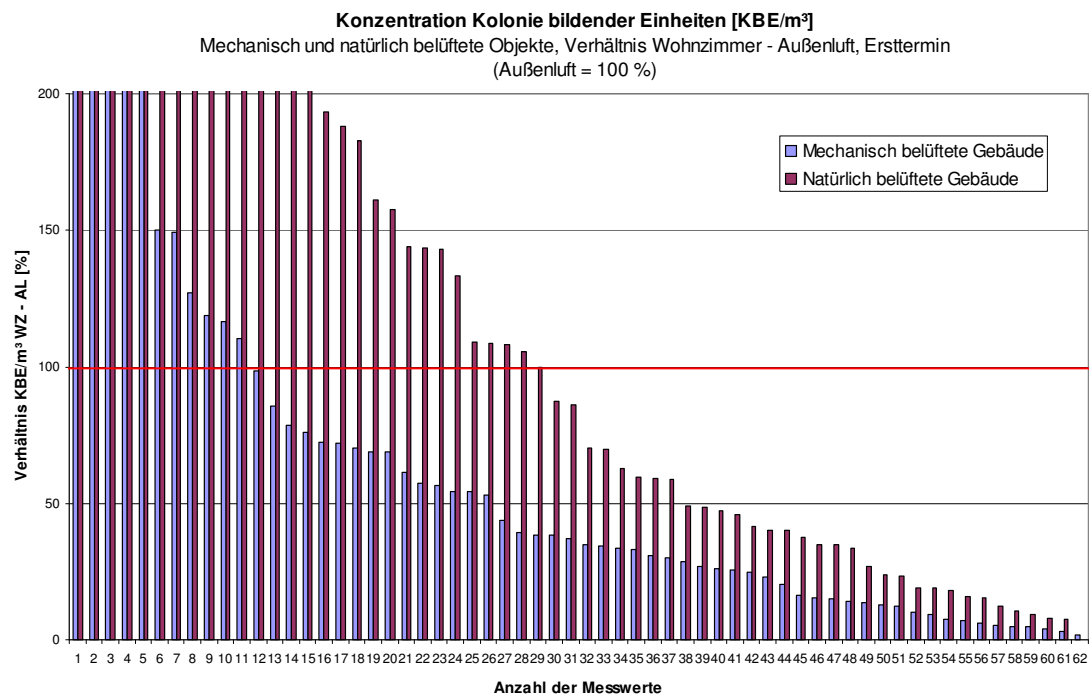


Abb. 3.5.33: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Wohnräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Ersttermin (M1)

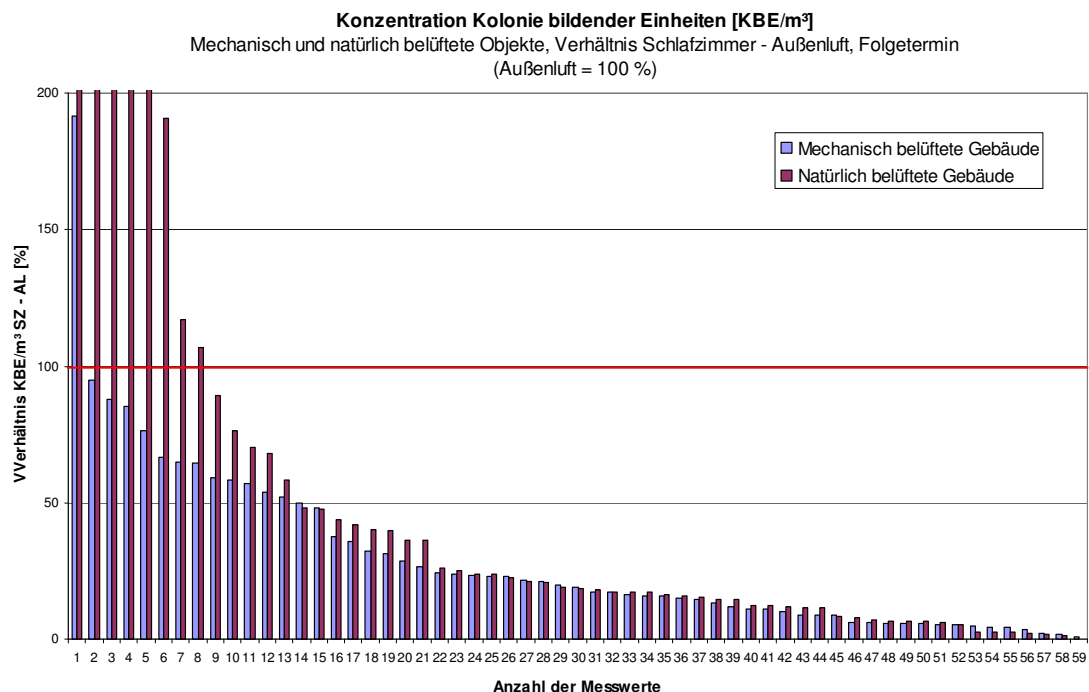


Abb. 3.5.34: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Folgetermin (M2)

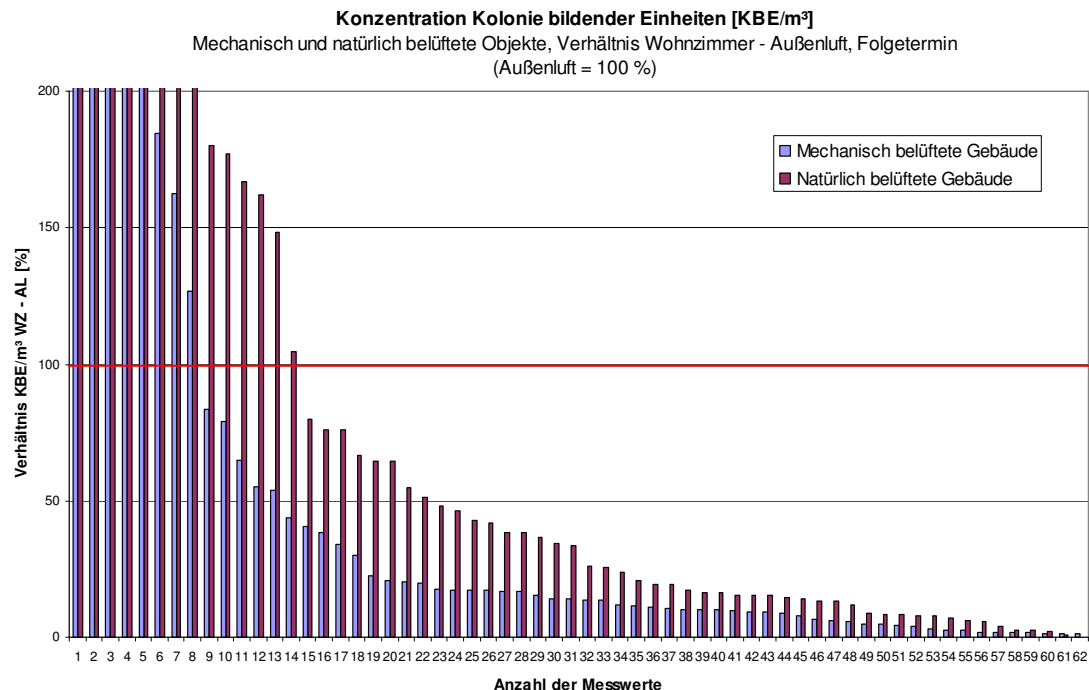


Abb. 3.5.35: Verhältnis der Konzentration an KBE/m<sup>3</sup> in den Wohnräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung und der Außenluft, Folgetermin (M2)

Tab. 3.5.36: Verhältnis der Konzentrationen (KBE/m<sup>3</sup>) innen - außen, Anzahl der Räume in Prozent der Gesamtanzahl (M1, M2)

|                                                                                                                                |         | Objekte mit Wohnraum-<br>lüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließ-<br>licher Fensterlüftung |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                                                                |         | Ersttermin                              | Folgetermin | Ersttermin                                       | Folgetermin |
| Anzahl Objekte / Messungen                                                                                                     | Einheit | 61 / 122                                | 61 / 122    | 61 / 122                                         | 59 / 118    |
| Innenraumkonzentration an KBE/m <sup>3</sup><br>geringer als / gleich wie Außenbereich<br>(Differenz Außenluft – Raumluft ≥ 0) | [%]     | 84                                      | 90          | 65                                               | 79          |
| höher als im Außenbereich<br>(Differenz Außenluft – Raumluft < 0 ... -500)                                                     | [%]     | 9                                       | 8           | 23                                               | 19          |
| deutlich höher als im Außenbereich<br>(Differenz Außenluft – Raumluft < -500)                                                  | [%]     | 7                                       | 2           | 12                                               | 2           |

## 3.5.4 Staubmilbenallergene

Die Staubmilbenallergen-Konzentration wurde beim Ersttermin in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 60 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen, beim Folgetermin in 57 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 56 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.

In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage war die Konzentration der Hausstaubmilbenallergene Der p1 und Der p2 bei der Erstmessung im Mittel höher als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Demnach lagen 40 % der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage beim Ersttermin über dem Wert von 0,5 µg/g Staub und 22 % über einem Wert von 2 µg/g. Bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung betrug dieser Anteil 38 % beziehungsweise 15 %. Beim Folgetermin betrug der Anteil der Objekte mit Werten über 0,5 µg/g bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung 26 %, bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung 32 % (Tab. 3.5.42).

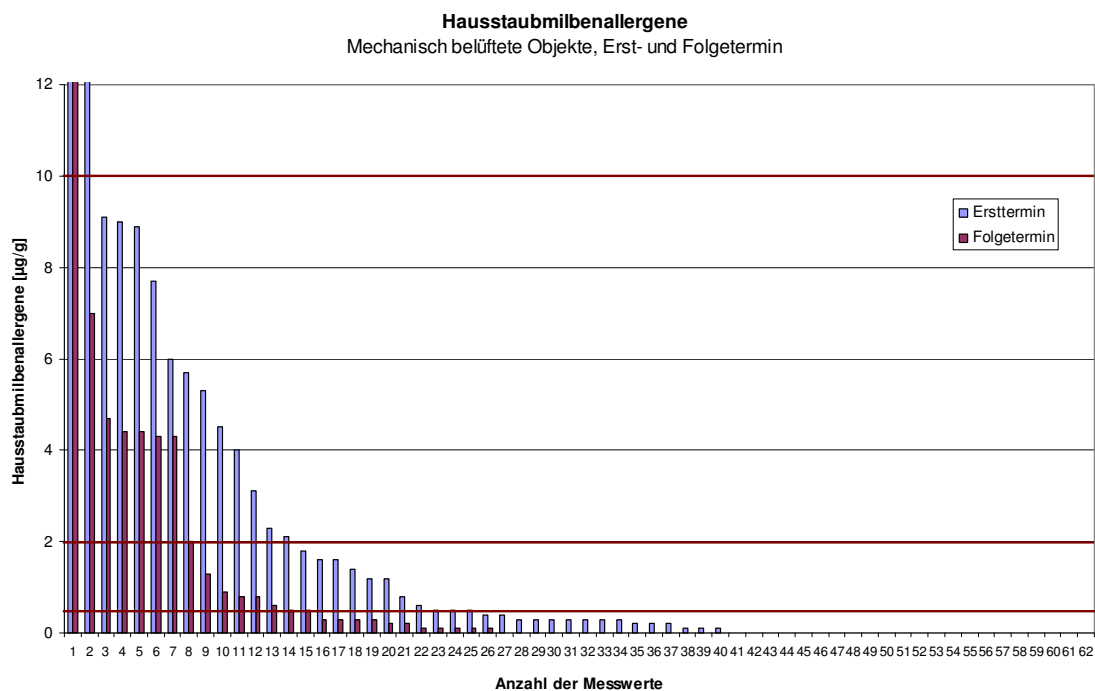


Abb. 3.5.37: Summe der Konzentration an Der p1 und Der p2 in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

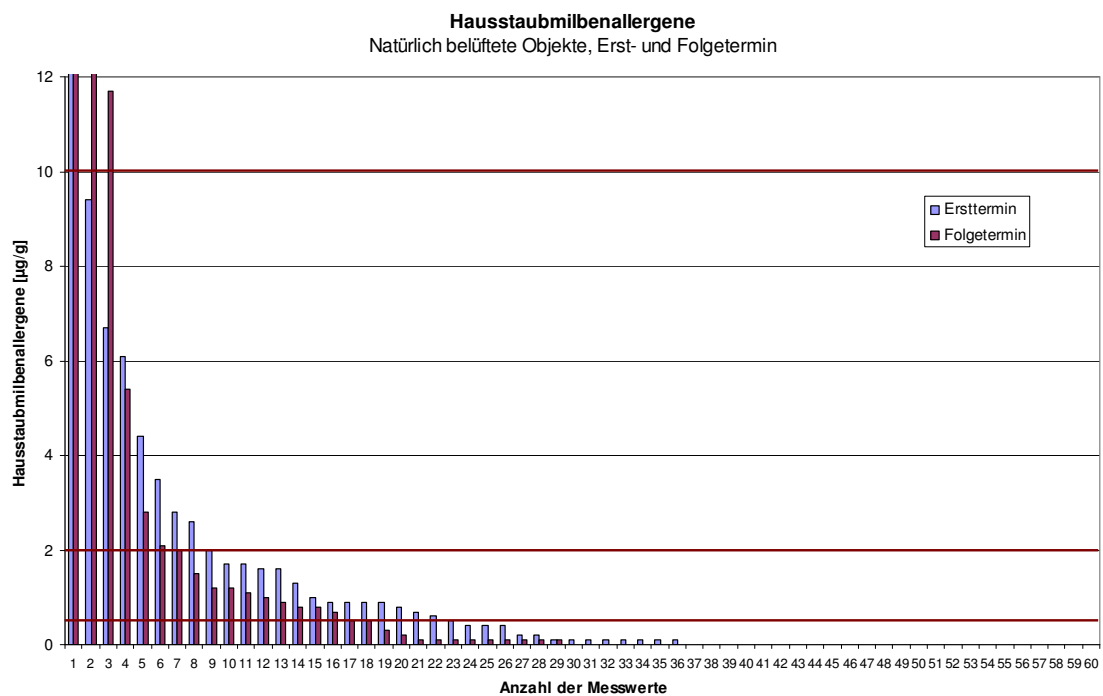


Abb. 3.5.38: Summe der Konzentration an Der p1 und Der p2 in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

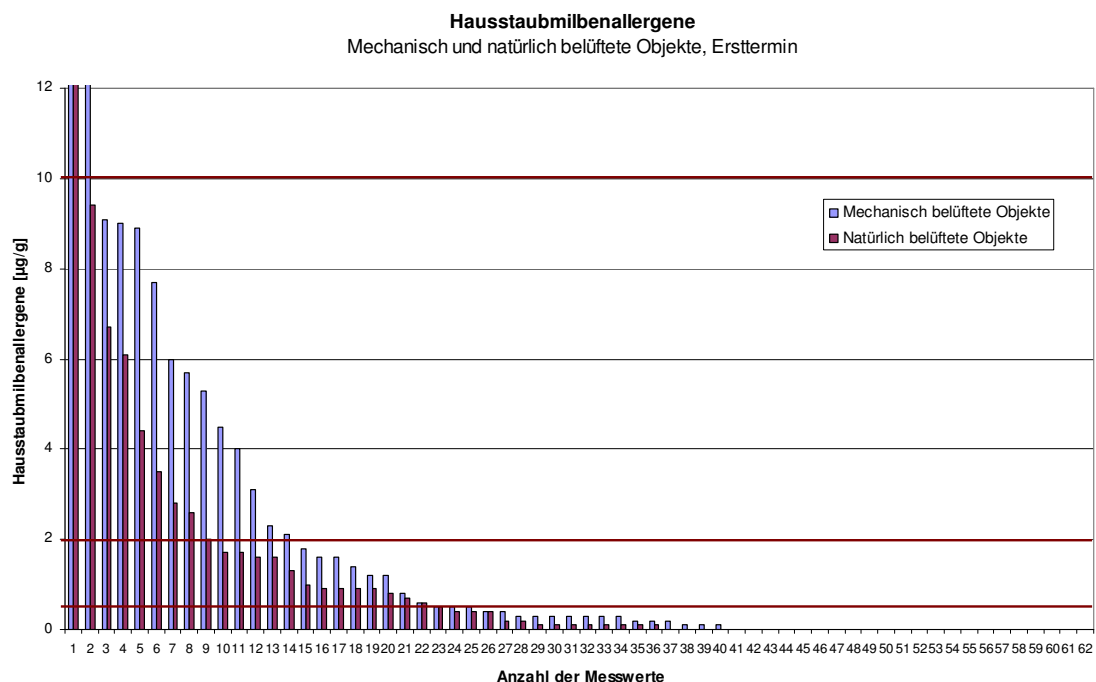


Abb. 3.5.39: Summe der Konzentration an Der p1 und Der p2 in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

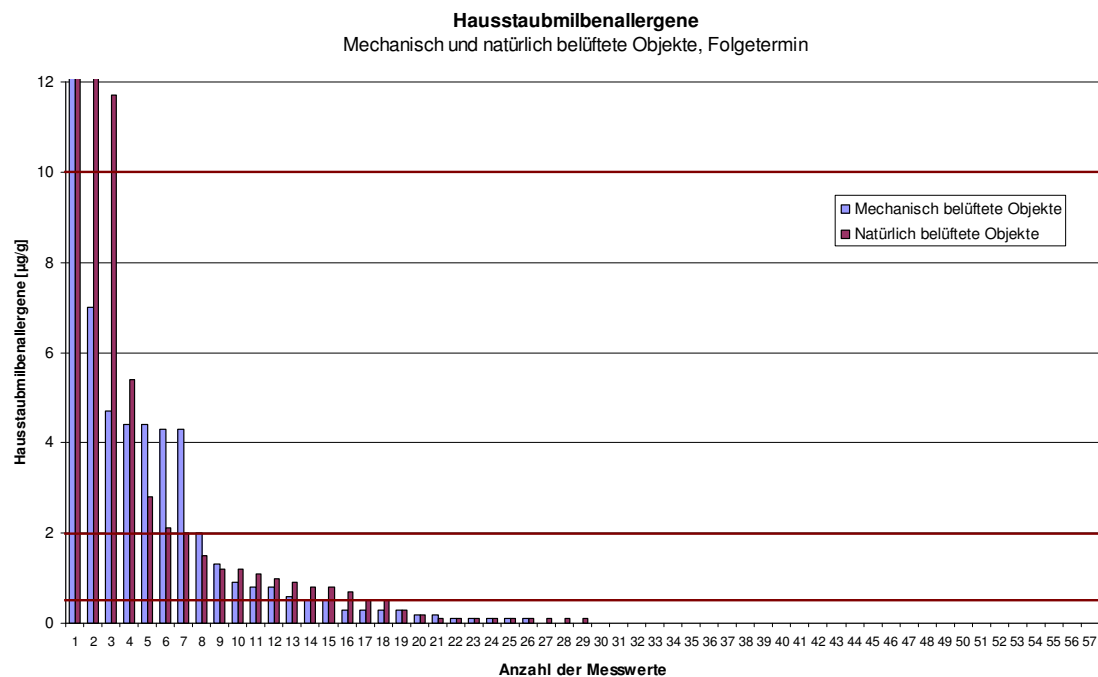


Abb. 3.5.40: Summe der Konzentration an Der p1 und Der p2 in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

Tab. 3.5.41: Ergebnisse der Hausstaubmilbenallergen-Messungen (M1, M2)

| Summen-Konzentration<br>Der p1 und Der p2 | Einheit | Objekte mit<br>Wohnraumlüftungsanlage |             | Objekte mit aus-<br>schließlicher Fensterlüftung |             |
|-------------------------------------------|---------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|                                           |         | Ersttermin                            | Folgetermin | Ersttermin                                       | Folgetermin |
| Anzahl Objekte                            | -       | 62                                    | 57          | 60                                               | 56          |
| Arithm. Mittelwert                        | [µg/g]  | 2,1                                   | 1,0         | 1,2                                              | 1,8         |
| Median                                    | [µg/g]  | 0,3                                   | <0,2        | <0,2                                             | <0,2        |
| Maximum                                   | [µg/g]  | 28                                    | 20          | 16                                               | 46          |
| Minimum                                   | [µg/g]  | <0,2                                  | <0,2        | <0,2                                             | <0,2        |
| 95 Perzentil                              | [µg/g]  | 9,0                                   | 4,5         | 6,1                                              | 7,0         |

Tab. 3.5.42: Anzahl der Objekte absolut und in Prozent nach Kategorien der Hausstaubmilbenallergene Der p1 und Der p2 (M1, M2)

| Kategorie   | Einheit | Objekte mit<br>Wohnraumlüftungsanlage |     |             |     | Objekte mit ausschließlicher<br>Fensterlüftung |     |             |     |
|-------------|---------|---------------------------------------|-----|-------------|-----|------------------------------------------------|-----|-------------|-----|
|             |         | Ersttermin                            |     | Folgetermin |     | Ersttermin                                     |     | Folgetermin |     |
|             |         | Anzahl                                | %   | Anzahl      | %   | Anzahl                                         | %   | Anzahl      | %   |
| < 0,5       | [µg/g]  | 37                                    | 60  | 42          | 74  | 37                                             | 62  | 38          | 68  |
| 0,5 ... < 2 | [µg/g]  | 11                                    | 18  | 7           | 12  | 14                                             | 23  | 11          | 20  |
| 2 ...10     | [µg/g]  | 12                                    | 19  | 7           | 12  | 8                                              | 13  | 4           | 7   |
| > 10        | [µg/g]  | 2                                     | 3   | 1           | 2   | 1                                              | 2   | 3           | 5   |
|             |         | 62                                    | 100 | 57          | 100 | 60                                             | 100 | 56          | 100 |

## 3.5.5 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Marker für anthropogene Verunreinigungen

Beim Ersttermin wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 61 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen. Beim Folgetermin wurde in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen.

Der Median der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lag beim Ersttermin bei 1.360 ppm, bei Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei 1.830 ppm (Tab. 3.5.43). Bei Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lag beim Ersttermin der Anteil der Objekte mit einem Maximum des CO<sub>2</sub>-Stundenmittelwertes im Bereich „Niedrige Raumluftqualität“ (1.400 ppm laut EN 13779) bei 45 %, bei Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei 80 % (Tab. 3.5.44 und Abb. 3.5.50). Die CO<sub>2</sub>-Situation veränderte sich im Lauf eines Jahres bei beiden Haustypen nur unwesentlich. Beim Folgetermin betrug der Median in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage 1.280 ppm bzw. 1.740 ppm in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.

Der maximale Stundenmittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei beiden Messterminen lag in 75 % der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung bzw. 39 % der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage zumindest zeitweise über dem hygienischen Mindeststandard von 1.400 ppm („Niedrige Raumluftqualität“ laut ÖNORM EN 13779), die Mindestvorgaben der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2011) wurden in einem Großteil der Objekte nicht eingehalten. In den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung war die mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlafzimmer bei beiden Messterminen signifikant höher als in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage.

Tab. 3.5.43: Maximaler gleitender CO<sub>2</sub>-Stundenmittelwert in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

| Parameter          | Einheit | Objekte mit Wohnraum-<br>lüftungsanlage |             | Objekte mit aus-<br>schließlicher Fensterlüftung |             |
|--------------------|---------|-----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|                    |         | Ersttermin                              | Folgetermin | Ersttermin                                       | Folgetermin |
| Anzahl Objekte     | -       | 62                                      | 61          | 60                                               | 59          |
| Arithm. Mittelwert | [ppm]   | 1.440                                   | 1.340       | 2.340                                            | 1.920       |
| Median             | [ppm]   | 1.360                                   | 1.280       | 1.830                                            | 1.740       |
| Maximum            | [ppm]   | 3.010                                   | 2.250       | 7.190                                            | 3.780       |
| Minimum            | [ppm]   | 790                                     | 690         | 660                                              | 700         |
| 95 Perzentil       | [ppm]   | 2.240                                   | 2.130       | 4.860                                            | 3.520       |

Tab. 3.5.44: Anzahl der Objekte mit einem maximalen gleitenden CO<sub>2</sub>-Stundenmittelwert über 1.400 bzw. 1.000 ppm in Prozent der Gesamtobjektanzahl

| CO <sub>2</sub> -Konzentration<br>(Maximaler Stundenmittelwert) | Einheit | Objekte mit Wohnraum-<br>lüftungsanlage |             | Objekte mit aus-<br>schließlicher Fensterlüftung |             |
|-----------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|                                                                 |         | Ersttermin                              | Folgetermin | Ersttermin                                       | Folgetermin |
| über 1.400 ppm                                                  | [%]     | 45                                      | 33          | 80                                               | 69          |
| über 1.000 ppm                                                  | [%]     | 84                                      | 89          | 92                                               | 92          |

Eine Differenzierung der Ergebnisse in Einfamilienhäuser und Wohnungen im mehrgeschossigen Wohnbau zeigte, dass es hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Schlafräumen der beiden Wohntypen keine signifikanten Unterschiede gibt (Tab. 3.5.45 und Tab. 3.5.46).

Tab. 3.5.45: Maximaler gleitender CO<sub>2</sub>-Stundenmittelwert in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1), EFH = Einfamilienhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser

| Ersttermin         |         | Objekte mit<br>Wohnraumlüftungsanlage |       | Objekte mit aus-<br>schließlicher Fensterlüftung |       |
|--------------------|---------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------------------|-------|
| Parameter          | Einheit | EFH                                   | MFH   | EFH                                              | MFH   |
| Anzahl der Objekte | -       | n=45                                  | n=16  | n=43                                             | n=18  |
| Arithm. Mittelwert | [ppm]   | 1.460                                 | 1.380 | 2.310                                            | 2.390 |
| Median             | [ppm]   | 1.340                                 | 1.480 | 1.880                                            | 1.810 |
| Maximum            | [ppm]   | 3.000                                 | 2.570 | 7.190                                            | 5.200 |
| Minimum            | [ppm]   | 810                                   | 790   | 660                                              | 1.080 |

Tab. 3.5.46: Maximaler gleitender CO<sub>2</sub>-Stundenmittelwert in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2), EFH = Einfamilienhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser

| Folgetermin        |         | Objekte mit<br>Wohnraumlüftungsanlage |       | Objekte mit aus-<br>schließlicher Fensterlüftung |       |
|--------------------|---------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------------------|-------|
| Parameter          | Einheit | EFH                                   | MFH   | EFH                                              | MFH   |
| Anzahl der Objekte | -       | n=44                                  | n=17  | n=42                                             | n=18  |
| Arithm. Mittelwert | [ppm]   | 1.390                                 | 1.200 | 1.880                                            | 2.020 |
| Median             | [ppm]   | 1.290                                 | 1.270 | 1.730                                            | 1.840 |
| Maximum            | [ppm]   | 2.250                                 | 1.730 | 3.600                                            | 3.780 |
| Minimum            | [ppm]   | 870                                   | 680   | 700                                              | 860   |

Bei 16 Objekten wurden im Rahmen des ersten Messtermines die CO<sub>2</sub>-Konzentration sowohl bei ein- als auch bei ausgeschalteter Lüftungsanlage erhoben. Erwartungsgemäß lagen die Konzentrationen bei ausgeschalteter Anlage höher als bei eingeschalteter (Tab. 3.5.47).

Tab. 3.5.47: Maximaler gleitender Stundenmittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei ein- und ausgeschalteter Lüftungsanlage

| Parameter          | Einheit | Lüftungsanlage<br>eingeschaltet | Lüftungsanlage<br>ausgeschaltet |
|--------------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| Anzahl der Objekte | -       | 16                              | 16                              |
| Arithm. Mittelwert | [ppm]   | 1.460                           | 1.940                           |
| Median             | [ppm]   | 1.380                           | 1.710                           |
| Maximum            | [ppm]   | 2.240                           | 4.260                           |
| Minimum            | [ppm]   | 900                             | 730                             |

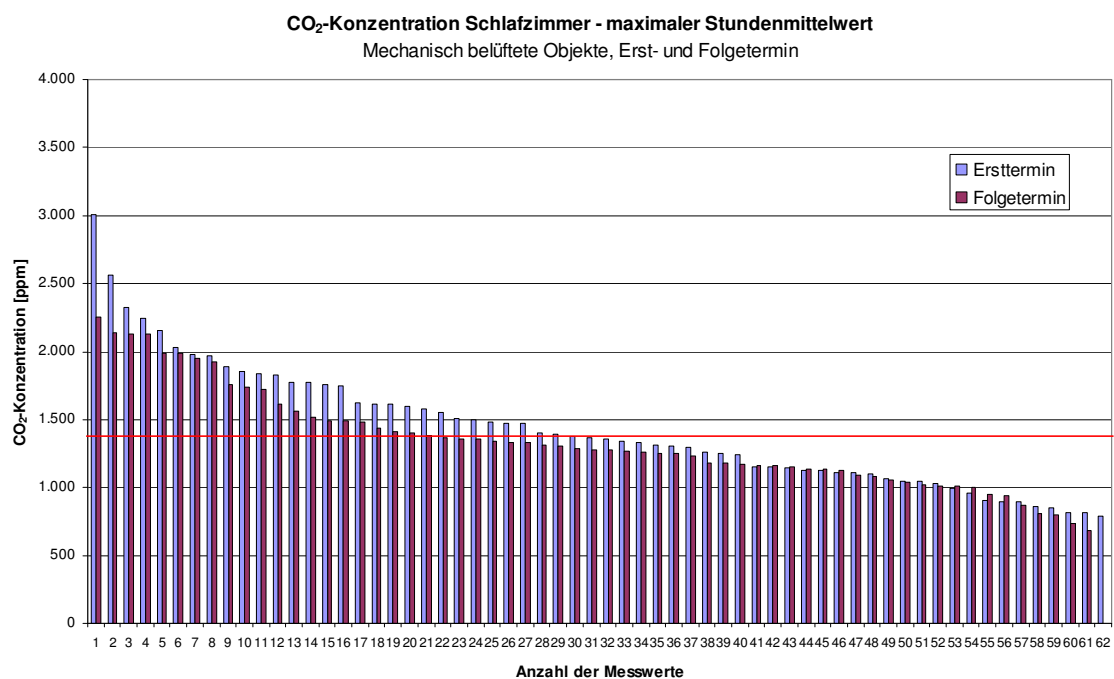


Abb. 3.5.48: CO<sub>2</sub>-Konzentration (max. gleitender Stundenmittelwert) im Schlafräum der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

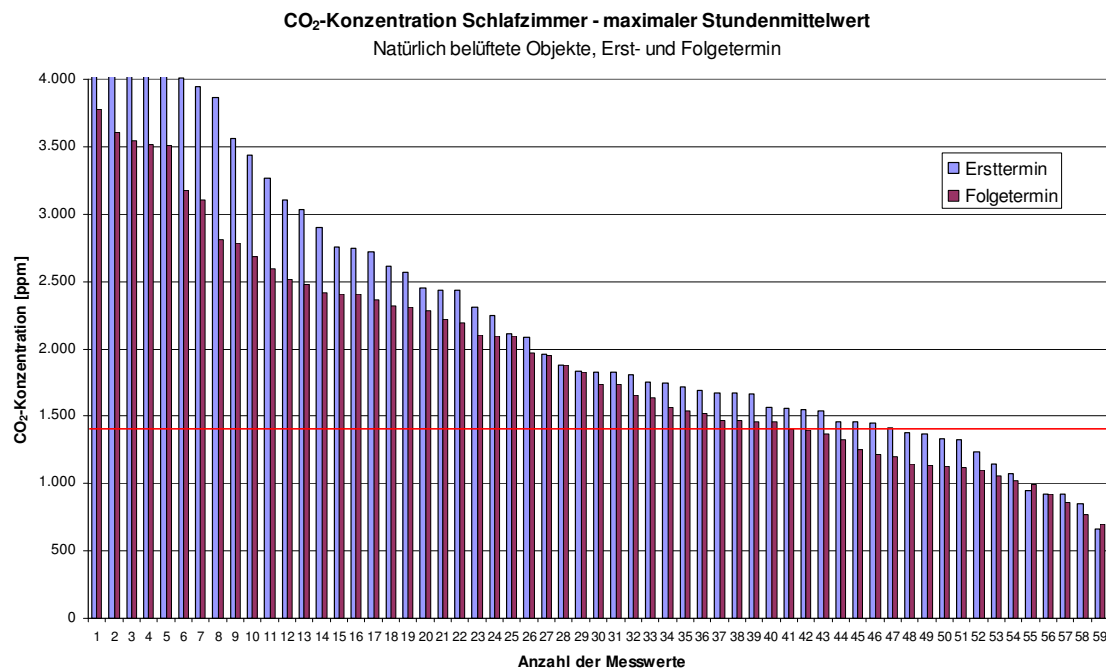


Abb. 3.5.49: CO<sub>2</sub>-Konzentration (max. gleitender Stundenmittelwert) im Schlafrum der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

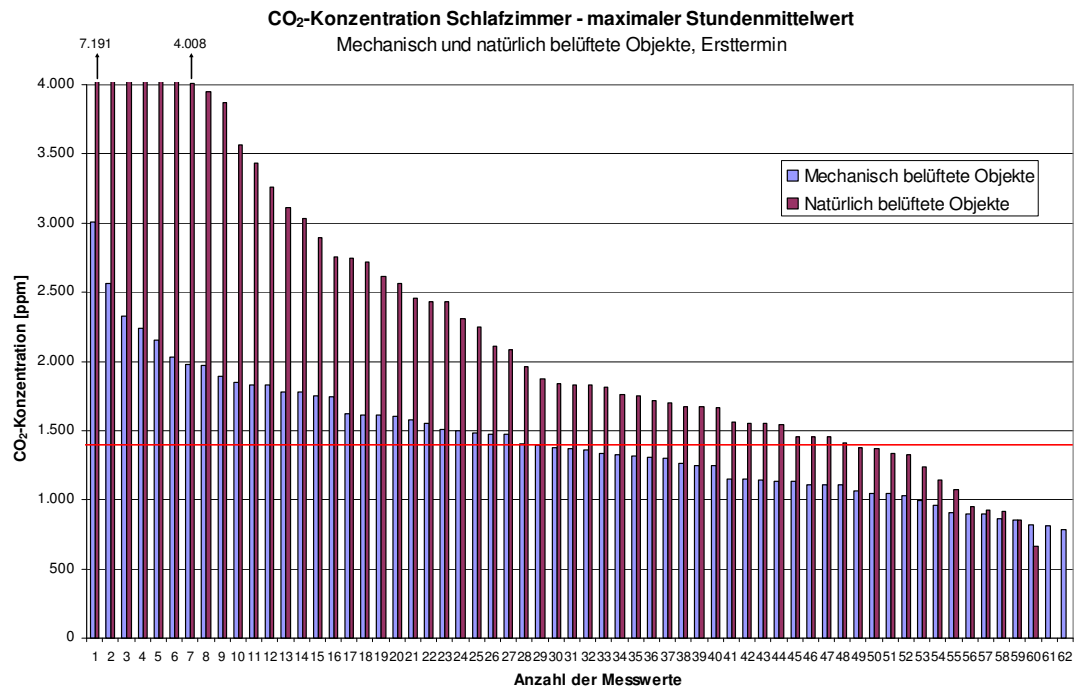


Abb. 3.5.50: CO<sub>2</sub>-Konzentration (max. gleitender Stundenmittelwert) im Schlafrum der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Ersttermin (M1)

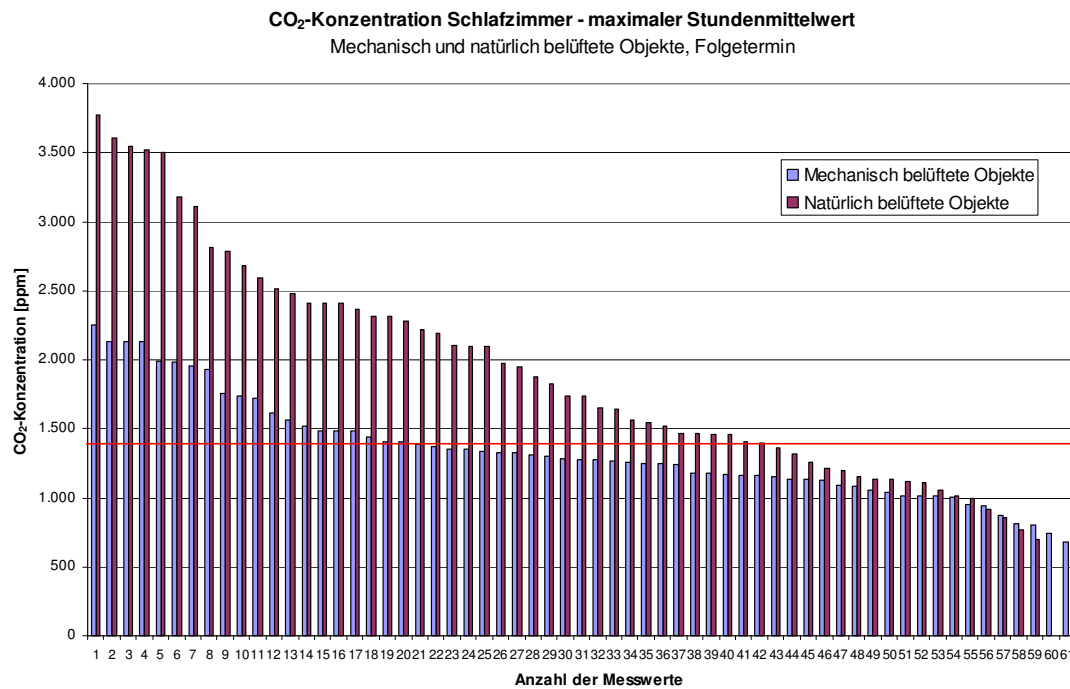


Abb. 3.5.51: CO<sub>2</sub>-Konzentration (max. gleitender Stundenmittelwert) im Schlafraum der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, Folgetermin (M2)

### 3.5.6 Zuluftvolumenstrom

Die Personenbelegung im Schlafraum lag bei beiden Terminen in rund 85 % aller Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage laut Angaben der Nutzer bei zwei oder mehr Personen (in den Objekten ohne Wohnraumlüftungsanlage wurde diese Untersuchung nicht durchgeführt).

Die Ergebnisse zeigen, dass beim Ersttermin der zugeführte Außenluft-Volumenstrom (Zuluftvolumen pro Stunde) im Schlafzimmer der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei 7 % der Objekte mindestens 40 m<sup>3</sup>/h betrug, beim Folgetermin stieg der Anteil auf 12 % (Abb. 3.5.52). Die Bewertung des Zuluftvolumens unter Berücksichtigung der Personenbelegung ergab, dass beim Ersttermin nur 11 % der Schlafzimmer im Rahmen der wünschenswerten Zuluftmenge von 20 bis 25 m<sup>3</sup>/Person\*h (nach ÖNORM H 6038) lagen, beim Folgetermin waren es 21 % (Tab. 3.5.54).

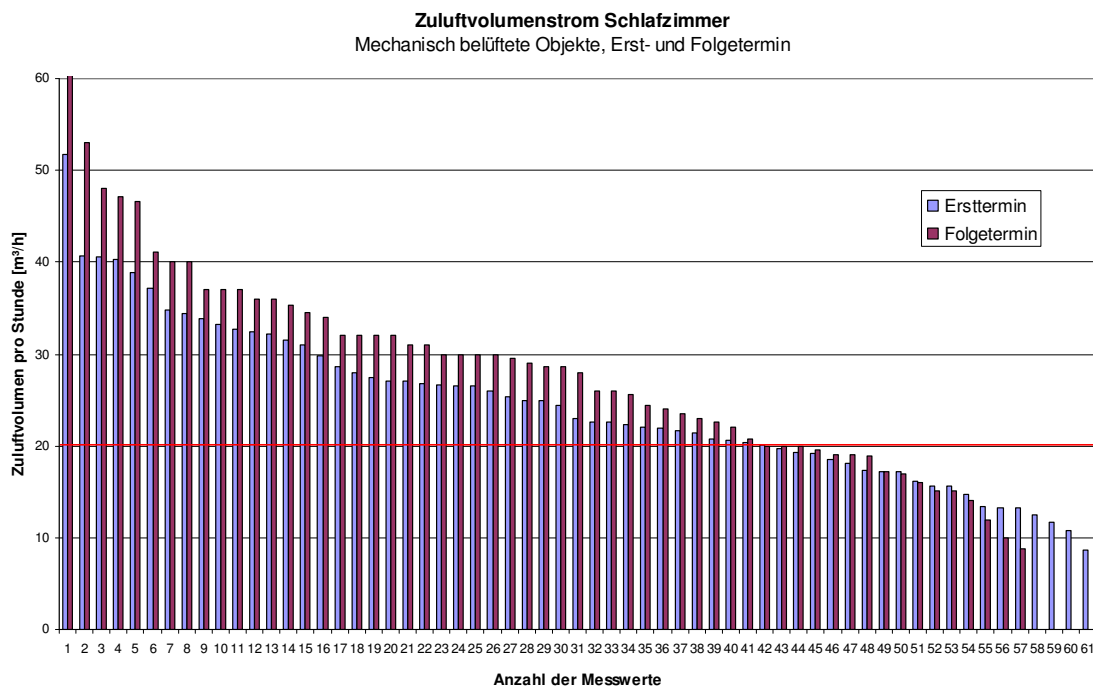


Abb. 3.5.52: Zuluftvolumenstrom gesamt in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

Tab. 3.5.53: Personenbelegung der Schlafräume in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage laut Angaben der Nutzer (M1, M2)

| Personenbelegung Schlafraum |            |     |             |     |
|-----------------------------|------------|-----|-------------|-----|
|                             | Ersttermin |     | Folgetermin |     |
|                             | Anzahl     | [%] | Anzahl      | [%] |
| 1 Person                    | 5          | 8   | 8           | 13  |
| 1-2 Personen                | 4          | 7   | 2           | 3   |
| 2 Personen                  | 43         | 69  | 37          | 61  |
| 2-3 Personen                | 5          | 8   | 8           | 13  |
| ≥ 3 Personen                | 5          | 8   | 6           | 10  |
| Summe                       | 62         | 100 | 61          | 100 |

Tab. 3.5.54: Bewertung des Zuluftvolumenstroms in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage unter Berücksichtigung der Personenbelegung (M1, M2)

| Zuluftvolumenstrom Schlafraum                                | Ersttermin |     | Folgetermin |     |
|--------------------------------------------------------------|------------|-----|-------------|-----|
|                                                              | Anzahl     | [%] | Anzahl      | [%] |
| Im Bereich der Vorgaben ÖNORM H 6038 (20 ... 25 m³/Person*h) | 7          | 11  | 12          | 21  |
| zu niedrig (< 20 m³/Person*h)                                | 51         | 84  | 43          | 75  |
| zu hoch (> 25 m³/Person*h)                                   | 3          | 5   | 2           | 4   |
| Summe                                                        | 61         | 100 | 57          | 100 |

## 3.5.7 Radon

Die Radon-Konzentration wurde in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 60 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen.

Der Radon-Jahresmittelwert errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelkonzentrationen der drei gemessenen Räume im jeweiligen Objekt. Der Median der Radon-Jahresmittelwerte in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage ( $17 \text{ Bq/m}^3$ ) lag um beinahe die Hälfte niedriger als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Bei einem der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung wurde der in Österreich angewendete Planungsrichtwert von  $200 \text{ Bq/m}^3$  überschritten, bei drei Objekten der Wert von  $100 \text{ Bq/m}^3$ . In allen Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden generell Werte unter  $100 \text{ Bq/m}^3$  gemessen. Ein detaillierter Ergebnisbericht zu den Radonmessungen ist im Anhang beigefügt (Anhang 8.1 Radon-Ergebnisbericht).

Tab. 3.5.55: Ergebnisse der Radon-Messungen

| Parameter          | Einheit           | Objekte mit Wohnraum-<br>lüftungsanlage | Objekte mit<br>ausschließlicher<br>Fensterlüftung |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Anzahl Objekte     | -                 | 62                                      | 60                                                |
| Arithm. Mittelwert | $[\text{Bq/m}^3]$ | 22                                      | 43                                                |
| Median             | $[\text{Bq/m}^3]$ | 17                                      | 31                                                |
| Maximum            | $[\text{Bq/m}^3]$ | 74                                      | 240                                               |
| Minimum            | $[\text{Bq/m}^3]$ | 8                                       | 6                                                 |
| 95 Perzentil       | $[\text{Bq/m}^3]$ | 50                                      | 110                                               |

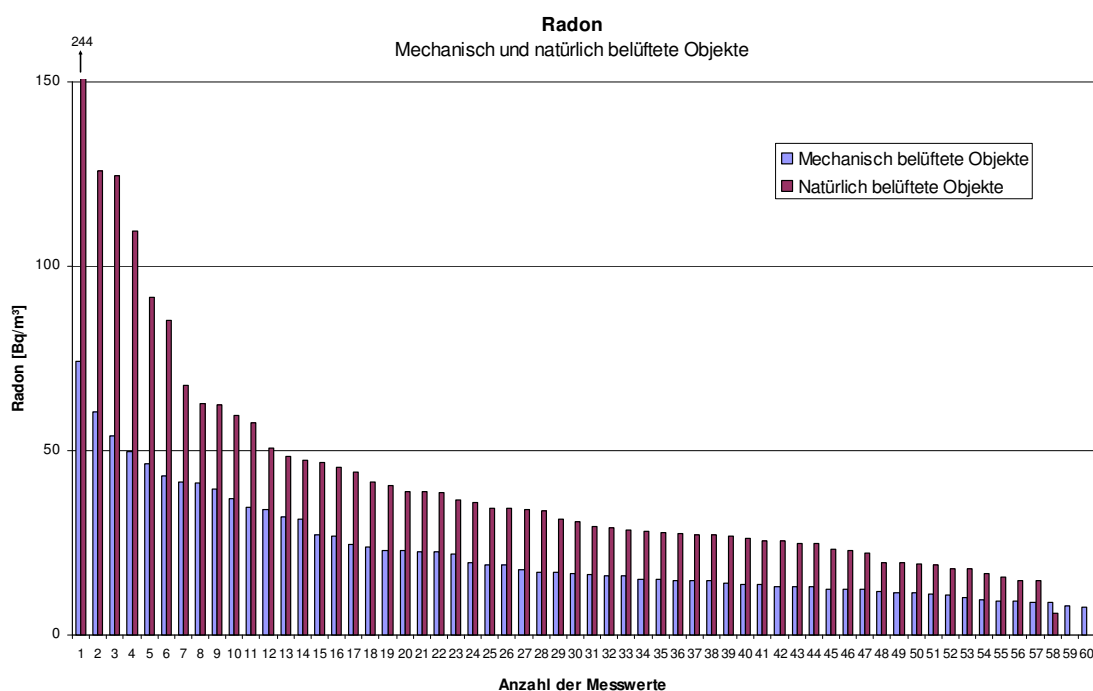


Abb. 3.5.56: Radon-Konzentration in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, arithmetischer Mittelwert der Konzentrationen im jeweiligen Objekt

### 3.5.8 Schall

Da sich Dauergeräusche dadurch auszeichnen, dass  $L_{A,50} \sim L_{A,eq}$  entspricht, wird die Auswertung der Daten anhand der  $L_{A,50}$  Messdaten durchgeführt. Kurze Störsignale (zum Beispiel Autovorbeifahrt) beeinflussen die Messung nicht oder nur unwesentlich. Der  $L_{A,50}$  kann für Dauergeräusche im Weiteren mit dem anlagenbedingten  $L_{A,eq}$  gleich gesetzt werden.

Die überwiegende Anzahl der Messungen konnte nicht ausgewertet werden, da im Regelbetriebszustand der Anlagengeräuschpegel unter dem Hintergrundgeräuschpegel lag und somit das „Signal“ nicht identifiziert und ausgewertet werden konnte.

Die meisten der untersuchten Lüftungsanlagen verfügten über 3 Lüftungsstufen. Im Allgemeinen entspricht Lüftungsstufe 2 dem üblichen Betriebszustand, bei dem die hygienischen Anforderungen gemäß geplanter Standardbelegung sichergestellt werden können (Regelbetriebszustand). Lüftungsstufe 1 stellt einen minimierten Betriebszustand dar. Meist liegt die in diesem Betriebszustand eingebrachte Luftmenge bei 50 bis 70 % des Regelbetriebszustandes. Die Lüftungsstufe 3 ist im Allgemeinen als „Party-Stellung“ gedacht (erhöhter Luftwechsel mit 130 bis 150 % der Regelluftmenge).

Aus schalltechnischer Sicht ist daher vor allem der Regelbetriebszustand (im Allgemeinen Stufe 2) zur Beurteilung der akustischen Qualität maßgeblich.

Beim ersten Messtermin lag der Anlagengeräuschpegel<sup>5</sup>  $L_{A,eq,nT}$  bei Regelbetriebszustand in den Schlafräumen der auswertbaren Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei keinem der Objekte über den laut OIB RL-5 geforderten schalltechnischen Anforderungen an haustechnische Anlagen ( $L_{Aeq,nT} \leq 25$  dB). Auch die Qualitätsstandards von komfortlüftung.at mit  $L_{Aeq,nT} \leq 23$  dB können von allen auswertbaren Anlagen im Regelbetriebszustand eingehalten werden.

Bei maximaler Lüftungsstufe lagen 21 % der für die Beurteilung herangezogenen Objekte ( $n=14$ ) über dem Wert von  $L_{Aeq,nT} = 25$  dB (Abb. 3.5.59).

---

<sup>5</sup> Die Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels erfolgt unter der Annahme eines durch die Lüftungsanlage verursachten Dauergeräusches. Es kann daher über den  $L_{A,50}$  auf den  $L_{A,eq}$  geschlossen werden. Kurze Störsignale sind in dieser Auswertemethodik nicht relevant.

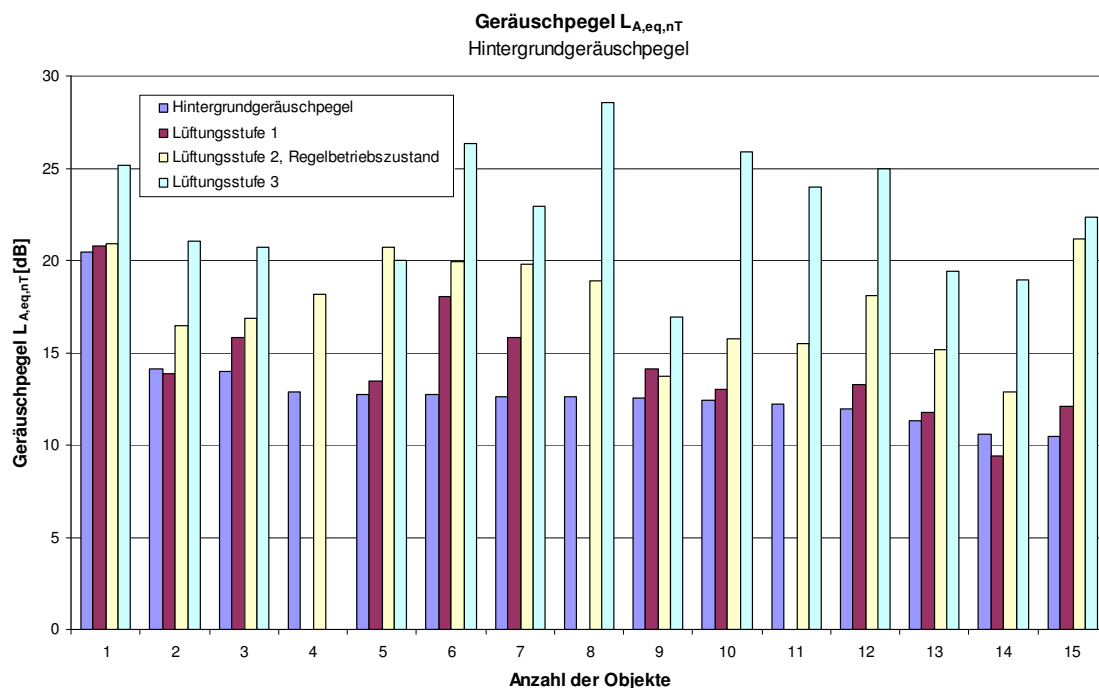


Abb. 3.5.57: Hintergrundgeräuschpegel und äquivalenter Anlagengeräuschpegel in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1). Es ist ersichtlich, dass für den Regelbetriebszustand (gelber Balken) alle Lüftungsanlagen sowohl die baugesetzlichen Anforderung als auch die Qualitätsstandards von komfortlüftung.at eingehalten werden

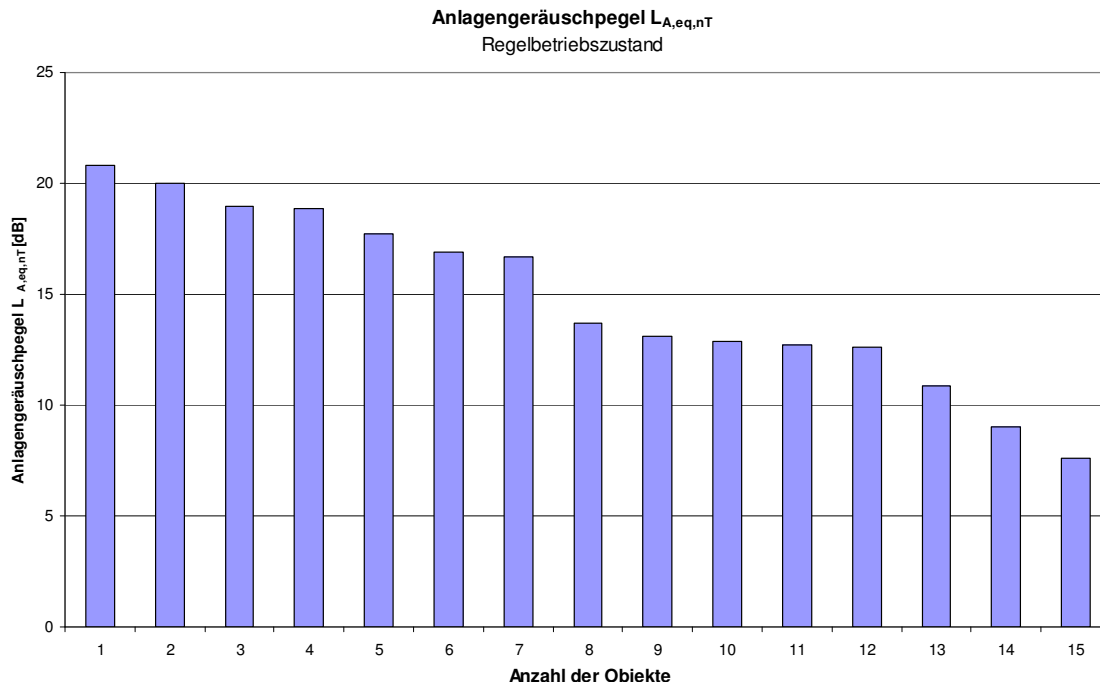


Abb. 3.5.58: Differenz des äquivalenten Anlagengeräuschpegels zwischen ausgeschalteter Anlage und Regelbetriebszustand (Stufe 2) in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1). Es ist ersichtlich, dass für den Regelbetriebszustand alle Lüftungsanlagen sowohl die baugesetzlichen Anforderung als auch die Qualitätsstandards von komfortlüftung.at eingehalten werden

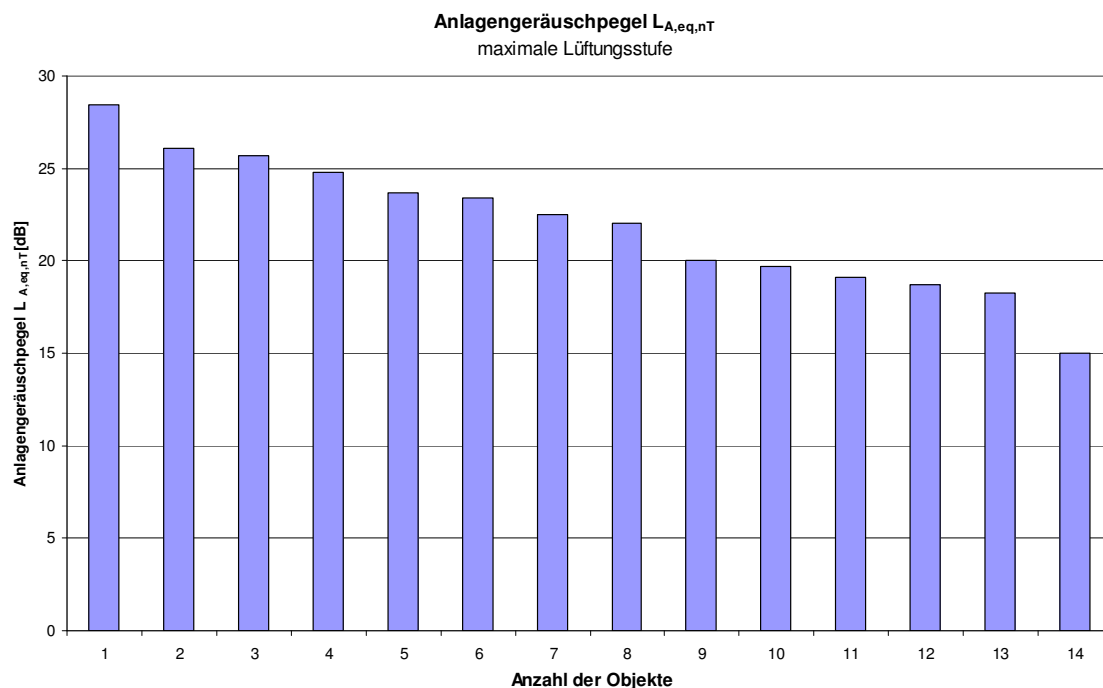


Abb. 3.5.59: Differenz des äquivalenten Anlagengeräuschpegels zwischen ausgeschalteter Anlage und maximaler Lüftungsstufe (Stufe 3) in den Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Ersttermin (M1)

### 3.5.9 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Temperatur wurde beim Ersttermin in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen, die Luftfeuchtigkeit in 62 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 60 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Beim Folgetermin wurde die Temperatur in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 58 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen, die Luftfeuchtigkeit in 61 Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage und in 59 Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.

Der Median der relativen Luftfeuchtigkeit bei den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lag beim Ersttermin bei 40 % und damit deutlich unterhalb der in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessenen Luftfeuchtigkeit mit 50 %. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage war es zum Zeitpunkt der Messungen geringfügig wärmer als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.

Im Verlauf eines Jahres zwischen den beiden Messterminen kam es zu keinen deutlichen Veränderungen der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur innerhalb beider Gruppen.

Tab. 3.5.60: Ergebnisse der Luftfeuchte-Messungen (gemessen über den Zeitraum einer Woche im Schlafrum) (M1, M2)

| Mittlere relative Luftfeuchte im Beobachtungszeitraum | Einheit | Objekte mit Wohnraum-lüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung |             |
|-------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|
|                                                       |         | Ersttermin                          | Folgetermin | Ersttermin                                  | Folgetermin |
| Anzahl Objekte                                        | -       | 62                                  | 61          | 60                                          | 59          |
| Arithm. Mittelwert                                    | [%]     | 41                                  | 41          | 50                                          | 48          |
| Median                                                | [%]     | 40                                  | 41          | 50                                          | 48          |
| Maximum                                               | [%]     | 82                                  | 72          | 75                                          | 62          |
| Minimum                                               | [%]     | 17                                  | 16          | 12                                          | 13          |
| 95 Perzentil                                          | [%]     | 52                                  | 53          | 60                                          | 60          |

Tab. 3.5.61: Ergebnisse der Temperatur-Messungen (gemessen über den Zeitraum einer Woche im Schlafrum) (M1, M2)

| Mittlere Temperatur im Beobachtungszeitraum | Einheit | Objekte mit Wohnraum-lüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung |             |
|---------------------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|
|                                             |         | Ersttermin                          | Folgetermin | Ersttermin                                  | Folgetermin |
| Anzahl Objekte                              | -       | 62                                  | 61          | 59                                          | 58          |
| Arithm. Mittelwert                          | [°C]    | 22                                  | 22          | 22                                          | 21          |
| Median                                      | [°C]    | 22                                  | 22          | 21                                          | 21          |
| Maximum                                     | [°C]    | 33                                  | 32          | 29                                          | 30          |
| Minimum                                     | [°C]    | 7                                   | 13          | 10                                          | 10          |
| 95 Perzentil                                | [°C]    | 24                                  | 25          | 23                                          | 24          |

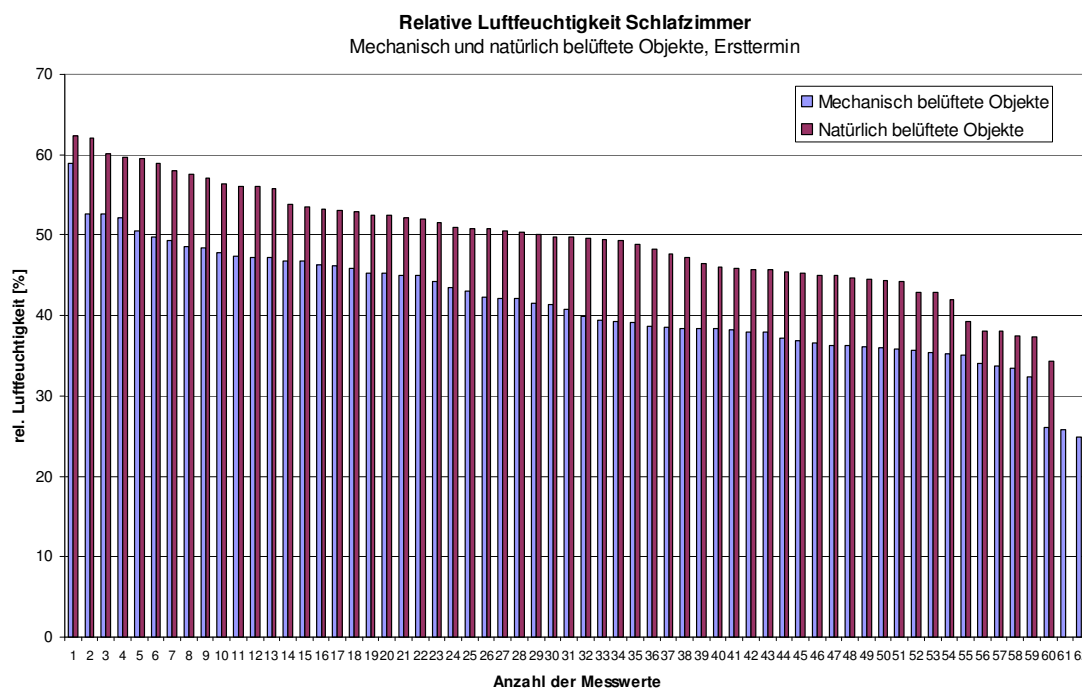


Abb. 3.5.62: Relative Luftfeuchtigkeit im Schlafrum der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, arithmetischer Mittelwert über den Zeitraum einer Woche, Ersttermin (M1)

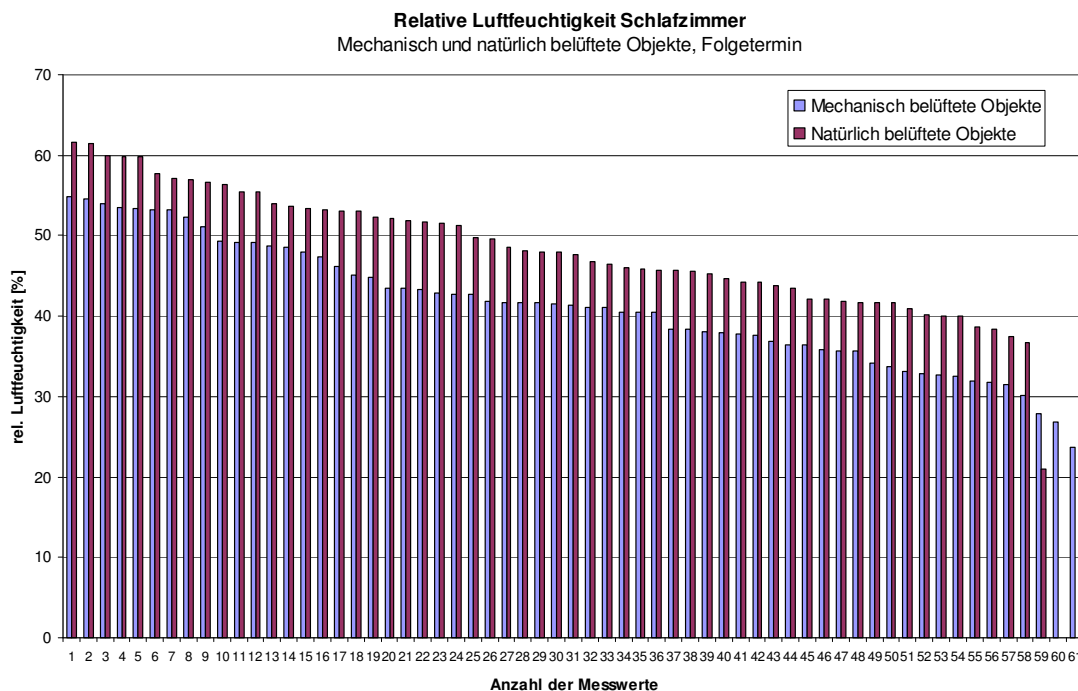


Abb. 3.5.63: Relative Luftfeuchtigkeit im Schlafraum der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage sowie der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung, arithmetischer Mittelwert über den Zeitraum einer Woche, Folgetermin (M2)

## 3.6 Verknüpfung von Fragebogendaten und Messergebnissen

Im Rahmen der Studie wurde geprüft, ob sich zwischen den gemessenen Parametern der Innenraumluftqualität und den Untersuchungsergebnissen aus den medizinischen Fragebögen zu gesundheitlichen Symptomen, Wohlbefinden und Lebensqualität Zusammenhänge finden. Die Ergebnisse dieser Analysen werden nachfolgend dargestellt.

### 3.6.1 Methoden

Die Liste der Symptome/Beschwerden (siehe Kap. 3.3.4 bzw. Tab. 3.3.6) wurde in zwei Faktoren unterteilt, die insgesamt 57,3 % der Varianz erklären. Die erklärte Varianz betrifft die Unterschiede zwischen den Personen in der jeweiligen Variablen, wobei in diesem Fall 57,3 % der Unterschiede bei 10 Variablen auf die zwei folgenden Faktoren zurückgeführt werden können.

Ein Faktor umfasst die Items „Nervosität“, „Unruhe“, „Konzentrationsschwierigkeiten“, „Stimmungsschwankungen“, „Abgeschlagenheit“, „Leistungseinschränkungen“ und „Müdigkeit“, also sogenannte *psychasthenische Symptome*. Der zweite Faktor umfasst die Items „Schwindel“, „Übelkeit“ und „Kopfschmerz“, also *vegetative Symptome*.

Ebenso wurde der Eindruck der Innenraumluft in zwei Faktoren erfasst, die zusammen 51,7 % der Varianz erklären. Der erste Faktor umfasst die *negativen* Lufteindrücke „schal“, „muffig“, „abgestanden“ und „übelriechend“. Der zweite Faktor umfasst die *positiven* Merkmale „sauber“, „frisch“, „angenehm“ und „duftend“. Das Item „rauchig“ ist unabhängig von diesen Faktoren und konstituiert einen unabhängigen Lufteindruck.

Diese vier Faktoren sowie die acht Faktoren des standardisierten Fragebogens SF36, Allergien sowie respiratorische Gesundheit wurden einem Screening-Verfahren unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass die Probanden einen so hohen Gesundheitszustand aufwiesen, dass die Varianz der Gesundheitsfaktoren nicht ausreichend war, um irgendeinen Unterschied zwischen den Messzeitpunkten und zwischen den Untersuchungsgruppen nachweisen zu können.

Die einzigen Abschnitte der Erhebung, die ausreichende Variabilität aufweisen, waren die Fragen zu Wohlbefinden sowie die Fragen bezüglich der Wahrnehmung der Luftqualität.

Im Anschluss an die Analyse der Variabilität der Gesundheitsvariablen wurden die vier angegebenen Faktoren einer Kovarianzanalyse unterzogen (Test- gegen Kontrollgruppe und Messzeitpunkte 1 und 2). Als Kovariablen gingen Alter und Geschlecht in die Analyse ein. Als für die Analyse besonders relevante Kovariablen wurden die Konzentrationen der Luftschadstoffe (logarithmisch transformiert) in die Untersuchung einbezogen.

### 3.6.2 Ergebnisse

Es ergab sich eine schwache, aber statistisch signifikante Korrelation zwischen der Häufigkeit vegetativer Symptome bei den Erwachsenen und der Konzentration von Aldehyden, insbesondere Formaldehyd (Abb. 3.6.1). Dieser Zusammenhang war unabhängig von dem Gebäudetyp (der Untersuchungsgruppe) bzw. von der Art der Lüftung, obwohl die Testgruppe signifikant niedrigere Konzentrationen aufwies.

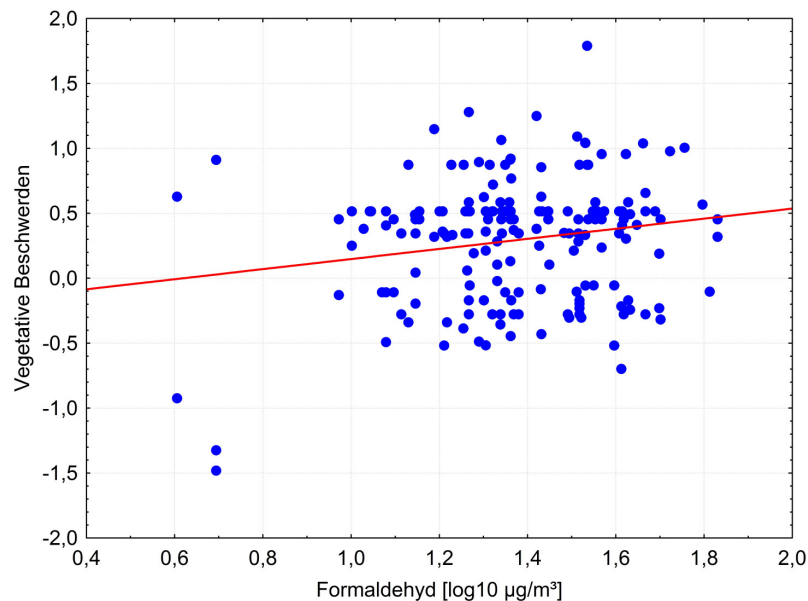


Abb. 3.6.1: Zusammenhang zwischen der Formaldehydkonzentration im Innenraum und dem Faktorwert vegetativer Beschwerden (standardisierter Score) beim zweiten Messzeitpunkt (M2)

Es konnte auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub>-Konzentration (und hier besonders dem maximalen Stundenmittel) und dem Eindruck verbrauchter Luft gezeigt werden (Abb. 3.6.2). Auch dieser Zusammenhang war unabhängig von der Untersuchungsgruppe.

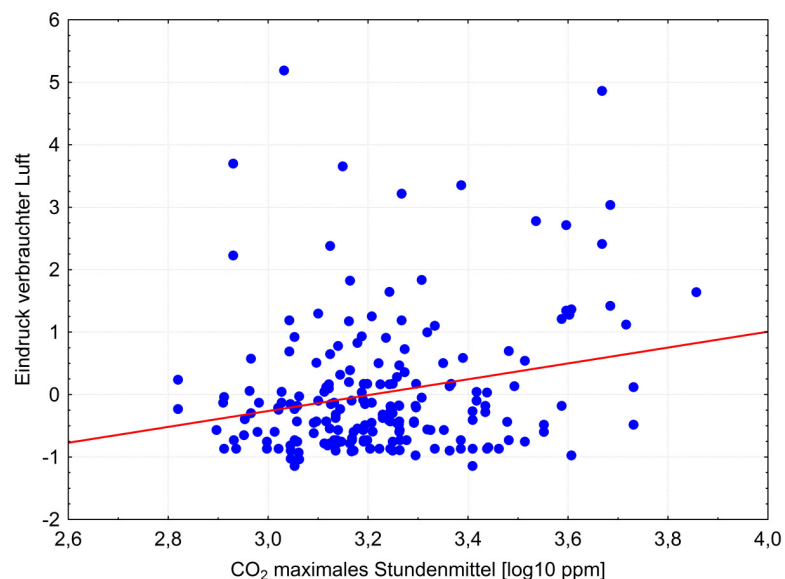


Abb. 3.6.2: Zusammenhang zwischen dem maximalen Stundenmittelwert CO<sub>2</sub> im Innenraum und dem Eindruck verbrauchter Luft (standardisierter Score) beim zweiten Messzeitpunkt (M2)

## 4 Diskussion

### 4.1 Medizinische bzw. gesundheitliche Fragestellungen

- Bewohner und Bewohnerinnen von Gebäuden mit einer Wohnraumlüftungsanlage schätzten ihren eigenen Gesundheitszustand sowie den ihrer Kinder signifikant besser ein als die Kontrollgruppe in Gebäuden mit ausschließlicher Fensterlüftung
- Bei den Kindern in der Kontrollgruppe verbesserte sich der Gesundheitszustand zwischen Erst- und Folgetermin signifikant; bei jenen in der Testgruppe nahm er – auf hohem Niveau – geringfügig ab (weniger Einschätzungen als „ausgezeichnet“, mehr als „sehr gut“)
- Die Gesundheit der befragten Erwachsenen hat sich (nach eigenen Angaben) ein Jahr nach Einzug in Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage signifikant stärker verbessert als nach Einzug in ein Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung
- Erwachsene in der Testgruppe litten signifikant ( $p < 0,05$ ) häufiger (19,4 %) unter trockenen Augen als Erwachsene der Kontrollgruppe (12,5 %).

Keine signifikanten Unterschiede nach Gebäudetyp und zwischen den Messzeitpunkten bestanden hinsichtlich:

- Vorkommen und Anzahl von Befindlichkeitsstörungen bzw. gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Erkältungen, Trockenheit der Atemwege, Brennen in Nase oder Rachen, Husten, Müdigkeit, Abgeschlagenheit, Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Konzentrationsschwierigkeiten, Unruhe, Nervosität, Stimmungsschwankungen, Leistungseinschränkungen
- Einschränkungen der Aktivitäten des täglichen Lebens und im Berufsleben durch den physischen und psychischen Gesundheitszustand
- Stimmungslage (positiv und negativ)

### 4.2 Wohnzufriedenheit

- Die Wohnungs- und Wohnumfeldzufriedenheit war sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe relativ hoch: 84,3 % der Test- und 76,2 % der Kontrollgruppe waren zum Befragungszeitpunkt mit ihrer Wohnung, 69,1 % respektive 68,8 % mit ihrem Wohnumfeld sehr zufrieden
- Es bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Wohnzufriedenheit zwischen Test- und Kontrollgruppe
- Hinsichtlich bestimmter Eigenschaften der subjektiv empfundenen Luftqualität bestanden hochsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, wobei die Luftqualität von der Testgruppe signifikant positiver eingeschätzt wurde
- Hinsichtlich des Raumklimas wurden Raumtemperatur und Luftbewegung von der Testgruppe signifikant angenehmer eingeschätzt

- Demgegenüber wurde die Luftfeuchtigkeit von Befragten in der Kontrollgruppe signifikant besser bewertet; die Zufriedenheit sank in der Testgruppe insbesondere zwischen den Messzeitpunkten (Umzug – 1 Jahr später), wenn die Luft trockener empfunden wurde, dies allerdings nicht statistisch signifikant
- Hinsichtlich der Geruchs- und Lärmsituation bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Mehr als die Hälfte der Befragten beider Gruppen fühlten sich durch diese Umweltfaktoren nicht belastigt

### 4.3 Messergebnisse und analytische Fragestellungen

#### 4.3.1 Flüchtige Organische Verbindungen (VOC)

Die Untersuchungen zeigen, dass die gemessenen VOC-Konzentrationen zum Teil in einem auffälligen Bereich lagen. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden im Mittel in den untersuchten Räumen Schlafzimmer und Wohnzimmer bei beiden Messterminen signifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Es ist davon auszugehen, dass dieser Unterschied auf die verstärkte kontinuierliche Luftzufuhr in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage zurückzuführen ist.

In zahlreichen Objekten kam es zu Überschreitungen des VOC-Richtwerts von  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wenn VOC-Summenkonzentrationen in diesem Konzentrationsbereich länger persistieren, sind diese als eine über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung der Raumluft anzusehen. Laut Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2011) werden Werte über  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als „deutlich erhöht“ bezeichnet. Im Schema der deutschen Ad-Hoc Arbeitsgruppe werden derartige Konzentrationen als „hygienisch auffällig“ bezeichnet, eine Nutzung der Räume ist laut diesem Schema nur befristet über weniger als 12 Monate akzeptabel, so keine weiteren Richtwertüberschreitungen gegeben sind.

Beim Ersttermin lag der Anteil der Räume mit hygienisch auffälligen, erhöhten VOC-Werten über  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei 19 %, in den Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung bei 28 % (Abb. 4.3.3). Nach 15 Monaten Bezug lagen die Werte in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage bis auf eine Ausnahme in einem akzeptablen Bereich unterhalb von  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung lagen immer noch 11 % der Räume oberhalb dem hygienischen Richtwert von  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für den Parameter Gesamt VOC (Abb. 4.3.4).

Werte über  $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  werden laut Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft als „stark erhöht“ bezeichnet. Im Schema der deutschen Ad-Hoc Arbeitsgruppe werden derartige

Konzentrationen als „hygienisch bedenklich“ bezeichnet, eine Nutzung der Räume ist laut diesem Schema nur über einen kurzen Zeitraum von weniger als einem Monat befristet akzeptabel, so keine weiteren Richtwertüberschreitungen gegeben sind.

Beim Ersttermin lag der Anteil der Räume mit hygienisch bedenklichen, stark erhöhten VOC-Werten über 3.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bei 3 %, in den Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung bei 9 % (Abb. 4.3.3). Beim Folgetermin lag in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage kein Messwert über 3.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung 3 % der Messwerte (Abb. 4.3.4).

Zu VOC-Konzentrationen in Innenräumen existieren zahlreiche Felduntersuchungen (UBA 2010, Lux et al. 2001, Schleibinger et al. 2001). Die Ergebnisse der Studien sind auf Grund unterschiedlicher Messmethoden und Auswahl der Messobjekte nicht immer direkt vergleichbar, die Ergebnisse geben jedoch Hinweise auf die bei gegenständlicher Studie ermittelten Ergebnisse.

Im Rahmen des Kinder-Umwelt-Surveys aus den Jahren 2003 bis 2006 (UBA 2010) wurden in 555 Kinderzimmern TVOC-Werte mit einem Median von 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$ , einem arithmetischen Mittelwert von 0,38  $\text{mg}/\text{m}^3$  und einem 95-Perzentilwert von 1,1  $\text{mg}/\text{m}^3$  ermittelt. In 54,8 % ( $n = 304$ ) der Haushalte wurde die Innenraumluftqualität als hygienisch unbedenklich eingestuft, d. h. die TVOC-Konzentrationen in der Innenraumluft lagen nicht über 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$  (etwa 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und kein Richtwert der untersuchten Einzelsubstanzen und Subgruppen wurde überschritten. In 4,7 % ( $n = 26$ ) aller untersuchten Räume wurde der deutsche Richtwert I bei mindestens einem Einzelstoff (Toluol, Styrol, Naphthalin) oder einer Stoffgruppe ( $\text{C}_9$ - $\text{C}_{14}$ -Kohlenwasserstoffe; bicyclische Terpene) überschritten. In weiteren 37,1 % ( $n = 206$ ) der Haushalte lagen die TVOC-Konzentrationen im Bereich zwischen 0,3 und 1  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dieser Konzentrationsbereich wird als hygienisch noch unbedenklich eingestuft und zeigt aber zugleich die Notwendigkeit für verstärktes Lüften an. TVOC-Konzentrationen zwischen 1 und 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  wurden in 3,4 % ( $n = 19$ ) der Haushalte gemessen. Diese Konzentrationen wurden als hygienisch auffällig bewertet, d. h. in Räumen, die für einen regelmäßigen und längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind – wie eben Kinderzimmer – sollte auf Dauer ein TVOC-Wert diesen Bereich nicht überschreiten. TVOC-Konzentrationen über 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  wurden bei dieser Studie in keinem Haushalt ermittelt.

Hutter et al. (2002) fanden in 160 zufällig ausgewählten Schlafräumen von Wohnungen in Wien mittels aktiver Probenahme Gesamt-VOC-Konzentrationen von 11 bis 6.045  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit einem Median von 155  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 82 % der untersuchten Objekte ( $n = 131$ ) lagen unter 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3 % ( $n = 5$ ) überschritten den Wert von 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die AGÖF-Orientierungswerte (AGÖF 2013) für TVOC liegen bei  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Median) bzw. bei  $1.570 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (90-Perzentil). Die Grundlagen dieser Werte sind in einem durch das deutsche Umweltbundesamt finanzierten Forschungsprojekt zu finden, bei dem statistische Daten aus 4846 Datensätzen eingingen, die von AGÖF-Instituten im Rahmen ihrer Untersuchungstätigkeiten 2006 bis 2012 erhoben wurden.

Eine Untersuchung von Coutalides et al. (2014) zeigte deutliche Unterschiede zwischen qualitätsgesicherten und nicht qualitätsgesicherten Gebäuden in Hinblick auf VOC-Summenkonzentrationen von Objekten, die etwa 30 bis 100 Tage nach Baufertigstellung, allerdings vor Bezug und Einbau der Möbel überprüft wurden. In Objekten mit Baubegleitung lag der Median der in Folge von Aufträgen durchgeführten Untersuchungen für TVOC bei  $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , bei Objekten ohne Baubegleitung bei etwa  $1.100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nicht publizierte Ergebnisse der von der Firma IBO-Innenraumanalytik OG in den letzten Jahren durchgeführten Messungen für die unterschiedlichen Gebäudelabel in Österreich (ÖGNB, ÖGNI, ecoplus etc., ebenfalls etwa 30 bis 100 Tage nach Baufertigstellung vor der Möblierung) ergaben, dass mehr als 90% der Messwerte in den qualitätsgesicherten Gebäuden unter  $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$  lagen (Tappler 2014).

Die Gesamt VOC-Werte in den untersuchten Objekten lagen beim Folgetermin hinsichtlich ihrer Größenordnung im Bereich der vor etwa 10 Jahren durchgeführten Studie von Hutter et al. (2002) bzw. im Bereich der AGÖF-Orientierungswerte. Die Ergebnisse vorliegender Studie zeigen im Detail, dass vor allem am Beginn der Nutzung der Objekte in größerem Ausmaß VOC-Emissionen von Baustoffen und Materialien der Innenausstattung stattfanden, die zu den erhöhten Werten in der Raumluft führten. In zahlreichen Objekten beider Gruppen wurden hygienische Richtwerte auch einige Monate nach Bezug der Objekte überschritten. Die durchschnittlichen Emissionen waren zwar in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage signifikant geringer, aber dennoch bei 19 % der Objekte erhöht. Dies zeigt, dass die mechanische Lüftungsanlage zwar die Raumluft gegenüber Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung deutlich verbesserte, aber als alleinige Maßnahme für eine hinreichende Expositionsvermeidung als nicht ausreichend anzusehen war.

In Bezug auf Richtwertüberschreitungen ist bei beiden Gebäudetypen eine Abnahme über die Zeit zu beobachten (Tab. 4.3.1), Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlagen weisen im Durchschnitt deutlich weniger Richtwertüberschreitungen gegenüber nicht mechanisch belüfteten Objekten auf.

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Lüftungsart (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen hochsignifikanten Einfluss auf die VOC-Konzentration in der Raumluft hatte und dass in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei beiden Messterminen häufiger Richtwertüberschreitungen vorkamen. Weiters ist abzuleiten, dass ein hohes Reduktionspotenzial für VOC durch Einsatz weniger**

**emittierender Materialien besteht. Eine mechanische Lüftung als alleinige Maßnahme ist allerdings als nicht ausreichend für eine hinreichende Expositionsvermeidung anzusehen.**

Tab. 4.3.1: Anzahl der Richtwertüberschreitungen (bzw. Überschreitung von Auffälligkeitswerten) ausgewählter VOC bzw. Gruppen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

|                                                    |      |         |        | Anzahl der Überschreitungen        |             |                                             |             |
|----------------------------------------------------|------|---------|--------|------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|
|                                                    |      |         |        | Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung |             |
|                                                    |      |         |        | Ersttermin                         | Folgetermin | Ersttermin                                  | Folgetermin |
| Substanz                                           |      | Einheit |        | n=122                              | n=122       | n=122                                       | n=118       |
| Summe Aliphaten                                    | RWI  | [µg/m³] | 200    | 0                                  | 0           | 2                                           | 0           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 2.000  | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Summe C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> -Alkylbenzole | RWI  | [µg/m³] | 300    | 3                                  | 0           | 3                                           | 2           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 3.000  | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Summe monocyclische Terpene (Leitsubstanz Limonen) | RWI  | [µg/m³] | 1.000  | 0                                  | 0           | 2                                           | 0           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 10.000 | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Summe bicyclische Terpene (Leitsubstanz α-Pinen)   | RWI  | [µg/m³] | 200    | 21                                 | 6           | 29                                          | 8           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 2.000  | 2                                  | 0           | 2                                           | 0           |
| Toluol                                             | WIR  | [µg/m³] | 75     | 8                                  | 0           | 2                                           | 3           |
| Ethylbenzol                                        | RWI  | [µg/m³] | 200    | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 2.000  | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Cyclohexan                                         | RWI  | [µg/m³] | 400    | 3                                  | 0           | 0                                           | 2           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 4.000  | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Texanoldiisobutytrat (TXIB)                        | RWI  | [µg/m³] | 10     | 0                                  | 2           | 1                                           | 1           |
|                                                    | RWII | [µg/m³] | 1.000  | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| <b>Summe</b>                                       |      |         |        | <b>37</b>                          | <b>8</b>    | <b>41</b>                                   | <b>16</b>   |

Tab. 4.3.2: Anzahl der Überschreitung von Auffälligkeitswerten ausgewählter VOC bzw. Gruppen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

|                              |       |         |     | Anzahl der Überschreitungen        |             |                                             |             |
|------------------------------|-------|---------|-----|------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|
|                              |       |         |     | Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage |             | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung |             |
|                              |       |         |     | Ersttermin                         | Folgetermin | Ersttermin                                  | Folgetermin |
| Substanz                     |       | Einheit |     | n=122                              | n=122       | n=122                                       | n=118       |
| Tetrachlorethen <sup>a</sup> | (WIR) | [µg/m³] | 250 | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Styrol <sup>b</sup>          | (WIR) | [µg/m³] | 10  | 5                                  | 0           | 48                                          | 8           |
| Xylol <sup>c</sup>           | WIK   | [µg/m³] | 350 | 0                                  | 0           | 0                                           | 0           |
| Benzol <sup>d</sup>          | (WIK) | [µg/m³] | 10  | 2                                  | 0           | 5                                           | 3           |
| <b>Summe</b>                 |       |         |     | <b>7</b>                           | <b>0</b>    | <b>53</b>                                   | <b>11</b>   |

- <sup>a</sup> berechnet unter Verwendung des Auffälligkeitswertes von 250 µg/m³ bei der Kurzzeitmessung (der WIR ist als Wochenmittelwert definiert)
- <sup>b</sup> berechnet unter Verwendung des Auffälligkeitswertes von 10 µg/m³ bei der Kurzzeitmessung (der WIR ist als Tagesmittelwert definiert)
- <sup>c</sup> berechnet unter Verwendung des Auffälligkeitswertes von 350 µg/m³ bei der Kurzzeitmessung (der WIK ist als Tagesmittelwert definiert)
- <sup>d</sup> berechnet unter Verwendung des Auffälligkeitswertes von 10 µg/m³ bei der Kurzzeitmessung (der WIK ist als Jahresmittelwert definiert)

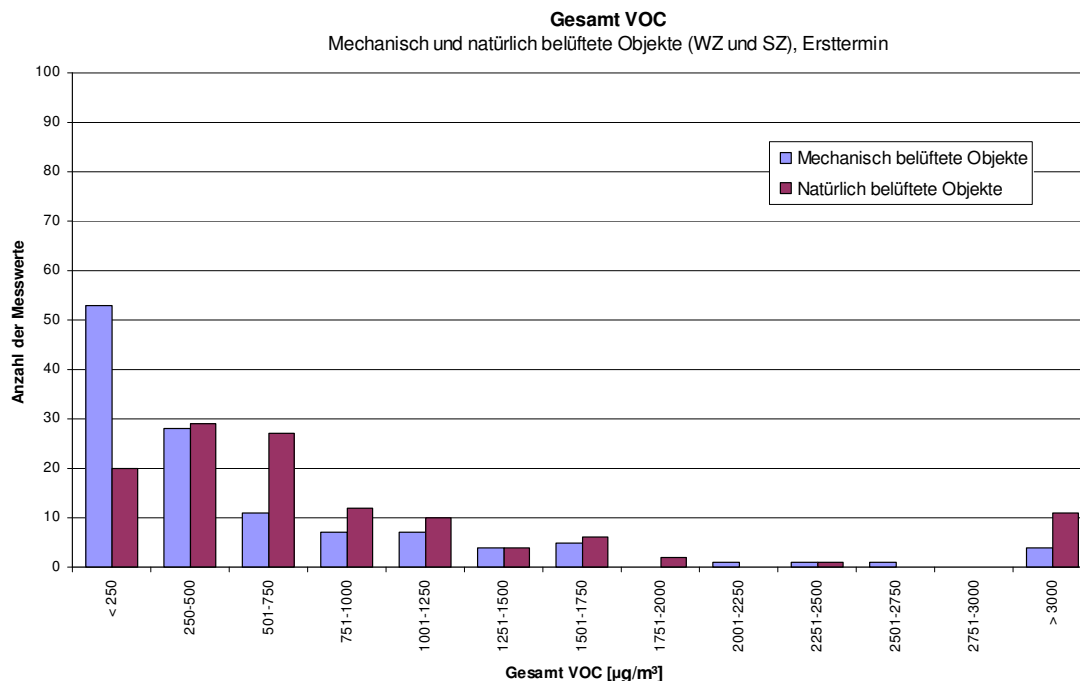


Abb. 4.3.3: Anzahl der Gesamt VOC- Messwerte in Konzentrationsklassen zu je 250 µg/m³, Wohn- und Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) und Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=122) Objekte, Ersttermin (M1)

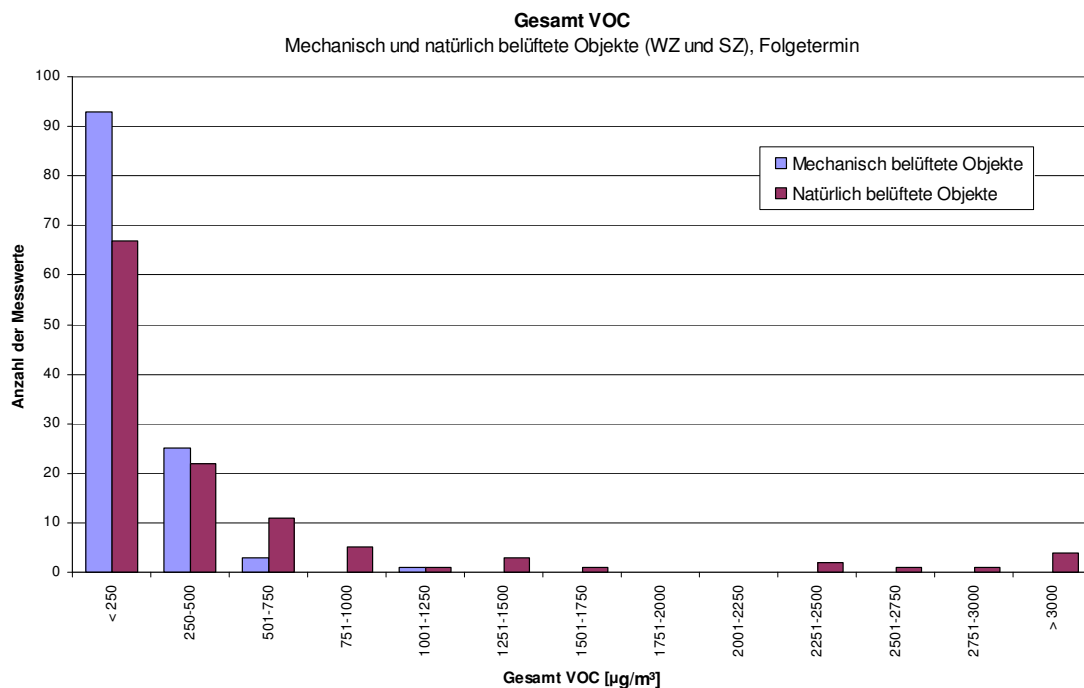


Abb. 4.3.4: Anzahl der Gesamt VOC- Messwerte in Konzentrationsklassen zu je 250 µg/m<sup>3</sup>, Wohn- und Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) und Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=118) Objekte, Folgetermin (M2)

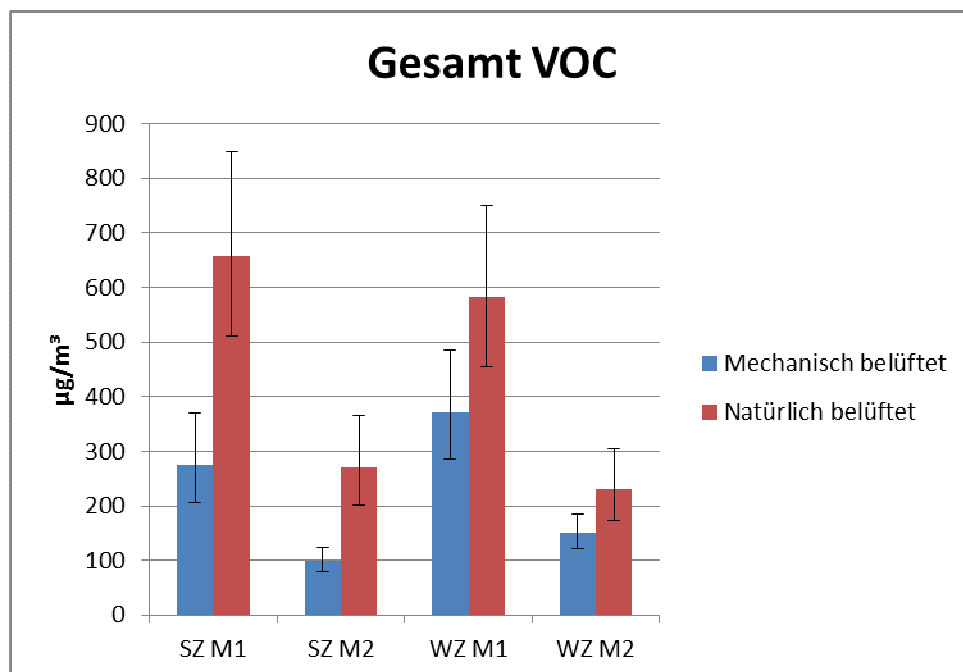


Abb. 4.3.5: Gesamt VOC-Werte in Wohn- (WZ) und Schlafräumen (SZ) in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2), geometrische Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle

### 4.3.2 Aldehyde

Der einfachste Aldehyd, Formaldehyd, gehört laut WHO-Definition zu den VVOC und wird wegen seiner raumlufthygienischen Bedeutung in der Regel gesondert abgehandelt. Weitere sehr flüchtige Aldehyde wie Acetaldehyd spielen in Innenräumen eine untergeordnete Rolle. Höhere Aldehyde nehmen insofern eine Sonderstellung unter den in Innenräumen vorkommenden flüchtigen Verbindungen ein, da für die in der Raumluft nachgewiesenen höheren Aldehyde in der Regel keine primären Quellen existieren, sie entstehen vor allem im Raum selbst als Reaktionsprodukte von in Baustoffen und Materialien der Inneneinrichtung enthaltenen Substanzen. Beispiele dafür sind die Entstehung von höheren Aldehyden aus Alkydharzlacken oder aus Produkten, die Leinöl enthalten wie z.B. ölhältige Imprägnierungen oder Linoleum (Jensen et al. 1993). Der häufigste in Innenräumen gefundene höhere Aldehyd ist Hexanal. Höhere Aldehyde weisen einen relativ niedrigen Geruchsschwellenwert auf.

Die Untersuchungen zeigen, dass die gemessenen Formaldehyd-Konzentrationen mit wenigen Ausnahmen in einem unauffälligen Bereich lagen. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden im Mittel in den untersuchten Schlaf- und Wohnzimmern bei beiden Messterminen hochsignifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Wie bei den VOC ist davon auszugehen, dass dieser Unterschied auf die verstärkte kontinuierliche Luftzuführung in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage zurückzuführen ist.

Der Richtwert von  $0,10 \text{ mg/m}^3$  der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2011) <sup>6</sup> für Formaldehyd wurde beim ersten Messtermin in nur wenigen der untersuchten Räume überschritten. Die Überschreitungen (ab dem analytisch berechneten Wert von  $105 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) waren allerdings bis auf einen Wert nur geringfügig und betrafen zwei Räume im gleichen Objekt bei den Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage sowie einen Raum bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. In einem der Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage lag die Konzentration deutlich oberhalb von  $0,10 \text{ mg/m}^3$ . Beim Folgetermin wurde der Wert von  $0,10 \text{ mg/m}^3$  in allen Objekten unterschritten.

Etwa 15 Monate nach Bezug des Gebäudes (Folgetermin) lagen die Formaldehyd-Konzentrationen in der Mehrzahl der untersuchten Räume unterhalb des Vorsorgewertes von  $60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (99 % der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage bzw. 95 % der Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung). Die Gegenüberstellung der Konzentrationen der beiden Messtermine zeigen (Abb. 4.3.9), dass die Veränderung der Konzentrationen sehr unterschiedlich ausfällt.

---

<sup>6</sup> die WHO gibt den Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  als Richtwert an, dies bedeutet bei Verwendung dieses Wertes als Grenzwert eine Überschreitung ab dem analytisch ermittelten Wert von  $0,145 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

Zu Formaldehydkonzentrationen in Innenräumen existieren wie bei den VOC zahlreiche Felduntersuchungen. Eine größere Zahl älterer Arbeiten berichtet von Formaldehydkonzentrationen bis zu mehreren Milligramm pro  $\text{m}^3$  in nicht gewerblich genutzten Innenräumen (COST 1990). Eine ältere Untersuchung in 100 österreichischen Wohnungen zeigte, dass in 97 % der untersuchten Fälle Formaldehyd-Konzentrationen über 0,05 ppm (0,06  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) und in 79 % der Fälle über 0,1 ppm (0,12  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nachgewiesen wurden (Panzhauser et al. 1987).

Eine Untersuchung in österreichischen Innenräumen aus dem Jahr 1992 ergab, dass in rund 10 % der im Rahmen von Aufträgen untersuchten Räume der Wert von 0,10  $\text{mg}/\text{m}^3$  überschritten wurde (Tappler et al. 1992). Der Median lag bei 0,053 ppm (etwa 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), der Bereich der Werte bewegte sich zwischen 0,012 bis 0,288 ppm (etwa 14 bis 345  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Die höchsten Messwerte fanden sich in Wohnungen, in denen mehr als 8 Jahre vor der Untersuchung großflächig Spanplatten sowohl zum Möbelbau als auch als Wandmaterial verwendet wurden (insofern ist diese Untersuchung als Vergleich nur wenig aussagekräftig). Der absolut höchste, in dieser Untersuchung gemessene Wert von 0,288 ppm wurde in einem Fertigteilhaus aus dem Jahre 1973 gemessen, dessen Wände und Decken zur Gänze aus Spanplatten bestanden.

Von Krause et al. wurden in Deutschland insgesamt 329 nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Wohnungen über deutlich mehr als eine halbe Stunde mittels Passivsammler auf Formaldehyd untersucht (dabei wurden zeitweise niedrigere Konzentrationen infolge von Lüftungsphasen mit erfasst). Der Median lag bei 0,044 ppm (etwa 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), der höchste gemessene Wert bei 0,247 ppm (Krause et al. 1991). Schleibinger et al. (2001) ermittelten in nicht repräsentativen Berliner Innenräumen, deren Nutzer Messungen anforderten, einen Median von 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Hutter et al. (2002) fanden in 160 Schlafräumen von zufällig ausgewählten Wohnungen in Wien mittels aktiver Probenahme Formaldehydkonzentrationen zwischen 0,007 und 0,092 ppm (etwa 8 bzw. 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). 6 Wohnungen hatten Werte über 0,05 ppm (60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), der arithmetische Mittelwert lag bei 0,025 ppm (etwa 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), der Median bei 0,02 ppm (etwa 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Der AGÖF-Orientierungswert (AGÖF 2013) für Formaldehyd liegt bei 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Median) bzw. bei 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (90-Perzentil), der für Acetaldehyd bei 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Median) bzw. bei 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (90-Perzentil). Die Grundlagen dieser Werte finden sich in einem durch das deutsche Umweltbundesamt finanzierten Forschungsprojekt, bei dem statistische Daten aus 4846 Datensätzen eingingen, die von AGÖF-Instituten im Rahmen ihrer Untersuchungstätigkeiten 2006 bis 2012 erhoben wurden.

Die Konzentration an (eigentlich zu den VOC gehörigen) höheren Aldehyden war in beiden Haustypen zum Teil deutlich erhöht, wobei wie bei den übrigen VOC eine

signifikante Abnahme der mittleren Konzentrationen zwischen den Messterminen feststellbar war. Beim Ersttermin überschritten 19 % der Messwerte in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage den Richtwert I von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Summe azyklischer aliphatischer  $\text{C}_4\text{-C}_{11}$ -Aldehyde, bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung 33 % der Messwerte. Beim Folgetermin lagen 2 % der Werte in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage über diesem Wert bzw. 9 % der Werte in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (Abb. 3.5.26 und Abb. 3.5.27). In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden im Mittel in den untersuchten Räumen Schlafzimmer und Wohnzimmer bei beiden Messterminen hochsignifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Auch hier ist davon auszugehen, dass dieser Unterschied auf die verstärkte kontinuierliche Luftzuführung in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage zurückzuführen ist.

Als Hauptquelle der Aldehyde in Innenräumen werden Holz und Holzwerkstoffe (höhere Aldehyde) bzw. deren Verleimung (Formaldehyd) angenommen, wobei sowohl die Konstruktion (sofern Holzwerkstoffe eingesetzt wurden) als auch die Einrichtung als Quelle in Frage kommen – auf Grund des Designs gegenständlicher Studie kann hier keine Unterscheidung getroffen werden. Im Vergleich zu älteren österreichischen und deutschen Studien zeigt sich, dass die mittleren Konzentrationen an Formaldehyd absolut betrachtet deutlich niedriger liegen als vor etwa 20 Jahren. Die Werte in den untersuchten Objekten lagen beim Folgetermin hinsichtlich ihrer Größenordnung im Bereich der vor etwa 10 Jahren durchgeführten Studie von Hutter et al. (2002).

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen signifikanten Einfluss auf die Konzentration an Formaldehyd sowie weiterer höherer Aldehyde in der Raumluft hatte – in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage wurden im Mittel bei beiden Messterminen hochsignifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Weiters kamen in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei beiden Messterminen häufiger Richtwertüberschreitungen vor.**

**Die Ergebnisse zeigten weiters, dass die Maßnahmen des Gesetzgebers sowie die Bemühungen der Holzwerkstoffindustrie in Österreich in Bezug auf Senkung der Formaldehydemission von Materialien ab Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts nachweisbare Erfolge zeitigten.**

Tab. 4.3.6: Anzahl der Richtwertüberschreitungen der Aldehyd-Konzentrationen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2)

| Substanz                                  |                                             | Einheit                      |      | Anzahl der Überschreitungen                |    |                                                     |    |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------|--------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------|----|
|                                           |                                             |                              |      | Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) |    | Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=117) |    |
|                                           |                                             |                              |      | M1                                         | M2 | M1                                                  | M2 |
| Formaldehyd                               | RW (BMLFUW 2011)                            | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 100  | 2                                          | 0  | 1                                                   | 0  |
|                                           | level of no concern (WHO 1983) <sup>a</sup> | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 60   | 4                                          | 1  | 13                                                  | 6  |
| Summe gesättigte                          | RW I (Ad-hoc AG)                            | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 100  | 23                                         | 2  | 40                                                  | 10 |
| C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> -Aldehyde | RW II                                       | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 2000 | 0                                          | 0  | 0                                                   | 0  |

<sup>a</sup> berechnet unter Verwendung des Wertes von 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bei der Kurzzeitmessung (der „level of no concern“ ist als Tagesmittelwert inkl. der Lüftungsphasen definiert)

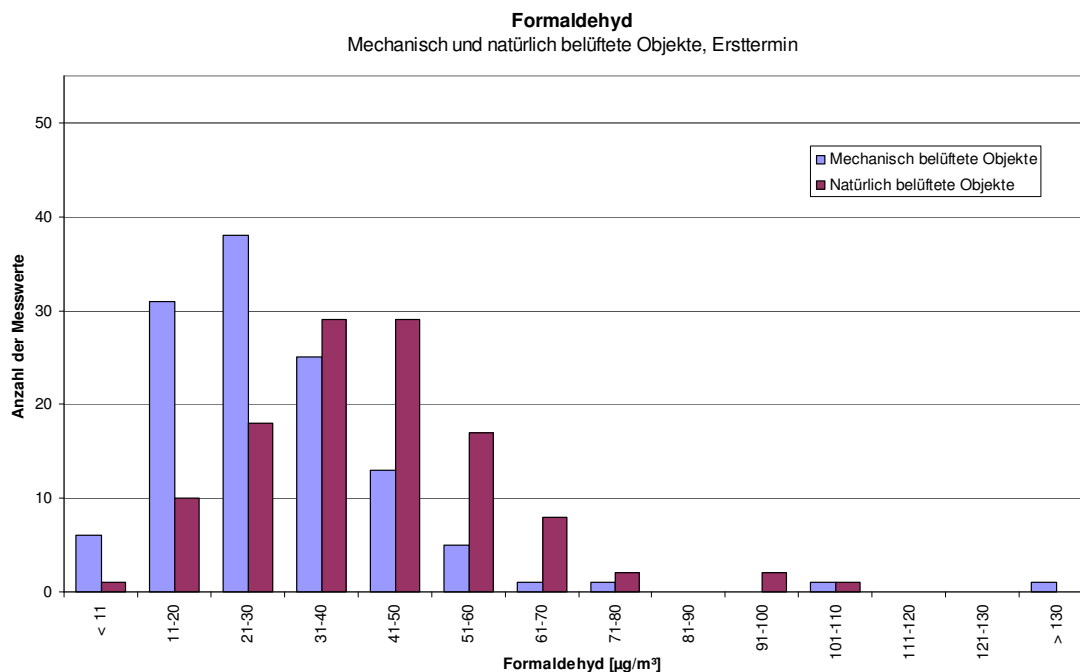


Abb. 4.3.7: Anzahl der Formaldehyd-Messwerte in Konzentrationsklassen zu je 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Wohn- und Schlafräume in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) und in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=117), Ersttermin (M1)

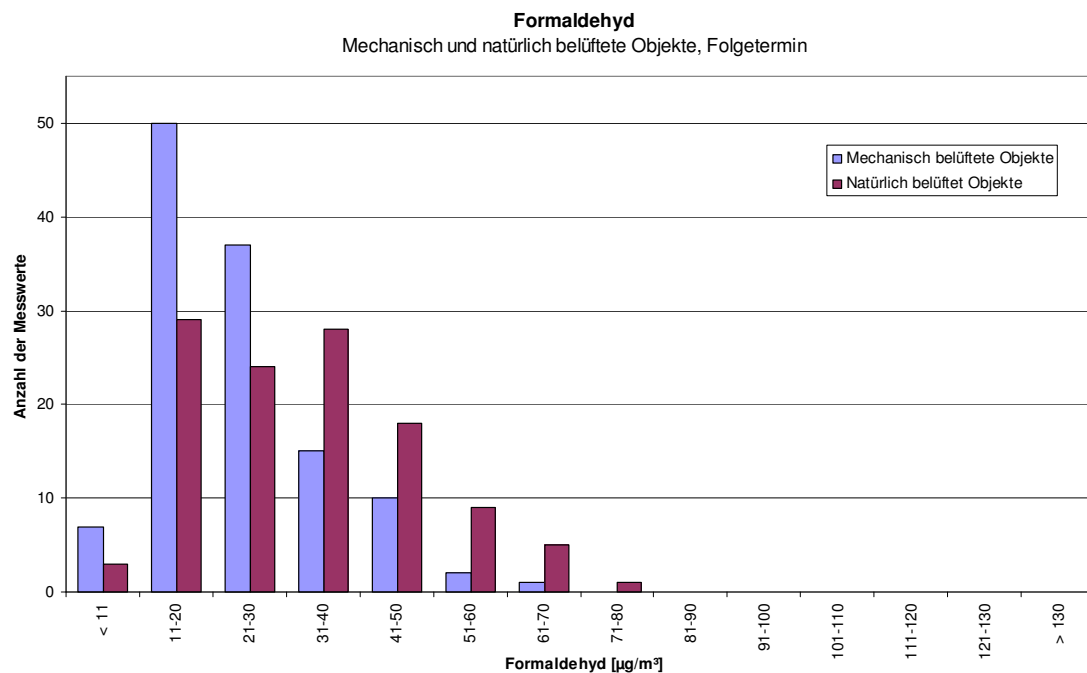


Abb. 4.3.8: Anzahl der Formaldehyd-Messwerte in Konzentrationsklassen zu je 10 µg/m³, Wohn- und Schlafräume in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) und in Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=117), Folgetermin (M2)

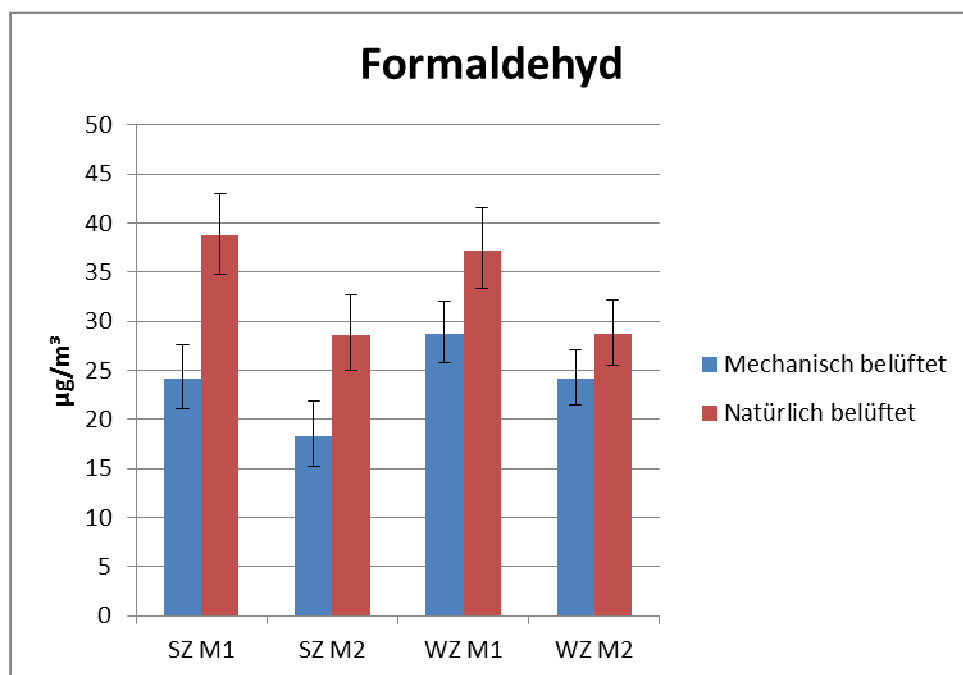


Abb. 4.3.9: Formaldehyd-Werte in Wohn- (WZ) und Schlafräumen (SZ) von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und Folgetermin (M1, M2), geometrische Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle

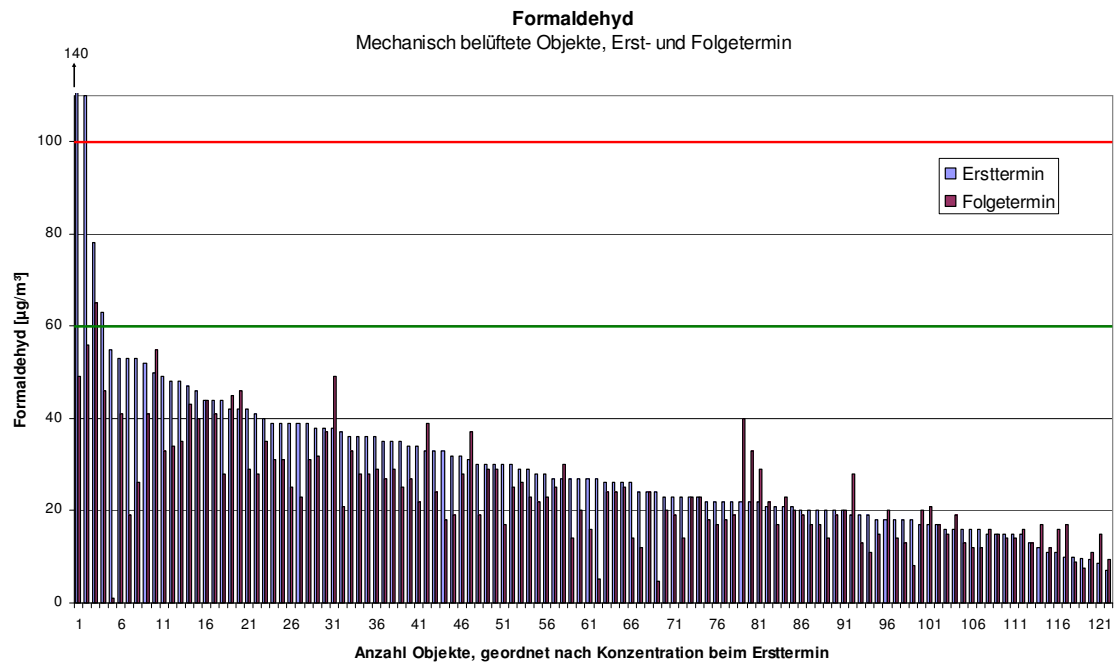


Abb. 4.3.10: Formaldehyd-Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage, Erst- und jeweils zugeordneter Folgetermin (M1, M2), Veränderung der Konzentrationen, geordnet nach Konzentrationen bei Ersttermin

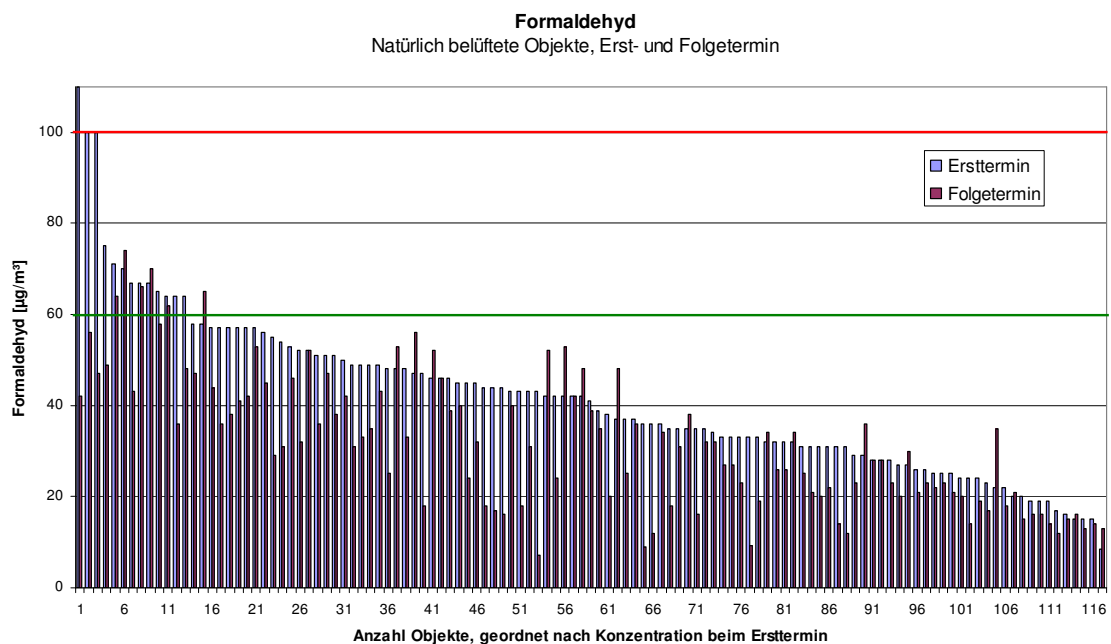


Abb. 4.3.11: Formaldehyd- Konzentrationen in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, Erst- und jeweils zugeordneter Folgetermin, Veränderung der Konzentrationen, geordnet nach Konzentrationen bei Ersttermin

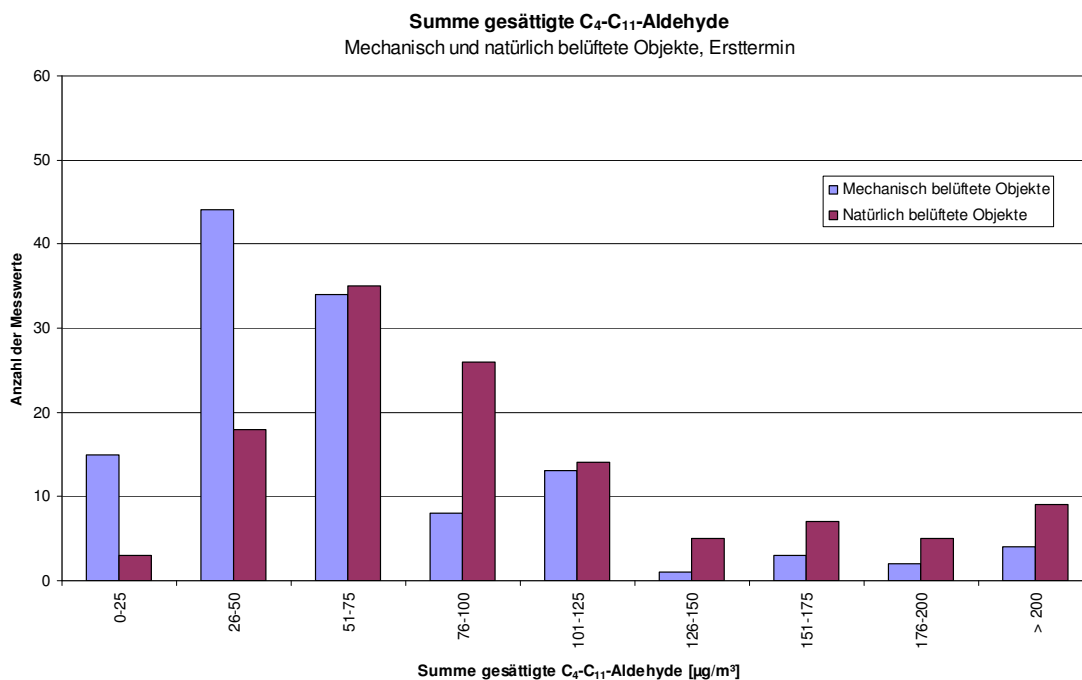


Abb. 4.3.12: Anzahl der Messwerte der Summe der gesättigten azyklischen aliphatischen C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Konzentrationsklassen zu je 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Wohn- und Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=124) und Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=122), Ersttermin (M1)

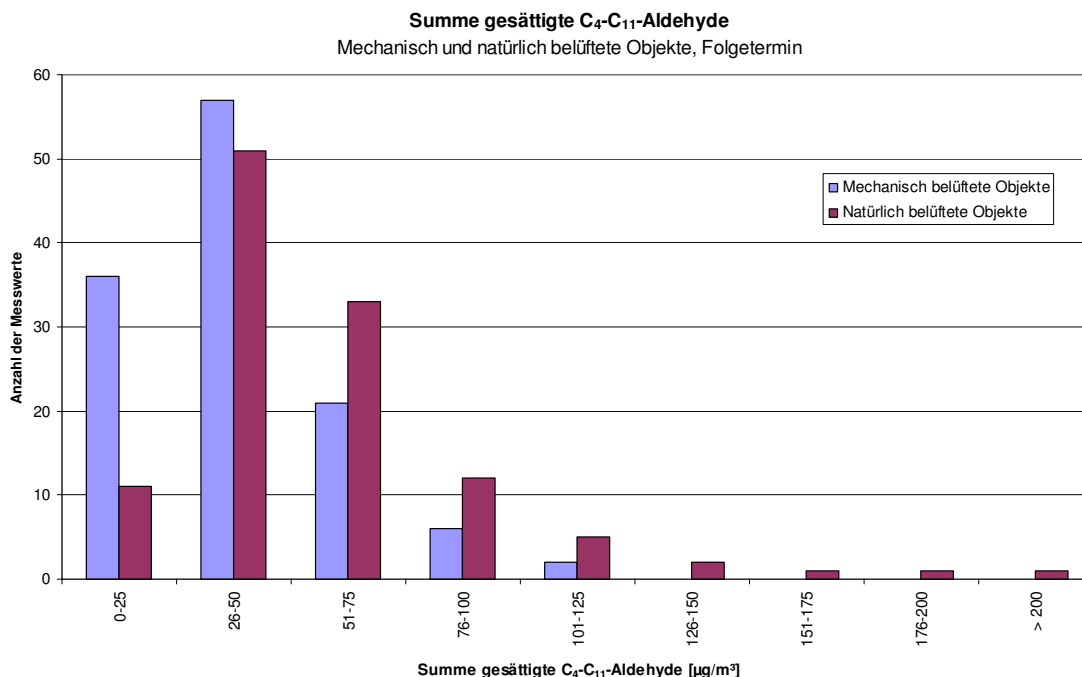


Abb. 4.3.13: Anzahl Messwerte der Summe der gesättigten azyklischen aliphatischen C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde in Konzentrationsklassen zu je 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Wohn- und Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (n=122) und Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=117), Folgetermin (M2)

### 4.3.3 Schimmelpilzsporen in der Raumluft

Die je nach Umfeld und Vegetationsperiode stark unterschiedliche Sporenbelastung der Außenluft beeinflusst auch die Grundkonzentration in Innenräumen. Die Konzentration an Schimmelpilzsporen im Innenraum kann daher nicht losgelöst von der Außenluftkonzentration betrachtet werden. Erhöhte Sporenkonzentrationen in der Raumluft können bei entsprechender Aktivität im Raum auch durch Aufwirbelung von Staub, der eine erhöhte Zahl an sedimentierten Sporen enthalten kann, verursacht werden. Auch eine Kontamination mit Außenluft, die eine höhere Sporenmenge aufweist, kann zu einer Belastung der Raumluft führen, allerdings ohne dass dies ein Hinweis auf eine primäre Schimmelpilzquelle im Innenraum wäre.

Für eine differenzierte Beurteilung wäre eine Bewertung der KBE-Konzentrationen (Konzentration an koloniebildenden Einheiten) unter Berücksichtigung der Gattungen und Arten erforderlich. Dennoch können über eine rein quantitative Betrachtung der Differenzen zwischen Innen- und Außenluft aller Objekte statistische Aussagen darüber getroffen werden, ob in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen ein erhöhtes Risiko der Exposition gegenüber Schimmelpilzbestandteilen (die nach Kultivierung zu koloniebildenden Einheiten führen) zu erwarten ist. Wenn die Differenz außen-innen des Parameters  $\text{KBE}/\text{m}^3$  einen negativen Wert annimmt, wurden in der Innenraumluft mehr  $\text{KBE}/\text{m}^3$  als außen nachgewiesen, was auf eine mögliche Innenraumquelle hinweist.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Räume, in denen die Differenz außen-innen des Parameters  $\text{KBE}/\text{m}^3$  einen negativen Wert annimmt, in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage geringer als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung war.

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen wesentlichen Einfluss auf den mittleren Unterschied der Konzentration an koloniebildenden Einheiten ( $\text{KBE}/\text{m}^3$ ) zwischen Außenluft und Innenraumluft (bei negativen Werten ist dies ein Indikator für eine mögliche Innenraumquelle) hatte. In den Objekten mit Wohnraumlüftung wurde verglichen mit den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei beiden Messterminen eine geringere Anzahl an Objekten identifiziert, bei denen eine Innenraumquelle anzunehmen ist. Die Lüftungsanlage kann daher als Senke für Schimmelpilzbestandteile (hauptsächlich flugfähige Sporen), die bei Kultivierung zu koloniebildenden Einheiten führen, angesehen werden.**

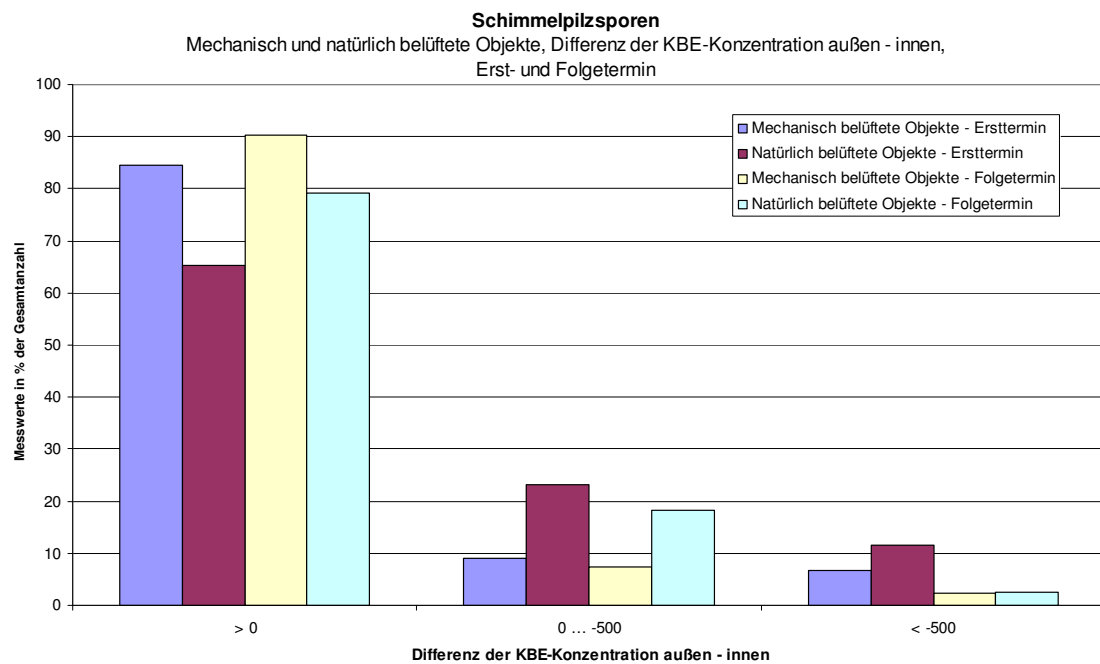


Abb. 4.3.14: Anzahl der Messwerte in Prozent nach Differenz der KBE/m<sup>3</sup> (Anzahl koloniebildende Einheiten pro m<sup>3</sup>) in der Außenluft und in Wohn- und Schlafräumen der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage (M1 und M2: n=122) und Objekte mit ausschließlicher Fensterlüftung (M1: n=122, M2: n=118), Erst- und Folgetermin (M1, M2)

### 4.3.4 Staubmilbenallergene

Die Ergebnisse der Hausstaubmilbenallergen-Messungen stehen wahrscheinlich in unmittelbarem Zusammenhang mit der Herkunft der Gegenstände der Raumausstattung, auf denen die Probenahme stattfand. Beim ersten Messtermin waren die Ergebnisse vermutlich davon abhängig, ob Möbelstücke wie Sofas, Teppiche und Matratzen aus dem vorhergehenden Wohnsitz mitgenommen oder neu angeschafft wurden. Aus diesem Grund ist eine signifikante Differenzierung zwischen den beiden Haustypen hinsichtlich der Staubmilbenbelastung beim Ersttermin nicht sinnvoll, da dies noch keine Informationen über den Einfluss des Haustyps liefert. Eine mögliche Ursache für erhöhte Werte in der Gruppe der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage beim Ersttermin konnte bislang nicht gefunden werden.

Beim zweiten Messtermin kann davon ausgegangen werden, dass in der Mehrzahl der Fälle eine Anreicherung von Allergenen über den Zeitraum eines Jahres erfolgte (obwohl es auch hier nicht bekannt ist, ob und in welchem Ausmaß ein Neukauf oder ein Austausch von Gegenständen der Raumausstattung zwischen den beiden Messterminen stattgefunden hat). Beim Folgetermin lag der arithmetische Mittelwert der Konzentrationen bei den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage niedriger als bei den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, die Unterschiede zwischen den Haustypen waren jedoch nicht signifikant.

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) nach einem Jahr Nutzung keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Konzentration an Hausstaubmilbenallergenen in den untersuchten Matratzen und textilen Einrichtungsgegenständen hatte. Es wurde allerdings eine Tendenz zu niedrigeren Werten in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage festgestellt.**

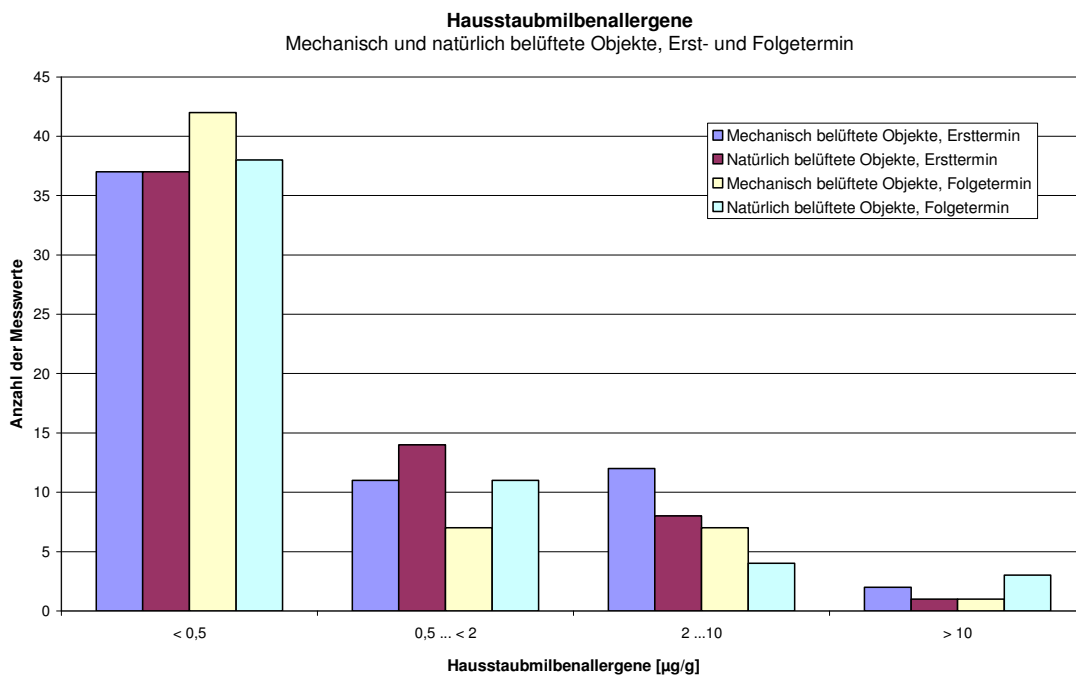


Abb. 4.3.15: Anzahl der Messwerte je Risikoklasse, Staubproben entnommen an textilen Möbelstücken und Matratzen in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage (M1: n=62, M2: n=57) und Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung (M1: n=60, M2: n=56), Erst- und Folgetermin (M1, M2)

## 4.3.5 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und personenbezogener Außenluftvolumenstrom

Die Konzentration von CO<sub>2</sub> in Innenräumen dient vor allem als allgemeiner Indikator für die Gesamtmenge der vom Menschen abgegebenen organischen Emissionen und Geruchsstoffe. Als Produkt der menschlichen Atmung ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Innenraumluft daher unmittelbar Ausdruck der Intensität der Nutzung eines Raumes (BMLFUW 2011).

Der Mensch selbst stellt mit seinen verschiedenen Exhalationsprodukten und Ausdünstungen eine maßgebliche Quelle verschiedener Luftverunreinigungen im Innenraum dar. CO<sub>2</sub> gilt deshalb als Leitparameter für von Menschen verursachte Luftverunreinigungen, da der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Innenräumen gut mit dem Anstieg der Geruchsintensität menschlicher Ausdünstungen korreliert. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration stellt daher den hygienisch relevanten Faktor in Bezug auf anthropogene Emissionen dar, im Wesentlichen kann sie als Indikator für die Belüftungssituation aufgefasst werden. Zur Beurteilung werden sowohl die ÖNORM EN 13779 mit ihren Klassifizierungen als auch die Vorgaben der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, Richtlinienenteil „CO<sub>2</sub> als Lüftungsparameter“ herangezogen (BMLFUW 2011).

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration lag in zahlreichen Schlafzimmern beider Haustypen in einem erhöhten Bereich. Ein Großteil der Schlafzimmer hatte damit eine deutlich zu geringe

Versorgung mit Frischluft. In den Schlafzimmern der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage wurden allerdings bei beiden Messterminen im Durchschnitt hochsignifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Dieser erwartbare Unterschied ist auf die verstärkte kontinuierliche Luftzuführung in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage zurückzuführen.

92 % der Schlafzimmer in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung lagen bei beiden Terminen mit maximalen Stundenmittelwerten von  $> 1.000$  ppm zumindest zeitweise in einem Bereich mäßiger oder noch geringerer Raumlufthqualität nach ÖNORM EN 13779, 80 % lagen mit einem maximalen Stundenmittelwert  $> 1.400$  ppm beim Ersttermin im Bereich niedriger Raumlufthqualität (bzw. 69 % beim Folgetermin). Die Tatsache, dass die Luftzufuhr in nicht mechanisch belüfteten Räumen bei geschlossenen Türen zu gering ist, ist wohlbekannt und liegt an dem bauartbedingt geringen Grundluftwechsel derartiger Neubauten.

In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage lagen 84 % der Schlafzimmer beim Ersttermin mit maximalen Stundenmittelwerten von  $> 1.000$  ppm zumindest zeitweise in einem Bereich mäßiger oder noch geringerer Raumlufthqualität nach ÖNORM EN 13779 (bzw. 89 % beim Folgetermin), 45 % der Objekte lagen mit einem maximalen Stundenmittelwert von  $> 1.400$  ppm beim Ersttermin im Bereich niedriger Raumlufthqualität (bzw. 33 % beim Folgetermin). Zielwert in mechanisch belüfteten Objekten und Richtwert der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufth (BMLFUW 2011) wäre  $1.000$  ppm, eine Konzentration, die lediglich in 16 % der Objekte nicht überschritten wurde (beim Folgetermin lag dieser Wert bei 11 %). Dieser hohe Anteil von Räumen mit unzureichender Raumlufthqualität überraschte, da in all diesen Räumen eine kontinuierliche Luftzufuhr über die raumlufthtechnische Anlage gegeben war.

Das zu geringe Zuluftvolumen im Schlafzimmer der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage (nur dort war eine Messung der Zuluftvolumenströme sinnvoll möglich) spiegelte sich auch in den berechneten personenbezogenen Zuluftvolumenströmen wider. Der hygienisch wünschenswerte personenbezogene Außenluftvolumenstrom liegt laut ÖNORM H 6038 (2014) bei 20 bis  $25 \text{ m}^3/\text{Person} \cdot \text{h}$  im Schlafräum. Unter Berücksichtigung der Personenbelegung ergab sich, dass beim Ersttermin lediglich 13 % der Schlafzimmer in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage im Bereich einer normgerechten Zuluftmenge von 20 bis  $25 \text{ m}^3/\text{Person} \cdot \text{h}$  lagen, beim Folgetermin waren es 26 %. Die Zuluftmenge lag daher in den meisten Fällen in einem (oftmals deutlich) zu niedrigen Bereich.

Die Ursache für das unerwartet geringe Zuluftvolumen in den Schlafzimmern der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage und die überraschend hohen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen lag mit großer Wahrscheinlichkeit in den Vorgaben der zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch

gültigen ÖNORM 6038 (2006), die zwar einen generellen Luftwechsel bezogen auf das gesamte Volumen des Objektes vorschreibt, aber keine Vorgaben für personenbezogene Zuluftvolumina in kritischen Bereichen wie dem Schlafzimmer vorsah. In der Praxis wurden daher vermutlich die Gesamt-Zuluftmengen der untersuchten Wohnungen bzw. Häuser nach Erachten des Lüftungstechnikers auf die Räume aufgeteilt, ohne die Mindestvorgaben der OIB-Richtlinie 3, die eine „ausreichende“ Versorgung mit Außenluft vorschreibt und auf die entsprechenden Regelwerke verweist, zu beachten. Ein weiterer und mit dem oben genannten verbundener Grund könnte sein, dass bei der Übergabe der Anlagen keine oder nicht fachgerechte Messungen der raumbezogenen Zuluftvolumina stattfanden. Die Objekte mit zu geringem Zuluftvolumen entsprachen daher in den Bundesländern, in denen die OIB-Richtlinie 3 schon umgesetzt war, nicht den Vorgaben der Bauordnungen, die sich ja auf die Vorgaben der OIB-Richtlinie stützen.

Warum die Zuluftvolumenströme beim Folgetermin höher als beim Ersttermin lagen, ist unklar. Eventuell gab es Veränderungen an den Druckverhältnissen in der Anlage oder es wurde der relative Anteil oder die absolute Menge an Zuluft im Sinne einer stärkeren Versorgung der Schlafräume mit Außenluft verändert.

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen signifikanten Einfluss auf die Konzentration an Kohlenstoffdioxid als Maßzahl für anthropogene Emissionen hatte – in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen wurden im Mittel in den Schlafräumen bei beiden Messterminen hochsignifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung ( $p < 0,001$ ). Weiters kamen in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung bei beiden Messterminen häufiger Richtwertüberschreitungen vor.**

**Die Ursache für das unerwartet geringe Zuluftvolumen in den Schlafzimmern der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlagen und die überraschend hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen lag mit großer Wahrscheinlichkeit in den Vorgaben der zum Zeitpunkt der Untersuchung noch gültigen alten ÖNORM 6038 (2006) – diese gab im Gegensatz zu der aktuell gültigen Norm keine Vorgaben für personenbezogene Zuluftvolumina in kritischen Bereichen wie dem Schlafzimmer vor.**

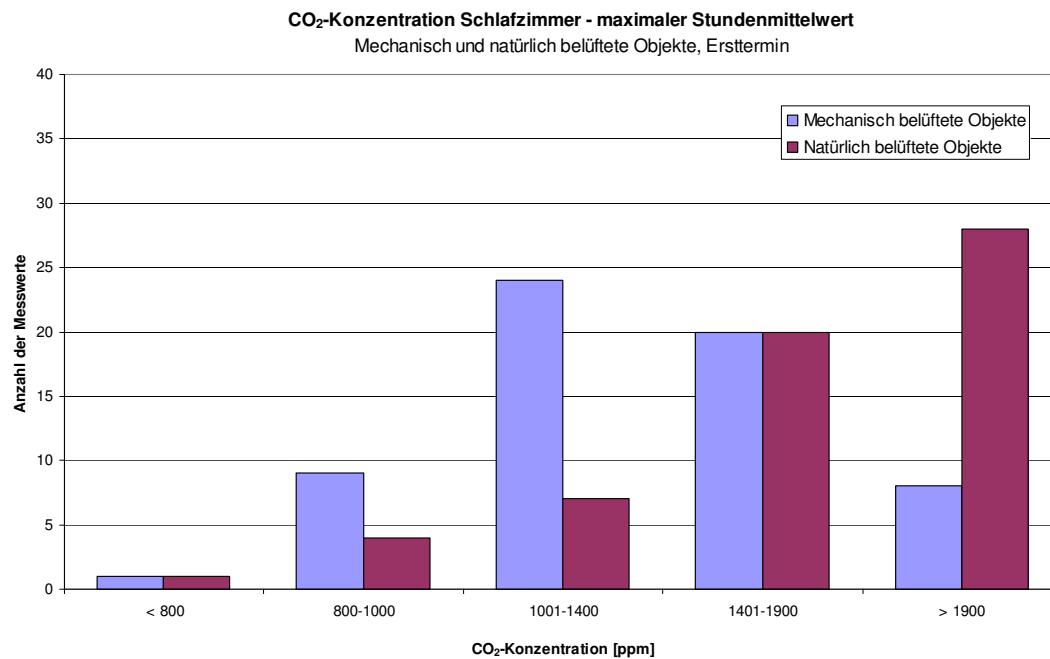


Abb. 4.3.16: Anzahl der CO<sub>2</sub>-Messwerte (maximaler gleitender Stundenmittelwert) in Konzentrationsklassen laut Akademie der Wissenschaften/BMLFUW (2011) bzw. ÖNORM EN 13779, Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen (n=62) und mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=60), Ersttermin (M1)

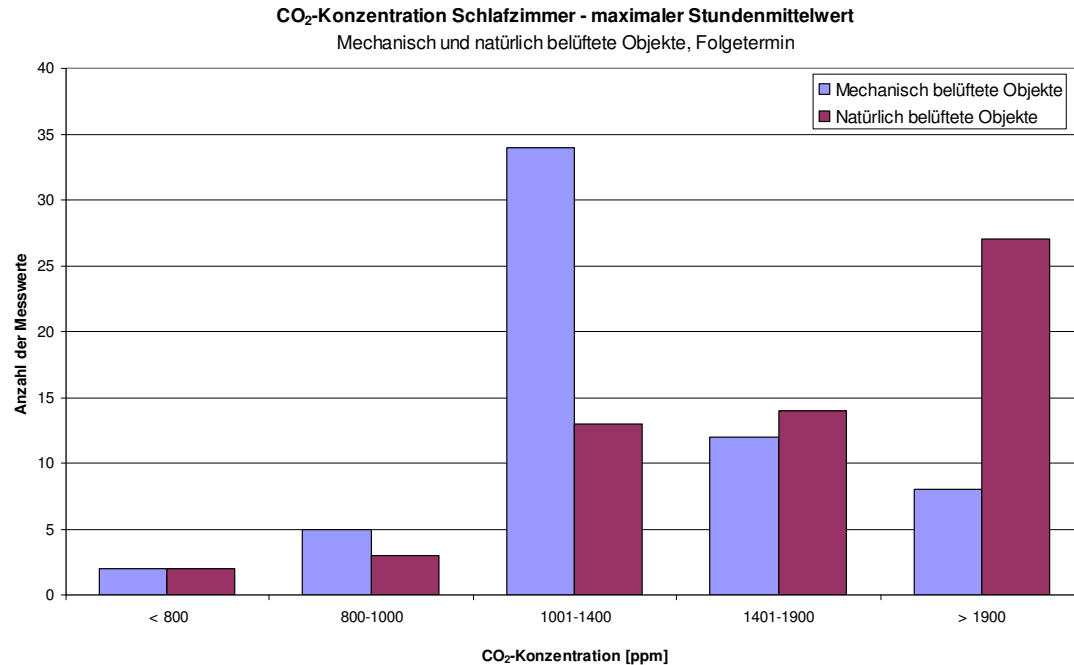


Abb. 4.3.17: Anzahl der CO<sub>2</sub>-Messwerte (maximaler gleitender Stundenmittelwert) in Konzentrationsklassen laut Akademie der Wissenschaften/BMLFUW (2011) bzw. ÖNORM EN 13779, Schlafräume von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen (n=61) und mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=59), Folgetermin (M2)

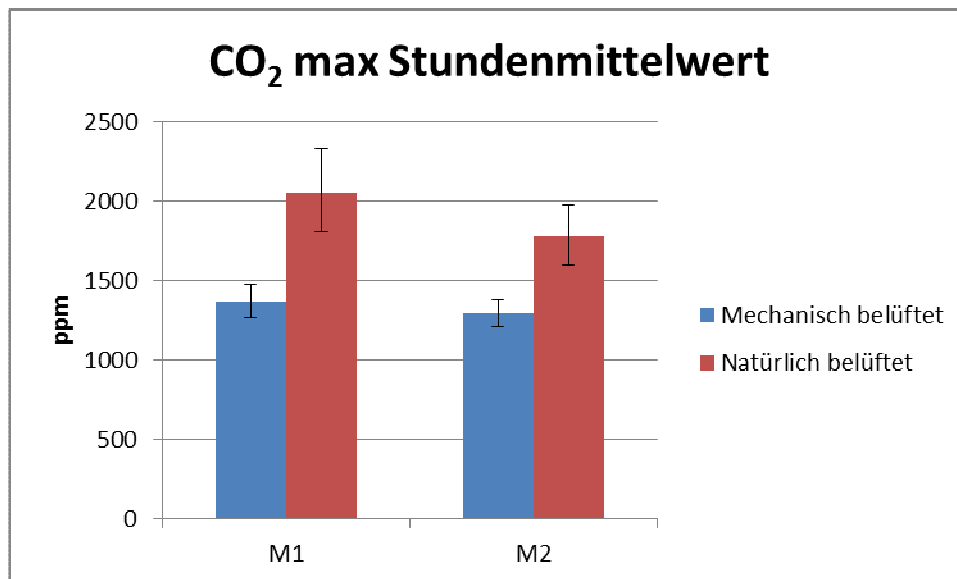


Abb. 4.3.18: CO<sub>2</sub>-Konzentration (maximaler gleitender Stundenmittelwert) im Schlafraum von Objekten mit und ohne Wohnraumlüftungsanlagen, Erst- und Folgetermin (M1, M2), geometrische Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle

### 4.3.6 Radon

Die Ursache dafür, dass der Median der Radon-Jahresmittelwerte der Objekte mit Wohnraumlüftungsanlage (17 Bq/m<sup>3</sup>) um beinahe die Hälfte niedriger als in den Vergleichsobjekten ohne Lüftungsanlage war, lag vermutlich an der baulich bedingten dichten Ausführung der Gebäudehülle sowie am höheren Luftwechsel.

Ein detaillierte Bewertung der Radonmessungen ist im Anhang beigefügt (Anhang 8.1 Radon-Ergebnisbericht).

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen signifikanten Einfluss auf die Radon-Konzentration hatte. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen mit einer hohen Dichtheit der Gebäudehülle wurden im Mittel signifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung.**

### 4.3.7 Schall

Die Untersuchungen zeigten, dass die baugesetzlichen Vorgaben wie auch die Qualitätsstandards von komfortlüftung.at durch die Lüftungsanlagen in allen für eine Beurteilung herangezogenen Objekten im Regelbetriebszustand erfüllt werden.

### 4.3.8 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Eine Interpretation der Werte für die relative Luftfeuchtigkeit ist mit großen Unsicherheiten verbunden und daher schwer möglich, da jeweils nur eine Woche in je zwei Räumen der Objekte untersucht wurde. Auf Grund des im Schnitt höheren Luftwechsels in den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen strömt in diesen in der kalten Jahreszeit deutlich mehr trockene Außenluft durch das System „Wohnung“, wodurch tendenziell eine Entfeuchtung in der kalten Jahreszeit und damit im Schnitt eine niedrigere Luftfeuchte zu erwarten ist. Diese kann zu Beschwerden über zu trockene Raumluft führen. Auf der anderen Seite stehen die zu feuchten Wohnungen mit Luftfeuchten über 55%.

**Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Haustype (mit oder ohne Wohnraumlüftungsanlage) einen deutlichen Einfluss auf die mittlere relative Luftfeuchte hatte. In den Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen wurden im Mittel signifikant niedrigere Werte gemessen als in den Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung, niedrige Werte unter 30% findet man nahezu ausschließlich in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen, hohe Werte über 55% (Schimmelgefahr) nahezu ausschließlich in Objekten mit reiner Fensterlüftung. Eine Interpretation der Werte ist allerdings auf Grund der kurzen Messdauer mit großen Unsicherheiten verbunden.**

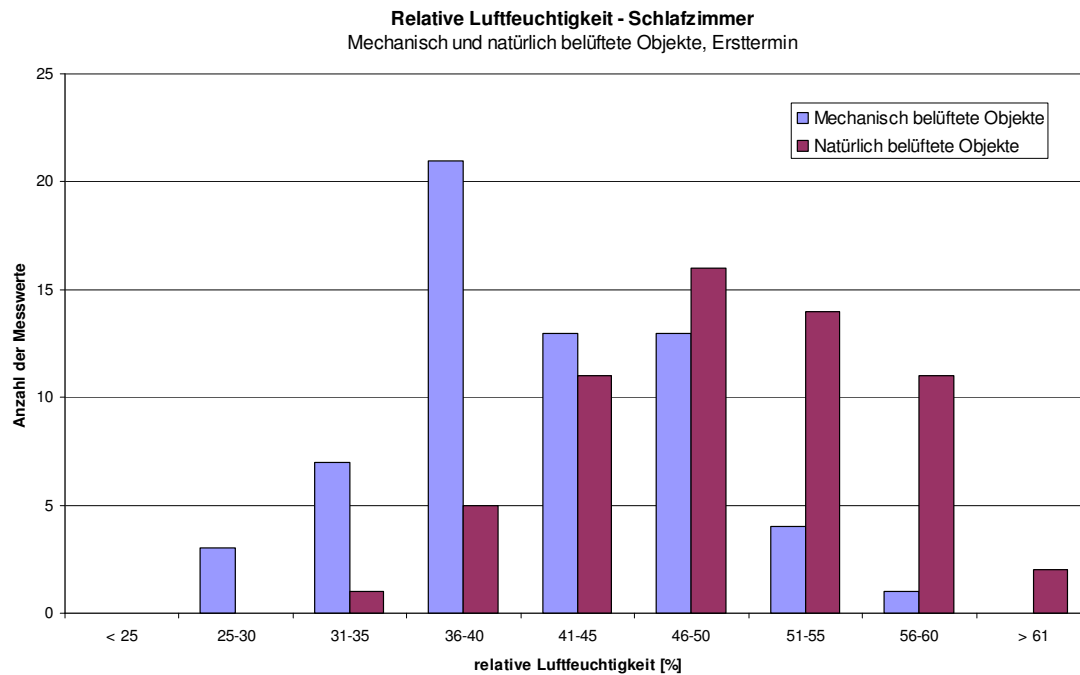


Abb. 4.3.19: Anzahl der der relativen Luftfeuchtigkeits-Werte in Konzentrationsklassen zu je 5 % in den Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen (n=62) und mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=60), Ersttermin (M1)

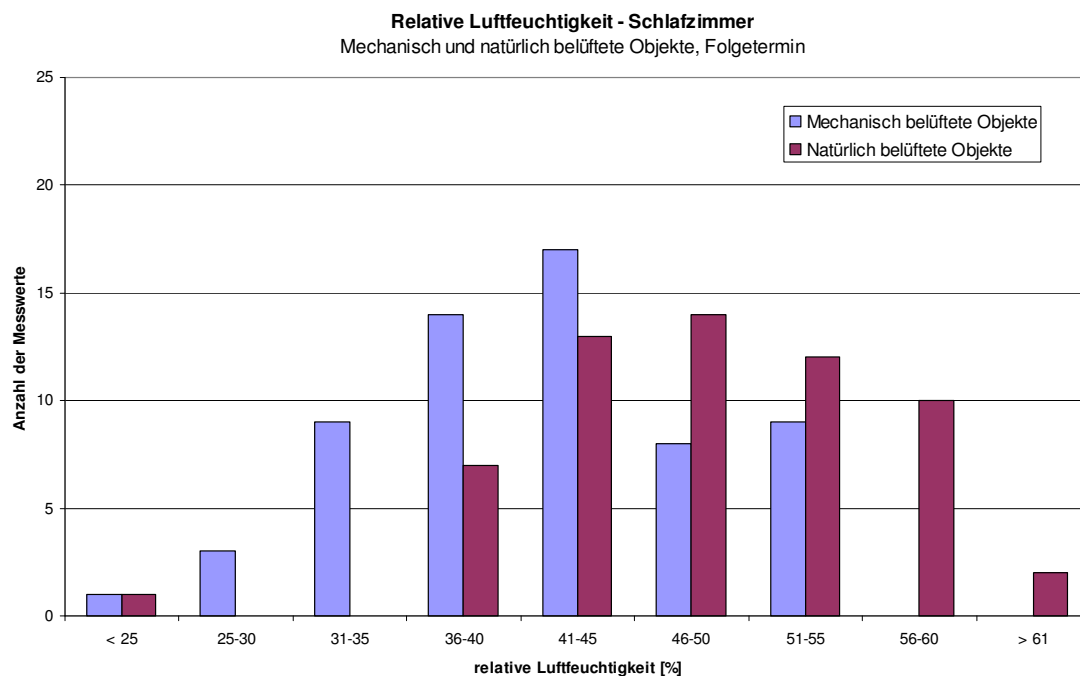


Abb. 4.3.20: Anzahl der der relativen Luftfeuchtigkeits-Werte in Konzentrationsklassen zu je 5 % in den Schlafräumen mit Wohnraumlüftungsanlagen (n=61) und mit ausschließlicher Fensterlüftung (n=59), Folgetermin (M2)

## 5 Zusammenfassung, Ausblick und Empfehlung

### 5.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Raumlufthuntersuchungen, die Daten zur Nutzerzufriedenheit und -gesundheit sowie zur subjektiv empfundenen Raumlufthqualität zeigen, dass das Konzept von Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlagen gegenüber dem „herkömmlichen“ Konzept des Niedrigenergiehauses mit reiner Fensterlüftung deutliche Vorteile aufweist. Der Einsatz einer Wohnraumlüftungsanlage in Wohngebäuden erscheint daher, wenn die Planung, Errichtung, Inbetriebsetzung und Wartung dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, grundsätzlich empfehlenswert.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erscheint es sinnvoll, die aufgezeigten raumlufthygienischen Vorteile hochwertiger Lüftungsanlagen („Komfortlüftungskonzept“) mit maximaler Energieeffizienz zu verbinden, was im Konzept „Passivhaus“ bzw. darauf aufbauenden Gebäudekonzepten wie bspw. „Plusenergiehaus“ usw. verwirklicht wird und werden kann. Langfristig erscheint es weiter sinnvoll, die Qualitätsanforderungen an mechanische Lüftungsanlagen weiter zu verschärfen, was zum Teil in der Neufassung der ÖNORM H 6038 umgesetzt wurde.

Diverse Ansichten zu „Zwangslüftungsanlagen“ wie z.B. Schimmelbefall, vermehrtes Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden oder verstärkte Luftzugerscheinungen wurden in der vorliegenden Studie nicht bestätigt. Andererseits ist anzumerken, dass in Bezug auf die niedrige Luftfeuchte in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen definitiv Handlungsbedarf bestehen kann. Technische Lösungen dafür stehen bei höherwertigen Lüftungskonzepten zur Verfügung (siehe Kapitel 5.4 Luftfeuchtemanagement) – in den in der vorliegenden Studie untersuchten Objekten wurden diese jedoch noch nicht verwirklicht.

### 5.2 Chemikalienmanagement

Generell wurden sowohl beim Erst- als auch beim Folgetermin in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen verglichen mit Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung im Durchschnitt deutlich geringere Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft nachgewiesen (mit der Ausnahme der Hausstaubmilben-Allergene, bei denen es nur eine Tendenz in diese Richtung bei der Folgemessung gab). Die prozentuelle Veränderung der VOC-Konzentrationen im Verlauf eines Jahres war in beiden Haustypen jedoch ähnlich, was auf eine ähnliche Emissionscharakteristik der Emittenten hinweist. Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz einer Wohnraumlüftungsanlage im Schnitt eine deutlich bessere Raumlufth in Hinblick auf gesundheitlich relevante Luftinhaltsstoffe erreicht wird, die Streuung der Werte ist jedoch in beiden Haustypen hoch.

Aufgrund der Ergebnisse der Schadstoffmessungen der Raumluft kann auch gesagt werden, dass vor allem am Beginn der Nutzung in beiden Objekttypen in zahlreichen Fällen in erhöhtem Ausmaß VOC-Emissionen von Baustoffen und Materialien der Innenausstattung stattfanden, was eine hygienisch unbefriedigende Situation darstellt. Nicht in allen Fällen reicht der Betrieb der Wohnraumlüftungsanlage als alleinige Maßnahme zur Expositionsreduktion aus. Die VOC-Werte lagen zu einem großen Teil (auch in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen) über den Ergebnissen von qualitätsgesichert mittels Chemikalienmanagement errichteten Objekten. Gründe dafür sind einerseits vermutlich die Verwendung von Lösungsmitteln bei Bauchemikalien und Materialien der Innenausstattung als auch sekundär die zu niedrigen Zuluftvolumenströme in den Räumen. Mehr Gewicht muss daher auf eine Emissionsreduktion durch die Auswahl wenig emittierender, schadstoffgeprüfter Baustoffe und Materialien gelegt werden. Ein Chemikalienmanagement bei Planung und Errichtung ist in Hinblick auf die Studienergebnisse eine unbedingte Notwendigkeit und sollte zum Standard bei Bauprojekten werden. Diese Aussage gilt auf Grund der großen Streuung der Ergebnisse auch bei Passivhäusern und Niedrigstenergieobjekten mit Wohnraumlüftungsanlagen.

### 5.3 Vorurteile gegenüber Lüftungsanlagen

Hinsichtlich des Raumklimas wurden beispielsweise Raumtemperatur und Luftbewegung von den Bewohnern von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen signifikant angenehmer eingeschätzt als von den Bewohnern von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung. Die Meinung in Bezug auf häufig so genannte „Zwangslüftungsanlagen für Wohnobjekte“, dass die Raumtemperatur als unangenehmer eingeschätzt wird und Luftzugerscheinungen auftreten, kann auf Grund der Ergebnisse der Studie nicht aufrecht erhalten werden.

Auch die Meinung, dass Lüftungsanlagen „Keimschleudern“ sind, konnte nicht bestätigt werden; es ist demgegenüber davon auszugehen, dass Lüftungsanlagen sogar als Senke für Schimmelsporen fungieren. Es ist umgekehrt davon auszugehen, dass Wohnraumlüftungsanlagen die Konzentration von von außen eintretenden Allergenen (Sporen, Pollen etc.) und Feinstaub deutlich senken können. Zur effizienten Senkung sind allerdings die Wahl eines möglichst hochwertigen Zuluftfilters sowie die Wartung der Anlage von herausragender Bedeutung.

Bestätigt hat sich allerdings die Meinung, dass die Luft in Lüftungsanlagen tendenziell zu trocken ist (siehe Punkt 5.4), dies ist auf die erhöhten durch das Gesamtsystem transportierten Luftvolumina zurückzuführen, die in der kalten Jahreszeit zu einer Entfeuchtung aller Materialien und in der Folge der Raumluft führen. Würde in ausschließlich über Fenster gelüfteten Objekten gleich viel gelüftet, würden auch dort vergleichbar niedrige Luftfeuchten auftreten. Technische Lösung für eine Verbesserung

der Situation (Bedarfsregelung und Feuchterückgewinnung) sind bekannt und werden in modernen Anlagen schon installiert.

### 5.4 Luftfeuchtemanagement

Sowohl zu hohe und zu niedrige Werte für die relative Luftfeuchte sollten vermieden werden. Die Studie zeigte, dass niedrige Werte unter 30% relativer Luftfeuchte nahezu ausschließlich in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen, hohe Werte über 55% nahezu ausschließlich in Objekten mit reiner Fensterlüftung gefunden wurden. Es ist daher davon auszugehen, dass mittels einer Wohnraumlüftungsanlage eine effiziente Schimmelprävention möglich ist.

Da der Luftfeuchte aus gesundheitlichen Gründen großer Wert beigemessen wird und auch zu niedrige Luftfeuchte vermieden werden sollte (Pfluger et al. 2013), sind gemeinsam mit im Bereich der Lüftungstechnik tätigen Firmen Strategien zu einem verbesserten Feuchtemanagement in Objekten mit Wohnraumlüftungsanlagen zu entwickeln. Die unmittelbar sinnvollste und auch energiesparende Maßnahme wäre eine Reduktion der Lüftungsvolumina in den Objekten, die zu einer geringeren Entfeuchtung des Bauwerkes über die Wintermonate führen würde. Ein Kaskadensystem (z.B. Rojas-Kopeinig et al. 2013) kann beispielsweise die notwendigen durch das Gesamtsystem transportierten Luftvolumina deutlich senken und führt zu keinen Komforteinbußen. Sinnvoll erscheint weiters eine bedarfsorientierte, CO<sub>2</sub>-gesteuerte Regelung der Luftvolumenströme, die sowohl anthropogene Emissionen als auch Gerüche und Baustoffemissionen erfasst (hier ist die Auswahl entsprechend geeigneter und strategisch platzierter Sensoren von großer Bedeutung). Am Beginn der Nutzung eines Objektes dient eine derartige Regelung auch zur Abfuhr von Baufeuchte.

Weitere Maßnahmen zum Feuchtemanagement können beispielsweise im Einsatz einer Feuchterückgewinnung im Bereich des Lüftungsgerätes liegen, die vor allem (aber nicht nur hier) an Standorten mit niedriger Außenluftfeuchte im Winter von Bedeutung ist. Bei bestimmten Wohnsituationen, in denen nicht viel Feuchte produziert wird (beispielsweise berufstätiger Zwei-Personenhaushalt ohne Kinder) oder in Bürosituationen kann die notwendige Mindest-Raumluftfeuchte wahrscheinlich nur durch aktive Befeuchtungssysteme aufrecht erhalten werden. Derartige Systeme sind am Markt erhältlich und sollten aus Gründen der Energieeinsparung mit einer Feuchterückgewinnung kombiniert werden. Bei Verwendung derartiger Systeme ist auf einen kondensatfreien Betrieb und auf eine wirksame, biozidfreie Hygienisierung des Befeuchterwassers Wert zu legen.

Wenn nun die zugeführten Luftmengen für die Schlafräume im Zuge der Umsetzung der im Februar 2014 erschienenen ÖNORM H 6038 (die raumbezogene Zuluftvolumina vorschreibt) bei neu zu errichtenden Gebäuden erhöht werden, ist zu erwarten, dass sich

in der kalten Jahreszeit das Problem der als zu trocken empfundenen Luft in diesen Bereichen verschärft.

Das klassische Konzept des Passivhauses mit ausschließlicher Heizung über die Zuluft erscheint auf Grund der Notwendigkeit der Luftmengenreduktion wenn überhaupt nur in speziellen Fällen einsetzbar.

### **5.5 Medizinische Zusammenfassung**

Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen zeichneten sich durch guten bis sehr guten Gesundheitszustand aus. Daraus ergibt sich ein hoher Grad an Kompensationsfähigkeit für geringe Schadstoffeinwirkungen und Abweichungen des Raumklimas vom Optimum. Obwohl hoch signifikante Unterschiede in der Raumluftqualität bestanden, lagen alle Werte (Ausnahme gelegentliche CO<sub>2</sub>-Überschreitungen) in der Mehrzahl der Objekte unter medizinisch relevanten Grenz- und Richtwerten. Deshalb konnten kaum Unterschiede zwischen den Haustypen und Zusammenhänge zwischen Schadstoffkonzentrationen und Gesundheit/Wohlbefinden gefunden werden.

Andererseits fanden sich hinsichtlich bestimmter Eigenschaften der subjektiv empfundenen Luftqualität hochsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, wobei die Luftqualität von der Testgruppe signifikant, also deutlicher positiver eingeschätzt wurde.

Behauptungen, dass in Wohnobjekten mit Wohnraumlüftungsanlagen vergleichsweise mehr negative Effekte auf Gesundheit und Wohlbefinden auftreten, konnten nicht gestützt werden. Die deutlich niedrigeren Schadstoffkonzentrationen in Wohnobjekten mit Wohnraumlüftungsanlagen lassen vermuten, dass sich diese Technologie langfristig positiv auf Gesundheit und Wohlbefinden auswirkt.

### **5.6 Follow-Up-Untersuchungen**

In der gegenständlichen Studie wurden Daten drei Monate nach Bezug und ein Jahr danach erhoben. Eine Follow-up-Untersuchung nach etwa fünf Jahren (nach Bezug der Wohnung) könnte die Auswirkungen von Wohnraumlüftungsanlagen auf Gesundheit/Wohlbefinden eingehender prüfen. Ein wesentlicher Schwerpunkt könnte dabei auf Veränderungen gesundheitlicher Aspekte im Langzeitverlauf sowie auf dem Umgang und den individuellen Erfahrungen der Nutzer mit Lüftungstechnischen Geräten liegen.

### 6 Danksagung

An dieser Stelle wird all jenen herzlich gedankt, die durch ihre finanzielle, fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Gedankt wird dem Förderungsgeber für die kompetente Betreuung in allen Projektphasen.

Für die Durchführung der Probenauswertung zur Feststellung der innenraumklimatologischen Parameter wird folgenden Einrichtungen bzw. Personen gedankt:

BMA-Labor Bochum (Dr. Ute Stephan) – Hausstauballergene

Umweltbundesamt Wien (Ing. Ingrid Garo-Stach) – Aldehyde

AGES Linz (DI Dr. Wolfgang Ringer) – Radon

Besonderer Dank gebührt weiters den zahlreichen Experten, die Informationen und ihre Expertise bei Fachfragen zur Verfügung gestellt haben. Dies sind neben den Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeitern die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der IBO Innenraumanalytik OG sowie der Spektrum GmbH (DI Dr. Karl Torghele).

Nicht zuletzt wird Günter Lang gedankt, der als ehemaliger Vertreter der IG Passivhaus erstmals die Idee zu der vorliegenden Studie formulierte.

### 7 Literaturverzeichnis

2. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (1990): Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (BGBl. I S. 2694), Deutschland

Ad-hoc-AG (2006): Empfehlungen des Umweltbundesamt: Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Springer Medizin Verlag 20, Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 49: 1169

Ad-hoc AG (2007): Beurteilung der Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 50: 990-1005

Ad-hoc AG (2008): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt- Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 51: 1358 -1369

Ad-hoc AG (2009): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C<sub>4</sub>- bis C<sub>11</sub>-Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 52: 650-659

Ad-hoc AG (2010): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für Benzaldehyd in der Innenraumluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 53: 636–640

Ad-hoc AG (2010): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für Benzylalkohol in der Innenraumluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bundesgesundheitsblatt 53: 984–988

Ad-hoc AG (2010): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für monocyclische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen). Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 53: 1206-1215

Ad-hoc AG (2011): „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für zyklische Dimethylsiloxane in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 54: 388 - 400

Ad-hoc AG (2012): „Innenraumrichtwerte" der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für C<sub>9</sub> – C<sub>15</sub>-Alkylbenzole in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt 55: 1201-1214

Ad-hoc AG (2012): „Innenraumrichtwerte" der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Richtwerte für Ethylbenzol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt 55: 1192-1200

AGÖF (2013): Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Internet vom 15.02.2014: <http://agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte.html>

Akademie der Wissenschaften (1997): Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre – Luftqualitätskriterien VOC, Band 2, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie

BMLFUW (2011): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Hrsg: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreichische Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung, aktuelle Fassung). Internet vom 15.02.2014: [http://www.lebensministerium.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie\\_innenraum.html\\_blank](http://www.lebensministerium.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie_innenraum.html_blank)

Bundesgesundheitsamt-BGA (1977): Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. BGA-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977, auch: BGA (1984): Formaldehyd. Gemeinsamer Bericht des BGA, der BAU und des UBA. bzw. BGA (1992): Bekanntmachungen des BGA. Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundheitsblatt 9/92. 482-483

Bundesgesundheitsblatt (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema – Bundesgesundheitsblatt 11/96

Coutalides R, Eymann L (2014): Innenraumklima – Qualitätssicherung bei Neu- und Umbauten. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft 74 Nr. 3 März. 105-111

COST (1990): Indoor air pollution by formaldehyde in european countries. Report No. 7, COST Project 613, Commission of the European Communities

DIN ISO 16000-3: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen; Probenahme mit einer Pumpe – 2002 08

Empfehlung 90/143/EURATOM (1990): Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden

Gams W (1998): Schimmelpilze in Innenräumen; Umwelt & Gesundheit Heft 4/1998, 9. Jahrgang

Greml A, Blümel E, Kapferer R, Leitzinger W (2004): Technischer Status von Wohnraumbelüftungsanlagen. Hrsg: BM für Verkehr, Innovation und Technologie, Eigenverlag.

Hauck H, Berner A, Frischer T, Gomiscek B, Kundi M, Neuberger M, Puxbaum H, Preining O (2004): AUPHEP - Austrian Project on Health Effects of Particulates - General Overview. Atmospheric Environment 38:3905-3915

Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M (2002): Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms: results of a survey in Vienna, Austria. Proc. INDOOR AIR '02, 9<sup>th</sup> Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate. 30 June - 05 July 2002, Monterey, USA, Vol. 2: 239-243

Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Tappler P, Twrdik F, Ganglberger E, Geissler S, Wenisch A (2005): Auswirkungen energiesparender Maßnahmen im Wohnbau auf die Innenraumluftqualität und Gesundheit. Studie gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Eigenverlag

Indoor Biotechnologies Ltd. (2014): Measuring Allergens. Internet vom 23.02.2014: <http://www.inbio.com/UK/Consumer/Healthy-Homes/Measuring-Allergens>

Jensen B, Wolkoff P, Wilkins CK, Knudsen H (1993): Characterisation of linoleum, Part 1+2. Indoor Air 93 – Proc. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, Finland, Vol. 2: 443-454

Krause C, Chutsch M, Henke M, Huber M, Kliem C, Leiske M, Mailahn W, Schulz C, Schwarz E, Seifert B, Ullrich D (1991): Messung und Analyse von Umweltbelastungsfaktoren in der Bundesrepublik Deutschland – Umwelt und Gesundheit. Band IIIc: Wohn-Innenraum: Raumluft. Berlin, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bundesgesundheitsamt. WaBoLu-Hefte 4/91

Leech JA, Raizenne M, Gusdorf J (2004): Health in occupants of energy efficient new homes. Indoor Air 14: 169-173

Luftqualität in Innenräumen (1997): Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287

Lux W, Mohr S, Heinzow B (2001): Belastungen der Raumluft privater Neubauten mit flüchtigen organischen Verbindungen. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 44: 619-624

ÖNORM B 8110-1: Wärmeschutz im Hochbau – Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf – 2011 11 01

ÖNORM EN 717-1: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode – 2005 02 01

ÖNORM EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen, Teil 1: Allgem. Aspekte der Probenahmestrategie – 2006 06 01

ÖNORM EN ISO 16000-2: Innenraumluftverunreinigungen, Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd – 2006 06 01

ÖNORM EN ISO 16000-5: Innenraumluftverunreinigungen, Teil 5: Probenahmestrategie flüchtige organische Verbindungen (VOC) – 2007 06 01

ÖNORM EN ISO 16000-16: Innenraumluftverunreinigungen, Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration – 2009 12 01

ÖNORM EN ISO 16032: Akustik - Messung des Schalldruckpegels von haustechnischen Anlagen in Gebäuden - Standardverfahren – 2004 12 01

ÖNORM EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft lehnte sich an die Version der Norm aus dem Jahre 2005 an) – 2008 01 01

ÖNORM H 6038 (2006): Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung - Planung, Montage, Prüfung, Betrieb und Wartung – 2006 05 01

ÖNORM H 6038 (2014): Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung - Planung, Montage, Prüfung, Betrieb und Wartung – 2014 02 15

ÖNORM M 5700-2: Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen - Teil 2: Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle - Lösemittlextraktion – 2002 08 01

ÖNORM S 5280-1: Radon-Messverfahren und deren Anwendungsbereiche – 2008 05 01

Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, OIB-330.3-023/11 ([http://www.oib.or.at/RL3\\_061011.pdf](http://www.oib.or.at/RL3_061011.pdf))

Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 5: Schallschutz, OIB-330.5-013/11 ([http://www.oib.or.at/RL5\\_061011.pdf](http://www.oib.or.at/RL5_061011.pdf))

Panzhauser E et al. (1987): Formaldehydbelastung in österreichischen Wohnungen. Archivum Oecologiae Hominis, Wien

Pfluger R, Feist W, Tietjen A, Neher A (2013): Physiological impairment at low indoor air humidity. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 73: 107-108

Pluschke P (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

Rohracher H, Kukovetz B, Ornetzeder M, Zelger T, Enzensberger G, Gadner J, Zelger J, Buber R (2001): Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten. Endbericht einer Studie im Auftrag des BM für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Haus der Zukunft.

Rojas-Kopeinig G, Pfluger R, Feist W (2013): Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. enova 2013, Pinkafeld. Tagungsband S 281-288

Sagunski H (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundheitsblatt 39 : 416-421

Sagunski H, Heinzow B (2003): Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene. Bundesgesundheitsblatt 46: 346-352.

Sagunski H (2004): Umgang mit innenraumbezogenen Beschwerden. In: Österr. Institut für Baubiologie und Bauökologie (Hrsg.): Kongresstagungsband des Kongresses Gesunde Raumluft. Schadstoffe in Innenräumen – Prävention und Sanierung., Wien. IBO-Verlag: 129-134

Sagunski H, Mangelsdorf I (2005): Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische ( $C_9$ - $C_{14}$ ). Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 48

Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Braun P, Plieninger P, Rüden H (2001): VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum von 1988 bis 1999. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 61: 26-38.

Schulze Darup, B (2002): Passivhaus-Projektbericht: Energie & Raumluftqualität. Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. AnBUS e.V., Fürth

Strahlenschutzkommission (1992) Empfehlungen der Strahlenschutzkommission betreffend Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen, in: Radon in Österreich 1993; Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Sektion III, Wien

Tappler P, Gann M (1992): Formaldehydbelastung in österreichischen Innenräumen in Zeitraum 1990-1992. In: Tagungsband der 12. Jahrestagung des IBO "Sick Building Syndrom"

Tappler (2014): persönliche Mitteilung

UBA (2010): Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06. Innenraumluft – Flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland. Schriftenreihe Umwelt & Gesundheit 3/2010

VDI 3484 Blatt 2 (2001): Messen von gasförmigen Immissionen - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode. Hrsg: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss.

VDI 4300 Blatt 1 (1995): Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Allgemeine Aspekte der Meßstrategie

VDI 4300 Blatt 7 (2001): Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen. Hrsg: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss.

VDI 4300 Blatt 9 (2005): Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für Kohlendioxid. Hrsg: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss.

VDI 4300 Blatt 10 (2008): Messung von Innenraumverunreinigungen. Messstrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen in Innenräumen. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5: Analysen- und Messverfahren II, Juli 2008

Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO (2000): The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity. Indoor Air 10:222-236.

WHO (1983): Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (1989): Indoor Air Quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (2010): WHO-Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen

## 8 Anhang

### 8.1 Radon-Ergebnisbericht

#### 8.1.1 Was ist Radon?

Radon ist ein natürliches, unsichtbares sowie geruch- und geschmackloses Edelgas. Als Zerfallsprodukt des in Böden und Gesteinen vorkommenden radioaktiven Schwermetalls Uran kommt es nahezu überall vor. Als Gas kann es aus dem Boden und Gesteinen leicht austreten und sich über die Bodenluft ausbreiten. Im Freien kommt es meist zu einer starken Verdünnung, so dass keine bedenkliche Radonkonzentration entstehen kann. Im Gegensatz zu Gebäuden, hier kann sich Radon in der Raumluft anreichern und ein Gefahrenpotenzial für die Bewohner darstellen.

#### 8.1.2 Gesundheitsgefährdung durch Radon

Radon und seine Folgeprodukte gelangen durch die Atmung in den Körper. Durch den Alpha-Zerfall der Folgeprodukte werden die oberen Zellschichten des Lungengewebes geschädigt. Nach dem Rauchen bilden Radon und seine Zerfallsprodukte die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs. Bei Nichtrauchern stellt Radon sogar die häufigste Ursache für diese Krebsart dar. Statistisch gesehen stirbt jeden Tag ein Österreicher an den Folgen von Radon und seinen Folgeprodukten.

#### 8.1.3 Radon in Gebäuden

In Innenräumen von Gebäuden kann es zu einer erhöhten Konzentration von Radon in der Atemluft kommen. Die Hauptursache dafür ist der sogenannte Kamineffekt, durch den die radonhaltige Bodenluft durch Ritzen und Spalten im Fundamentbereich in das Gebäudeinnere gesaugt wird. Die Höhe der Radonkonzentration in einem Gebäude hängt primär vom Urangehalt des Bodens (Radonquelle), der Luftdurchlässigkeit des Untergrundes (Permeabilität) sowie der Dichtheit des Fundamentbereiches ab. Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist das Nutzungsverhalten der Bewohner (Lüftungsverhalten etc.).

##### 8.1.3.1 Richtwerte

In Österreich besteht keine gesetzliche Regelung hinsichtlich von Grenzwerten für Radonkonzentrationen in Wohngebäuden. Allerdings gibt es seit 1992 eine Empfehlung der österreichischen Strahlenschutzkommission, dass ab einer mittleren Radonkonzentration von 400 Bq/m<sup>3</sup> (Eingreifrichtwert) Sanierungsmaßnahmen in bestehenden Gebäuden dringend durchgeführt werden sollen und bei Neubauten eine

mittlere Radonkonzentration von  $200 \text{ Bq/m}^3$  (Planungsrichtwert) nicht überschritten werden soll.

In der OIB-Richtlinie 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, 2011) ist in Kapitel 8.2 Schutz vor gefährlichen Immissionen – Strahlung festgelegt, dass Aufenthaltsräume so auszuführen sind, „dass keine die Gesundheit der Benutzer beeinträchtigende ionisierende Strahlung aus Baumaterialien und Radonemission aus dem Untergrund auftritt.“ In den Erläuternden Bemerkungen wird auf die oben genannten Richtwerte sowie die beiden ÖNORMen S 5280 Teil 2 - Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden und S 5280 Teil 3 - Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden verwiesen.

Damit gelten in allen Bundesländern (mit Ausnahme von Niederösterreich und Salzburg, welche die OIB-RL 3 nicht für verbindlich erklärt haben, Stand Juli 2013) baurechtliche Vorschriften zum Radonschutz.

### 8.1.3.2 Die Österreichische Radonpotenzialkarte

Auf Basis von Radonmessungen in Wohnungen wurde für jede österreichische Gemeinde ein Radonpotenzial berechnet. Die aktuelle Radonpotenzialkarte sowie weiterführende Informationen rund um Radon kann der Infoplattform des Bundes [www.radon.gv.at](http://www.radon.gv.at) entnommen werden. Hier können auch das Radonpotenzial für jede Gemeinde und die damit verbundenen Empfehlungen abgefragt werden.

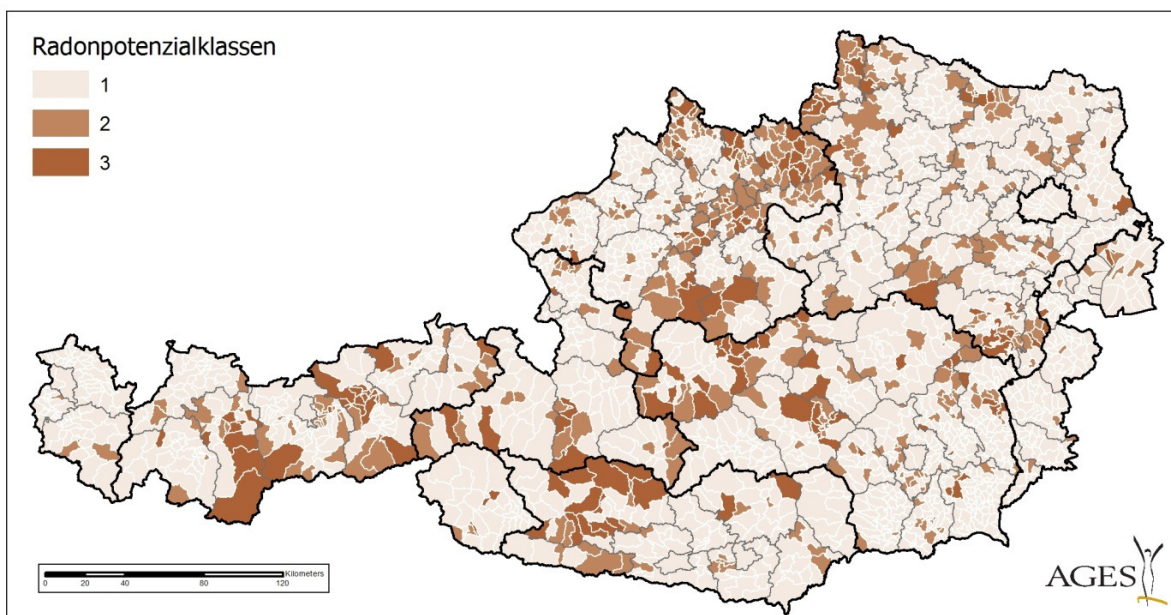


Abb. 8.1: Österreichische Radonpotenzialkarte (Stand 2012)

### 8.1.4 Methodik und Durchführung

#### 8.1.4.1 Messprinzip

Die Radonmessungen wurden mittels passiver Kernspurdetektoren (RSKS) der Firma Radosys durchgeführt. Als Sensor wurde ein Kernspurdetektor (CR39) verwendet, welcher in einer Diffusionskammer befestigt ist. Das radioaktive Edelgas Radon diffundiert in die Kammer, die beim Zerfall entstehenden Alpha-Teilchen und seine neu entstandenen Folgeprodukte hinterlassen am Detektorchip charakteristische Spuren. Die Spurdichte ist proportional zur Radonexposition.

#### 8.1.4.2 Messdauer

Der Messzeitraum der durchgeführten Erhebung betrug im Mittel 374 Tage und je Gebäude sollte in drei Wohnräumen gemessen werden. Aufgrund der gewählten Messzeit von ungefähr einem Jahr entspricht der Messwert dem Jahresmittelwert und es ist keine weitere Korrektur des Messwertes (saisonale Korrektur) notwendig.

#### 8.1.4.3 Gebäudedaten

Die Gebäudedaten wurden mittels eines Fragebogens erfasst, welcher detaillierte Fragen bezüglich des Gebäudetyps, der Baumaterialien, Wärmeabgabesysteme etc. beinhaltet. Aufgrund des umfangreichen Fragebogens wurden zur Vereinfachung der Auswertung Doppelnennungen nicht berücksichtigt und die Einträge nur einzeln bewertet. Der Anhang enthält ein Muster des Fragebogens und das Messprotokoll.

### 8.1.5 Ergebnisse und Diskussion

Auswertbare Messungen erfolgten in insgesamt 62 Neubauten (Niedrigstenergiegebäude nach ÖNORM B8110-1) mit Wohnraumlüftungsanlage (Testgruppe, 179 Radonmesswerte) sowie 60 Neubauten ohne mechanische Belüftung (Kontrollgruppe, 176 Radonmesswerte). Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 8.2 und Abb. 8.3) und zeigen die geografische Lage der erhobenen Gebäude sowie die Anzahl der Gebäudetypen je Gemeinde (P = Testgruppe, K = Kontrollgruppe) auf der Österreichischen Radonpotenzialkarte.

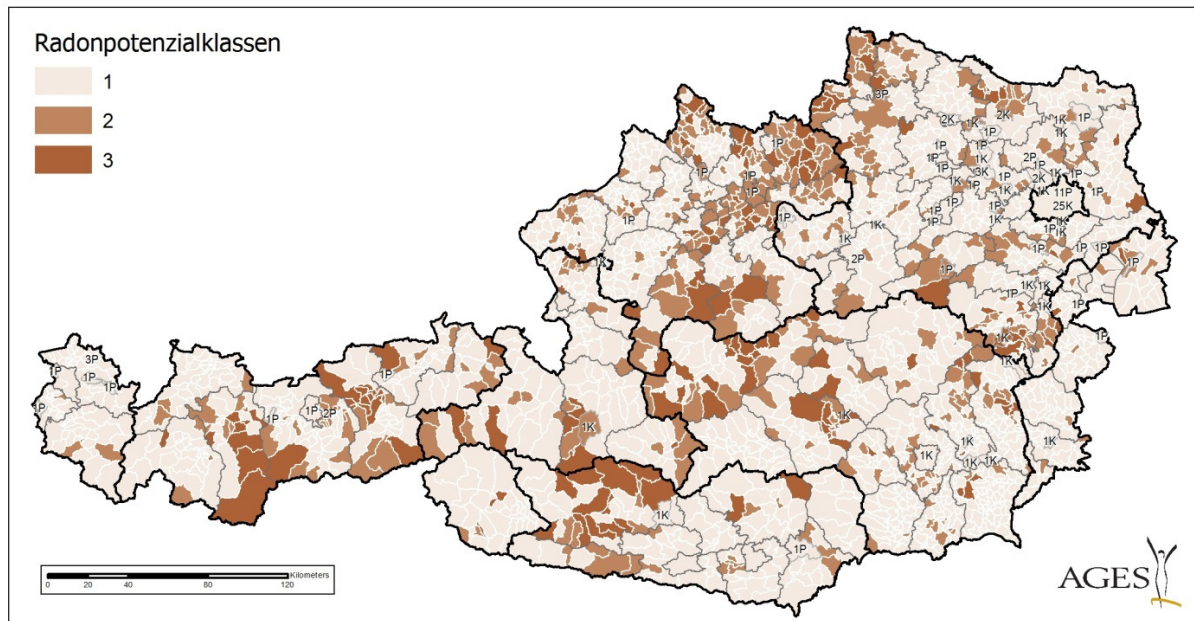


Abb. 8.2: Österreichische Radonpotenzialkarte mit den Messstandorten

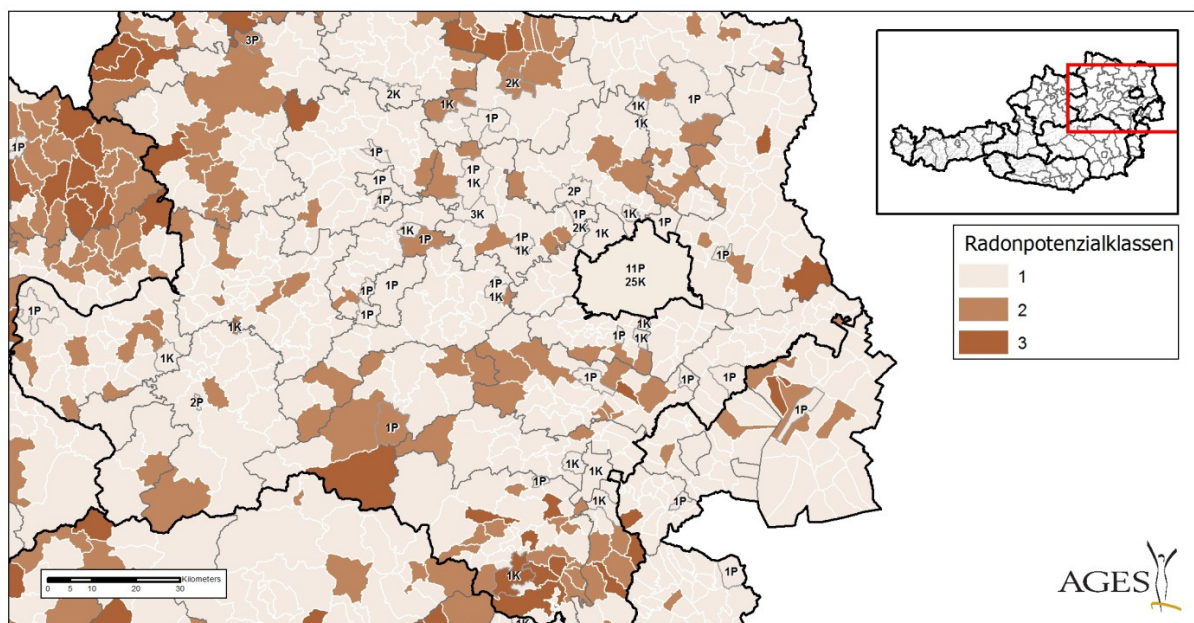


Abb. 8.3: Messstandorte in Ostösterreich

Die Gesamtübersicht aller erfassten Radonmesswerte kann der nachstehenden Abbildung (Abb. 8.4) in aufsteigender Reihenfolge entnommen werden. Die Unsicherheit der einzelnen Messwerte liegt im Mittel bei 20 % ( $k=2$ ).

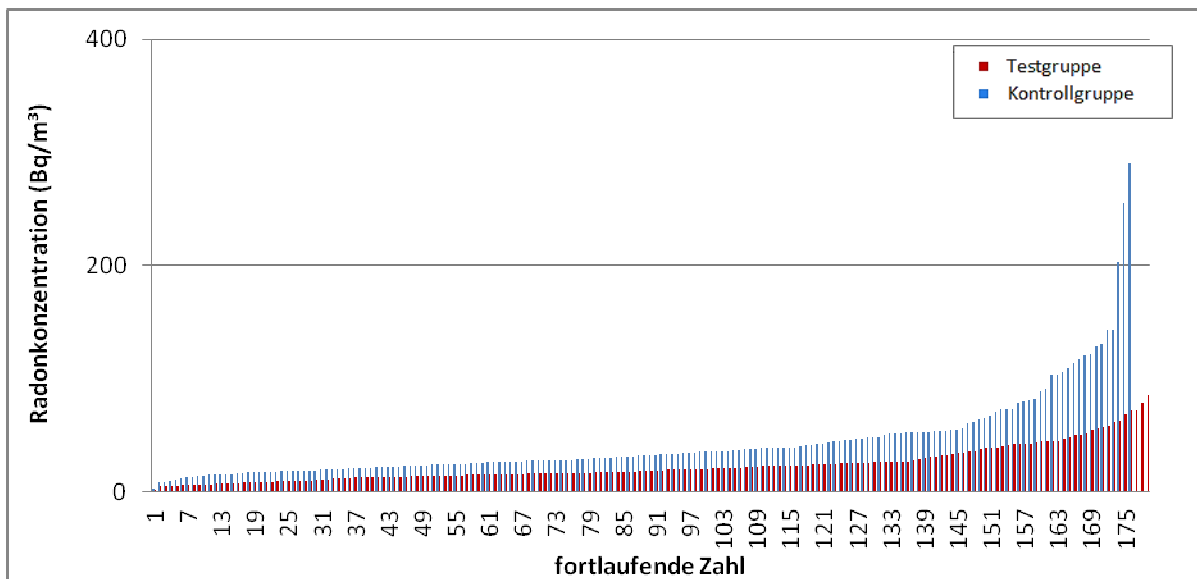


Abb. 8.4: Übersicht der erhobenen Radonmesswerte

Zur besseren Vergleichbarkeit werden nur Messungen aus dem Erdgeschoß sowie dem 1. Obergeschoß aus Gemeinden mit einem Radonpotenzial bis 250 Bq/m³ betrachtet.

Die Anzahl der Gebäude der Testgruppe und der Kontrollgruppe je Potenzialklasse sowie arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum der Gebäudemittelwerte (nur EG und 1.OG, Radonpotenzial der Gemeinde  $\leq 250$  Bq/m³) kann der nachstehenden Tabelle (Tab. 8.5) entnommen werden.

Tab. 8.5: Anzahl der Gebäude der beiden Gruppen je Potenzialklasse sowie arithmetischer Mittelwert, Median, Maximum und Minimum der Gebäudemittelwerte (nur EG und 1.OG, Gemeinderadonpotenzial  $\leq 250$  Bq/m³)

| Radonpotenzialklasse                                                                            | Gebäude mit Wohnraumlüftungsanlage | Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| Klasse 1 (0-200 Bq/m³)                                                                          | 52                                 | 55                                          |
| Klasse 2 (200-400 Bq/m³)                                                                        | 10                                 | 2                                           |
| Klasse 3 (>400 Bq/m³)                                                                           | 0                                  | 3                                           |
| <b>Gebäudemittelwerte (nur EG und 1.OG, Gemeinderadonpotenzial <math>\leq 250</math> Bq/m³)</b> |                                    |                                             |
| Anzahl der Gebäude                                                                              | 44                                 | 42                                          |
| arithmetischer Mittelwert ( $\pm$ Standardabweichung)                                           | $27 \pm 17$ Bq/m³                  | $41 \pm 29$ Bq/m³                           |
| Median ( $\pm$ mittlere Abweichung vom Median)                                                  | $23 \pm 12$ Bq/m³                  | $33 \pm 19$ Bq/m³                           |
| MAX                                                                                             | 76 Bq/m³                           | 130 Bq/m³                                   |
| MIN                                                                                             | <10 Bq/m³                          | 14 Bq/m³                                    |

Im Mittel ist der Gebäudemittelwert der Gebäude mit Wohnraumlüftung um ca. ein Drittel niedriger als in den Gebäuden mit ausschließlicher Fensterlüftung, wobei beide Typen keinen Gebäudemittelwert über 200 Bq/m³ (Planungsrichtwert für Neubauten) aufweisen.

Die erhobenen Messwerte liegen in einer log-Normalverteilung vor, der Unterschied der mittleren Radonkonzentration ist statistisch signifikant (Mann-Whitney-Test).

Nachfolgende Abbildung (Abb. 8.6) zeigt die Verteilung der Messwerte der Gebäude mit und ohne Wohnraumlüftungsanlage, Gemeinden mit einem Radonpotenzial  $\leq 250$  Bq/m<sup>3</sup>.

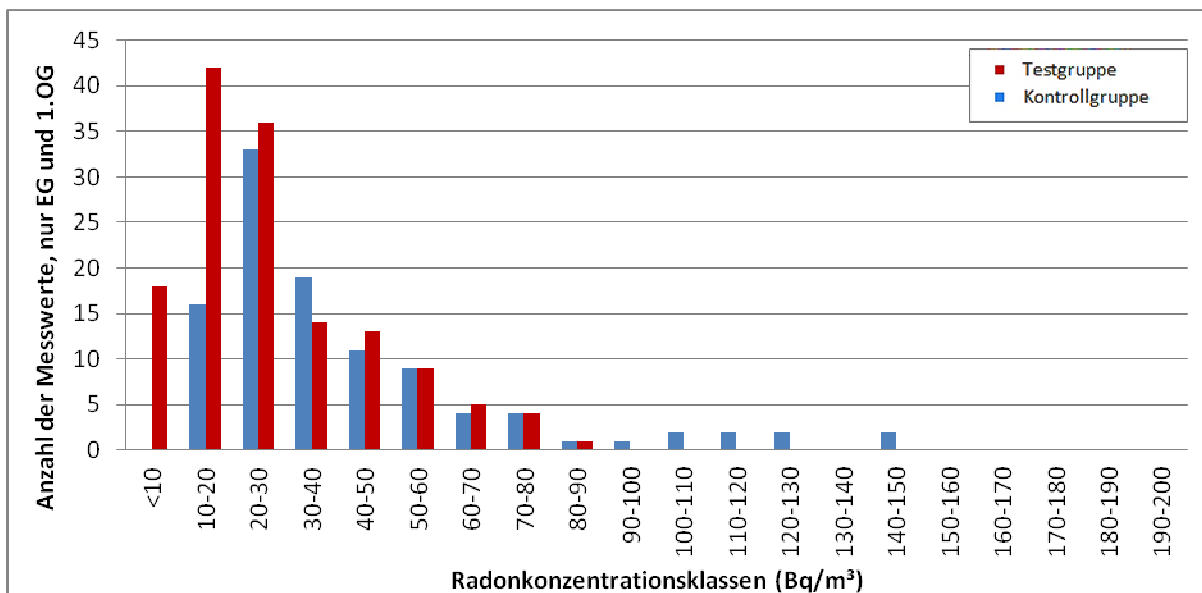


Abb. 8.6: Anzahl der Messwerte in Radonkonzentrationsklassen zu je 10 Bq/m<sup>3</sup> (nur EG und 1.OG von Gebäuden in Gemeinden mit Radonpotenzial  $\leq 250$  Bq/m<sup>3</sup>)

Betrachtet man die Mittelwerte der erhobenen Messwerte beider Gebäudetypen je Stockwerk so erkennt man, dass die Radonkonzentration sowohl bei Objekten mit als auch bei Objekten ohne Wohnraumlüftung mit steigendem Stockwerk abnimmt (siehe Abb. 8.7). Es ist zu beachten, dass aufgrund der geringen Anzahl von Messungen in den höheren Stockwerken die Mittelwerte eine hohe Unsicherheit aufweisen.

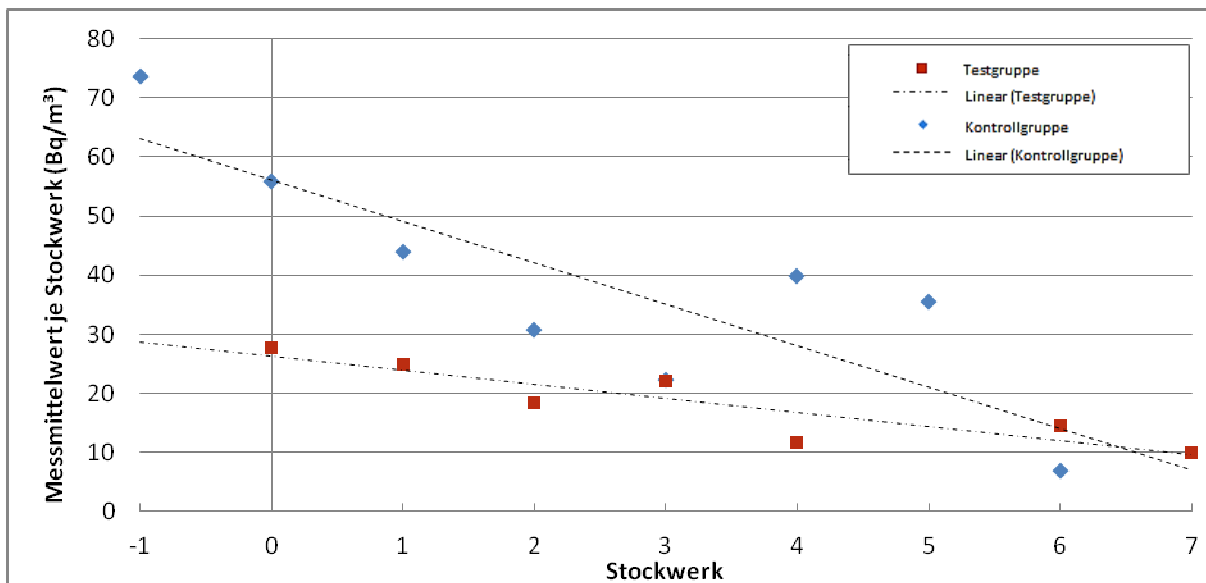


Abb. 8.7: Abnahme der Radonkonzentration mit steigendem Stockwerk, angegeben werden die arithmetischen Mittelwerte der Gebäudemittelwerte

Vergleicht man die Hausmittelwerte der beiden Gruppen (nur Gebäude mit Radonmessungen im EG und 1.OG) mit dem Radonpotenzial der zugehörigen Gemeinde, so liegt kein Zusammenhang bei den Gebäuden mit Wohnraumlüftungsanlage beziehungsweise nur eine geringe Relation bei den Gebäuden mit ausschließlicher Fensterlüftung bezüglich des zugehörigen Gemeinderadonpotenzials vor (siehe Abb. 8.8).

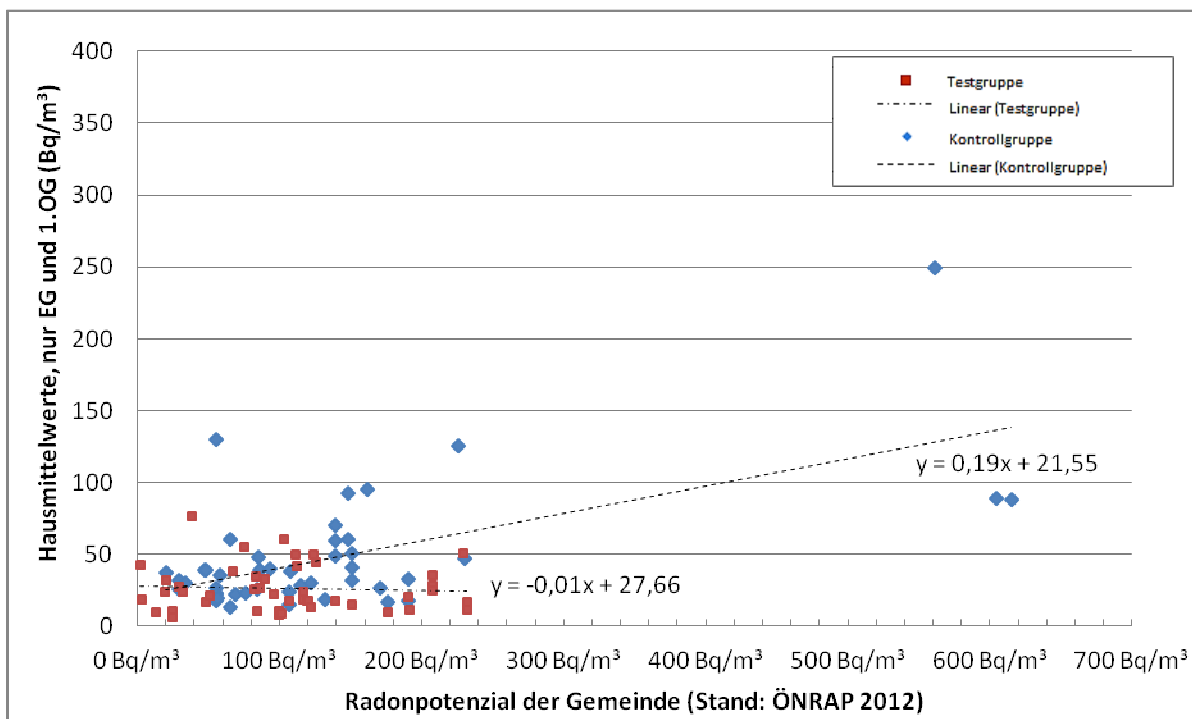


Abb. 8.8: Vergleich der Hausmittelwerte (EG, 1.OG) mit dem Radonpotenzial der Gemeinden

Eliminiert man die drei Gebäude aus der Gruppe der mechanisch belüfteten Gebäude mit den höchsten Gemeinderadonpotenzialen aus obenstehender Abbildung (Abb. 8.8), so ändert sich der zuvor genannte Sachverhalt kaum (siehe Abb. 8.9).

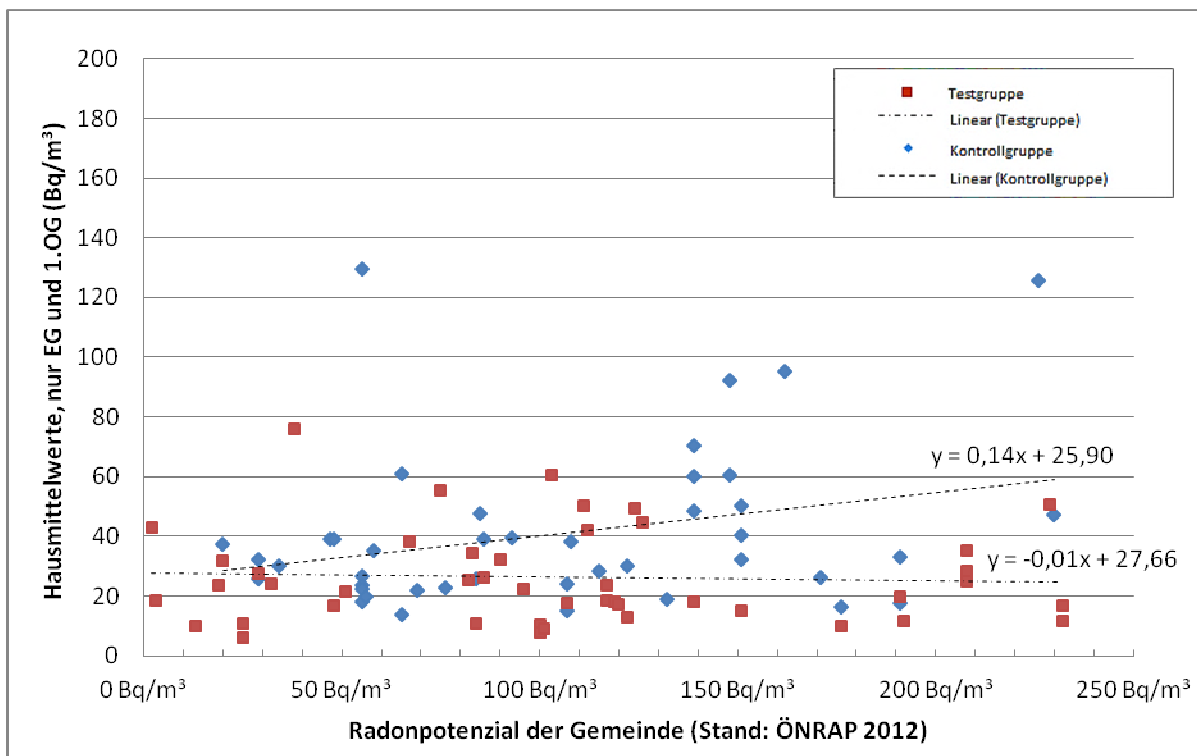


Abb. 8.9: Vergleich der Hausmittelwerte (EG, 1.OG) mit dem Radonpotenzial der Gemeinden (bis 250 Bq/m³)

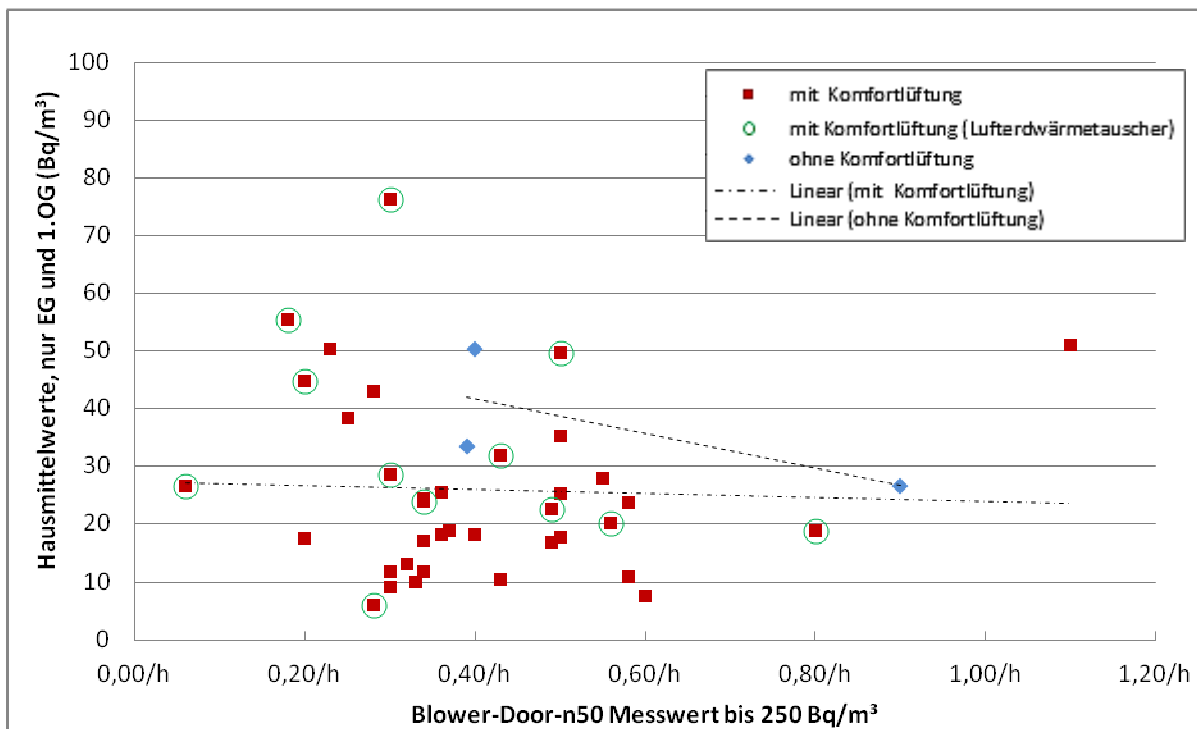


Abb. 8.10: Vergleich der Hausmittelwerte (EG, 1.OG) mit dem  $n_{50}$ -Wert (Gemeinderadonpotenziale bis 250 Bq/m³)

Aus den vorliegenden Daten kann kein Zusammenhang zwischen den gemessenen  $n_{50}$ -Werten bei den Gebäuden mit und ohne mechanischer Lüftung, bezogen auf die dort ermittelten Hausmittelwerte, formuliert werden (siehe Abb. 8.10).

Anmerkung: Das Blower-Door Verfahren dient der Feststellung der Dichtheit der gesamten Gebäudehülle. Für das Radonrisiko ist aber primär die Dichtheit der Gebäudehülle gegenüber dem Erdreich bedeutungsvoll!

### 8.1.6 Schlussfolgerung

Die baulich bedingte dichte Ausführung der Gebäudehülle sowie der permanente Luftwechsel durch die Lüftung der Gebäude mit Wohnraumlüftung bieten einen zuverlässigen Radonschutz. Auch dem Umstand, dass energieeffiziente Gebäude (z.B. Passivhäuser) in der Regel nicht unterkellert sind, wirkt sich nicht negativ auf den Radongehalt der Raumluft aus.

Mit Ausnahme eines Gebäudes zeigen die betrachteten Neubauten der Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung einen ausreichenden Schutz gegenüber Radoneintritt aus dem Untergrund, wobei die mittlere gemessene Radonkonzentration aller Neubauten in der Kontrollgruppe im Vergleich zu den betrachteten Neubauten der mechanisch belüfteten Gebäude etwa um die Hälfte höher ist.

Eine aussagekräftige Bewertung der Auswirkung von Baumaterial, Fundamenttyp, Art der Wärmebereitstellung etc. kann aufgrund der geringen Datenmenge im Rahmen dieses Projektes nicht vorgenommen werden.

Während bei der Gruppe der mechanisch belüfteten Gebäude kein Zusammenhang zwischen den Radonwerten und dem Gemeinderadonpotenzial festgestellt werden kann, so steigt bei der Gruppe Gebäude mit ausschließlicher Fensterlüftung der Radonwert leicht mit dem Gemeinderadonpotenzial (siehe Abb. 8.8 und Abb. 8.9). Es ist jedoch bei der Bewertung der Ergebnisse zu beachten, dass beinahe alle untersuchten Gebäude in Gemeinden mit niedrigem Radonpotenzial lagen und deshalb die Aussagekraft dieser Ergebnisse gering ist.

Um jedoch zu gewährleisten, dass bei Neubauten in Radonrisikogebieten die Radonkonzentration unter dem Eingreifrichtwert liegt, gibt es eine baurechtliche Verpflichtung zum Radonschutz im Rahmen der OIB-Richtlinie 3 bzw. als Unterstützung für die Ausführung von Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten die ÖNORM S 5280 Teil 2 - Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden.

Gemäß oben genannter ÖNORM gewährleisten Neubauten mit einem  $n_{50}$ -Wert  $< 0,6 \text{ h}^{-1}$  und einer mechanischen Lüftung auch in Radonrisikogebieten einen ausreichenden Schutz vor hohen Radonkonzentrationen. Diese Festlegung basiert auf den Ergebnissen

von Untersuchungen zu Radon in Passivhäusern im In- und Ausland<sup>(1, 2, 3)</sup>, insbesondere jedoch auf den Ergebnissen des EU-Projektes Radon Prevention and Remediation (2009 – 2012; <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/>). Im Rahmen dieses Projektes wurden die Auswirkungen neuer Konstruktions-, Heizungs- und Lüftungstechnologien bei energieeffizienten Gebäuden auf die Radonkonzentration untersucht und mittels Radonmessungen in Passivhäusern in Radonrisikogebieten verifiziert<sup>(4, 5, 6, 7, 8)</sup>. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kombination von dichter Gebäudehülle und mechanischer Raumbelüftung grundsätzlich einen guten Radonschutz bieten. Allerdings können gewisse Merkmale bzw. Ausführungsfehler (Luftbrunnen, undichte Erdrohre bei Lüfterdwärmetauschern, schlechte Wartung der Lüftungsanlagen etc.) zu hohen Radonwerten im Gebäude führen. Es wurden deshalb Empfehlungen erarbeitet, um diese nachteiligen Effekte zu vermeiden<sup>(9)</sup>.

### 8.1.7 Literatur

1. Roserens, G.A. Radon measurements in Minergie-ECO buildings, personal communication (2010)
2. Bergmann, F. Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern. Diplomarbeit. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) (2006)
3. Horw. Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern. Hochschule Luzern. Switzerland (2012)
4. Ringer, W. D13/2 – Questionnaires: Compilation and Assessment. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2011)
5. Ringer, W. D13/3 – Survey of Construction Technologies in Low Energy and Passive Houses in Europe. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2011)
6. Ringer, W. D13/4 – Heating and Ventilation Systems in Low Energy and Passive Houses in Europe. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2011)
7. Arvela, H., Holmgren, O., Reisbacka, H. D13/6 – Review of low energy construction, airtightness, pressure conditions and indoor radon in Finnish residential buildings. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2012)
8. Ringer, W. D13/5 – Measurement and Analysis of Radon in Selected Passive Houses in Austria. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2012)
9. Ringer, W., Gräser J. D13/7 – Radon and Energy Efficient Constructions: Assessment and Recommendations. RADPAR Project. <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/documents.cfm> (2012)

### 8.1.8 Fragebogen

|     |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 | Gesamtanzahl der Wohnungen im Gebäude                                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> Eine<br><input type="checkbox"/> Zwei<br><input type="checkbox"/> Drei<br><input type="checkbox"/> Mehr als drei: <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                             |
| 2.2 | Anzahl der Geschosse des Hauses inkl. EG (ohne Keller)                                                                                                                             | <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2.3 | Wieviele Personen leben im Haus?                                                                                                                                                   | Personen über 14 Jahre: <input type="text"/><br>Personen unter 14 Jahre: <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2.4 | Lage des Hauses                                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> Alleinstehend<br><input type="checkbox"/> Zusammengebaut mit Nachbarhäusern                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2.5 | Ist das Haus unterkellert?<br><b>Erläuterung Kellergeschoß:</b><br>Ein Geschöß, das zur Gänze oder in Teilen (z.B. bei Gebäuden in Hangbauweise) in das umliegende Gelände reicht. | <input type="checkbox"/> Ganz unterkellert<br><input type="checkbox"/> Teilweise unterkellert<br><input type="checkbox"/> Nicht unterkellert<br><br>Wenn unterkellert:<br>In der luftdichten Hülle? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein<br><br>Wenn nicht in der luftdichten Hülle:<br><input type="checkbox"/> Von innen begehbar<br><input type="checkbox"/> Nur von außen begehbar |
| 2.6 | Fundamenttyp                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> Fundamentplatte durchgehend<br><input type="checkbox"/> Fundamentplatte teilweise<br><input type="checkbox"/> Streifenfundament<br><input type="checkbox"/> Kein Fundament                                                                                                                                                                                                         |
| 2.7 | Bodenaufbau im Fundamentbereich (mehr als eine Angabe möglich)                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> Naturboden (Sand, Erde)<br><input type="checkbox"/> Ziegel, Steinplatten<br><input type="checkbox"/> Estrich (Beton)<br><input type="checkbox"/> WU-Beton<br><input type="checkbox"/> <input type="text"/>                                                                                                                                                                         |
| 2.8 | Ist das Haus in einer Hanglage?                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> Ja<br><input type="checkbox"/> Nein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2.9 Hauptbaumaterial der erdberührten Wände (Keller oder EG; mehr als eine Angabe möglich)</p> | <p><input type="checkbox"/> Ziegel</p> <p><input type="checkbox"/> Beton</p> <p><input type="checkbox"/> Stein</p> <p><input type="checkbox"/> Holz</p> <p><input type="checkbox"/> Schalungsstein mit Beton</p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: <input type="text"/></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>2.10 Hauptbaumaterial der Wände OG (mehr als eine Angabe möglich)</p>                          | <p><input type="checkbox"/> Ziegel</p> <p><input type="checkbox"/> Beton</p> <p><input type="checkbox"/> Stein</p> <p><input type="checkbox"/> Holz</p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: <input type="text"/></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>2.11 Art der Fenster</p>                                                                       | <p><input type="checkbox"/> 2-Scheibenverglasung</p> <p><input type="checkbox"/> 3-Scheibenverglasung</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>2.12 Überwiegende Art der Heizung</p>                                                          | <p><input type="checkbox"/> Hauszentralheizung (Fern-, Nahwärme, Holz-, Öl-, Gasofen, Wärmetauscher)</p> <p><input type="checkbox"/> Wohnungszentral-, Etagenheizung</p> <p><input type="checkbox"/> Elektroheizung</p> <p><input type="checkbox"/> Einzelofen (Beistellherd, Kachelofen,...)</p> <p><input type="checkbox"/> Mechanische Wohnraumlüftung</p> <p><input type="checkbox"/> ohne Luft-Erdwärmetauscher</p> <p><input type="checkbox"/> mit Luft-Erdwärmetauscher</p> <p>Material Rohre: <input type="text"/></p> <p>Länge [m]: <input type="text"/> Tiefe [m]: <input type="text"/></p> <p>Ausführung Stöße: <input type="text"/></p> <p>Ausführung Entwässerung:</p> <p><input type="checkbox"/> Abfluss in Erdreich</p> <p><input type="checkbox"/> Abfluss in Kanal</p> <p><input type="checkbox"/> andere (z.B. Luftbrunnen): <input type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: <input type="text"/></p> |
| <p>2.13 Wärmeabgabesystem</p>                                                                     | <p><input type="checkbox"/> Luft</p> <p><input type="checkbox"/> Fußboden</p> <p><input type="checkbox"/> Wandheizung</p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: <input type="text"/></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>2.14 Blower-Door Messung durchgeführt?</p>                                                     | <p><input type="checkbox"/> Ja - <math>n_{50}</math> Wert [1/h]: <input type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> Nein</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

# Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

|                                                                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>Messprotokoll Rn-222 in Luft (KSV)</b> | <b>AGES – Österr. Fachstelle für Radon</b><br>Wieningerstr. 8, 4020 Linz<br>Tel.: 050-555-41552<br>Fax: 050-555-41559<br>Email: <a href="mailto:radonfachstelle@ages.at">radonfachstelle@ages.at</a> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Messung bei     |  |
|-----------------|--|
| <b>Name:</b>    |  |
| <b>Adresse:</b> |  |
| <b>PLZ/Ort:</b> |  |
| <b>☎:</b>       |  |
| <b>U-Zahl:</b>  |  |

Schneiden Sie die Kunststoffbeutel auf, entnehmen Sie die Radon-Detektoren und stellen Sie jeweils zwei Radon-Detektoren nebeneinander in den beiden meistbenutzten Wohnräumen (meist Schlafzimmer und Wohnzimmer) auf.

Wählen Sie für die Aufstellung der Detektoren einen Platz, der

- \* *nicht nahe bei Türen oder Fenstern liegt und an dem keine Zugluft herrscht*
- \* *nicht stark erwärmt wird (z.B. durch direkte Sonnenbestrahlung oder Heizung)*
- \* *sich etwa in normaler Atemhöhe befindet*
- \* *unzugänglich für Kinder oder Haustiere ist (die Detektoren dürfen nicht umgestoßen werden)*

Tragen Sie die Bezeichnung der Räume mit Stockwerk, die Serien-Nummer der Radon-Detektoren und den Messbeginn in der Tabelle ein.

Bei Messende tragen Sie bitte das Messende mit Datum und Uhrzeit ein und senden Sie die Radon-Detektoren (eine spezielle Verpackung ist nicht notwendig) zusammen mit diesem Messprotokoll möglichst rasch an uns zurück.



| Bezeichnung des Raumes | Stockwerk | Serien-Nummer | Messbeginn<br>[Datum] / [Uhrzeit] | Messende<br>[Datum] / [Uhrzeit] | Ergebnis<br>[Bq/m³] |
|------------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Raum 1:                |           |               |                                   |                                 |                     |
| Raum 2:                |           |               |                                   |                                 |                     |
| Raum 3:                |           |               |                                   |                                 |                     |

Bemerkungen: .....

### 8.2 Endbericht an Studienteilnehmer

Den Studienteilnehmern wurde nach Durchführung und Auswertungen der Messungen ein Bericht mit ihren jeweiligen Ergebnissen zugesandt. Im Folgenden ein ausgewählter, anonymisierter Teilnehmerbericht:

## 1 Einleitung

Im Rahmen einer vom Österreichischen Institut für Baubiologie und Bauökologie durchgeführten Studie zum Thema Luftqualität und Bewohnergesundheit in neu errichteten Wohnhäusern und Wohnungen wurden in Ihren Wohnräumen Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse in gegenständlichem Bericht dokumentiert werden.

Ziel der Studie ist die Erhebung von Innenraumfaktoren, die für Gesundheit und Wohlbefinden in Wohnungen und Gebäuden von Bedeutung sind sowie die Gegenüberstellung von Qualität des Innenraums in Hinblick auf gesundheitliche Faktoren und Bewohnergesundheit in neu errichteten Wohnhäusern mit und ohne kontrollierte Wohnraumlüftung.

Die Studie wurde in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Universität Wien (Institut für Umwelthygiene – Medizinische Auswertungen), der AGES (Radonmessungen) und der IG Passivhaus Österreich (Unterstützung Objektauswahl) durchgeführt und vom Klima- und Energiefonds gefördert. Bei der gegenständlichen Studie wurden repräsentative Untersuchungen auf gängige Innenraumfaktoren zum Zeitpunkt des Bezugs und ein Jahr später durchgeführt. Parallel zu den Messungen wurde mittels Befragung die generelle Gesundheit sowie die Gesundheit der Atemwege der Bewohner ermittelt.

Am Ende dieses Berichtes sind die Ergebnisse der Untersuchungen der wichtigsten Innenraumfaktoren in Ihren Wohnräumen angefügt. Die Ergebnisse der gesundheitlichen Befragung können nicht übermittelt werden, da diesbezüglich keine individuelle Auswertung vorgesehen ist.

Das Kapitel "Wissenswertes zur Beurteilung der Ergebnisse" gibt Ihnen Informationen, wie gemessen und beurteilt wurde. Im Kapitel "Methodik und Richtwerte" werden die Grundlagen für die Einstufung der Ergebnisse angeführt. Die Ergebnisse im gleichnamigen Kapitel werden im Überblick anschaulich sowohl mit Ampelfarben unterlegt als auch zum Teil mit numerischen Ergebnissen dargestellt.

Bei Fragen und auffälligen Werten (vor allem im Rahmen der zweiten Messung) ist es möglich, telefonisch oder per Email Kontakt mit dem IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie aufzunehmen.

**Informationen zu Innenraumfaktoren finden Sie unter <http://www.raumluft.org> sowie <http://www.innenraumanalytik.at>**

**Kontakt:**      **Tel: 01-9838080**  
                     **Email: [projekt2020@ibo.at](mailto:projekt2020@ibo.at)**

## 2 Wissenswertes zur Beurteilung der Ergebnisse

Im Kapitel "Methodik und Richtwerte" werden die angewandten Messstrategien, Analysemethoden und Beurteilungsgrundlagen in Kürze dargestellt. Die Probenahme erfolgte – wenn vorhanden – bei Normalbetrieb der raumluftechnischen Anlage. Die untersuchten Räume wurden mindestens acht Stunden vor der Probenahme verschlossen und anschließend nicht über Fenster gelüftet. Bei Abweichungen davon wird dies angemerkt (sofern bekannt). Wenn Unregelmäßigkeiten auftraten, wurde dies nach den Ergebnissen in einer zusätzlichen Information angemerkt.

Die im Kapitel "Ergebnisse" angeführten Messwerte sind eine Zusammenfassung der umfangreichen Daten, die bei den beiden Probenahmen gewonnen wurden. Bestimmte Daten werden nicht angeführt, da sie nur statistische Bedeutung haben und/oder nur einen Zufallswert darstellen, der wenig Aussage für die allgemeine Raumlufsituation liefert (wie z.B. Temperatur und Luftfeuchte). Unter Umständen bleiben Felder leer - in diesem Fall konnte aus verschiedenen Gründen keine Messung oder Auswertung erfolgen.

Die Ergebnisse der Messungen geben den jeweils herrschenden Zustand der Innenraumfaktoren wieder und gelten für die im Zeitraum der Messung herrschenden Bedingungen. Der Messzeitraum betrug bei den chemischen Raumluffaktoren Formaldehyd und VOC etwa eine Stunde. CO<sub>2</sub> wurde über etwa 7 Tage gemessen und Radon über einen Zeitraum von einem Jahr untersucht.

Gesetzliche Grenzwerte für Schadstoffe in der Luft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Es wird daher nach nationalen oder internationalen Richt- und Referenzwerten beurteilt. In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf werden Richtwerte für die Innenraumluf festgelegt<sup>7</sup>. Die angegebenen Richtwerte sind als wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte (WIR) definiert, wobei ein WIR jene Konzentration darstellt, bei dessen Unterschreitung gemäß dem derzeitigen Wissensstand mit keiner schädigenden Wirkung zu rechnen ist. Ein Vergleich mit durchschnittlichen Innenraumkonzentrationen beruht auf Angaben in der Fachliteratur und auf Erfahrungen aus eigenen Untersuchungen.

---

<sup>7</sup> BMLFUW (2011): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluf am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung), aktuelle Ausgabe, <http://www.innenraumanalytik.at/richtwerte.html>

### 3 Methodik und Richtwerte

#### 3.1 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

##### 3.1.1 Probenahme und Analytik der VOC-Untersuchung

Die Probenahme wurden nach ÖNORM EN ISO 16000-5<sup>8</sup>, die Sammlung der flüchtigen organischen Verbindungen laut ÖNORM M 5700-2<sup>9</sup> durchgeführt. Die chemische Untersuchung erfolgte nach ÖNORM M 5700-2 mittels Kapillargaschromatographie mit gekoppeltem Massenspektrometer. Die Ergebnisse werden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Mikrogramm pro Kubikmeter) angegeben.

##### 3.1.2 Beurteilungsgrundlagen der VOC-Konzentration in der Raumluft

Der Begriff flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds = VOC) bezeichnet im Folgenden eine Gruppe organischer Verbindungen, die bei normalem Atmosphärendruck einen Siedebereich von etwa 50-100 °C bis 240-260 °C aufweisen<sup>10</sup>.

Der VOC Summenparameter "Gesamt VOC" ist als einer der Indikatoren für die Gesamtsituation anzusehen. Kanzerogene und Geruchsstoffe sowie Verbindungen, für welche Einzelstoffbewertungen vorliegenden, sind gegebenenfalls einer gesonderten Betrachtung unterzogen worden. Diesbezüglich existieren österreichische und deutsche Orientierungswerte für bestimmte Einzelverbindungen (z. B. Toluol, Styrol, TCE) und „Gesamt VOC“ bzw. TVOC (total volatile organic compounds).

---

<sup>8</sup> ÖNORM EN ISO 16000-5 (2007): Innenraumluftverunreinigungen, Teil 5: Probenahmestrategie flüchtige organische Verbindungen (VOC) - 2007 06 01

<sup>9</sup> ÖNORM M 5700-2 (2002): Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen - Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen - Teil 2: Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle - Lösemittelextraktion - 2002 08 01

<sup>10</sup> WHO (1989): Indoor Air Quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111. Copenhagen: World Health Organisation, Regional Office for Europe

Tabelle 3.1.1: Österreichische und deutsche Orientierungswerte „Gesamt VOC“

| Bezeichnung                                                          | Bewertung der Konzentration  | Raumluftkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Bemerkungen                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft           | Niedrig                      | < 250                                              | Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig |
|                                                                      | Durchschnittlich             | 250 ... 500                                        |                                                                                                                             |
|                                                                      | Leicht erhöht                | 500 ... 1.000                                      |                                                                                                                             |
|                                                                      | Deutlich erhöht              | 1.000 ... 3.000                                    |                                                                                                                             |
|                                                                      | Stark erhöht                 | > 3.000                                            |                                                                                                                             |
|                                                                      | Richtwert                    | 1.000                                              |                                                                                                                             |
| Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB <sup>11</sup> definiert für TVOC | Hygienisch unbedenklich      | < 300                                              |                                                                                                                             |
|                                                                      | Hygienisch noch unbedenklich | 300 ... 1000                                       | Unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen vorliegen                                                              |
|                                                                      | Hygienisch auffällig         | 1.000 ... 3.000                                    | Nutzung nur befristet akzeptabel (< 12 Monate)                                                                              |
|                                                                      | Hygienisch bedenklich        | 3.000 ... 10.000                                   | Nutzung nur befristet akzeptabel (< 1 Monat)                                                                                |
|                                                                      | Hygienisch inakzeptabel      | > 10.000                                           | Raumnutzung möglichst vermeiden                                                                                             |

Tabelle 3.1.2: Festgelegtes Beurteilungsschema für Gesamt VOC

| VOC gesamt [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 500                                   | normal                | die Werte sind als „niedrig“ oder „durchschnittlich“ einzustufen, üblicherweise sind keine Maßnahmen erforderlich                   |
| 500 ... 1000                            | leicht erhöht         | aus Vorsorgegründen ist für eine ausreichende Frischluftzufuhr zu sorgen, ev. Einzelsubstanz(en) auf Richtwertüberschreitung prüfen |
| > 1000                                  | deutlich erhöht       | hygienisch auffällig, die eingehende Analyse der Schadstoffherkunft wird empfohlen                                                  |

<sup>11</sup> Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB (2007): Beurteilung der Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 50. 990-1005

## 3.2 Formaldehyd

### 3.2.1 Probenahme und Analytik der Formaldehyduntersuchung

Messplanung und Probenahmestrategie gestalten sich gemäß ÖNORM EN ISO 16000-2<sup>12</sup>. Die Messung von Formaldehyd erfolgte in Anlehnung an die Acetylaceton-Methode, beschrieben in ÖNORM EN 717-1<sup>13</sup>, VDI 3484 Blatt 2<sup>14</sup>).

### 3.2.2 Beurteilungsgrundlagen der Formaldehyd-Konzentration in der Raumluft

Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Für die Beurteilung von Formaldehyd in der Raumluft existieren eine Reihe von nationalen beziehungsweise internationalen Richtwerten, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden.

Tabelle 3.2.1: Richtwerte für Formaldehyd in Innenräumen

| Formaldehyd                                                                | Raumluftkonzentration |                      | Bemerkungen                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                            | [ppm]                 | [mg/m <sup>3</sup> ] |                                                                                                             |
| Umweltministerium (BMLFUW) und Österreichische Akademie der Wissenschaften | -                     | 0,06                 | 24-Stunden-Mittelwert                                                                                       |
|                                                                            | -                     | 0,10                 | Höchstwert, 30 Minuten Richtwert                                                                            |
| Weltgesundheitsorganisation (WHO)                                          | -                     | 0,06                 | level of no concern <sup>15</sup>                                                                           |
|                                                                            | -                     | 0,1                  | 30 Minuten Richtwert <sup>16</sup>                                                                          |
| Bundesgesundheitsamt Deutschland <sup>17</sup>                             | 0,1                   | 0,120                | Richtwert auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten, 2006 durch das deutsche Umweltbundesamt bestätigt |

<sup>12</sup> ÖNORM EN ISO 16000-2 (2006): Innenraumluftverunreinigungen, Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd - 2006 06 01

<sup>13</sup> ÖNORM EN 717-1 (2005): Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode - 2005 02 01

<sup>14</sup> VDI 3484 Blatt 2 (2001): Messen von gasförmigen Immissionen - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode – 11/2001

<sup>15</sup> WHO (1983): Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen

<sup>16</sup> WHO (2010): WHO-Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen

<sup>17</sup> Bundesgesundheitsamt-BGA (1977): Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. BGA-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977, auch: BGA (1984): Formaldehyd. Gemeinsamer Bericht des BGA, der BAU und des UBA. bzw. BGA (1992): Bekanntmachungen des BGA. Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundheitsblatt 9/92. 482-483

Tabelle 3.2.2: Festgelegtes Beurteilungsschema für Formaldehyd

| Formaldehyd<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                                           |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 0,06                              | normal                | die Konzentration ist als „unauffällig“ einzustufen,<br>keine Maßnahmen erforderlich     |
| 0,06 ... 0,1                        | leicht erhöht         | Aus Vorsorgegründen wird empfohlen, für eine<br>ausreichende Frischluftzufuhr zu sorgen. |
| > 0,1                               | deutlich erhöht       | Richtwert überschritten, Maßnahmen zur Reduktion<br>der Konzentration werden empfohlen   |

## 3.3 Schimmelpilzsporen in der Raumluft

### 3.3.1 Probenahme und Analytik der Untersuchung von Raumluft auf Schimmelpilzsporen

Die Probenahmen zur Untersuchung auf Hefe- und Schimmelpilzsporen erfolgten in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 10<sup>18</sup>. Als Vergleichswerte dienten aktuelle Messungen der Außenluft. Zur Bestimmung der Konzentration an koloniebildenden Einheiten kultivierbarer vitaler mesophiler Pilze in der Raum- oder Außenluft (im Folgenden vereinfachend auch als Sporenkonzentration bezeichnet) wurden pro Messpunkt drei Einzelbeprobungen mit je 100 Liter Sammelvolumen durchgeführt. Nach der Probenahme wurden die Nährmedien 3 bis 7 Tage bei 25 °C (±1 °C) bebrütet.

### 3.3.2 Beurteilungsgrundlagen für aerogene Schimmelpilzsporen

Beim Auftreten erhöhter Sporenkonzentrationen durch Quellen im Innenraum besteht die Gefahr, dass die regelmäßige Exposition gegenüber einer erhöhten Sporenmenge insbesondere für Allergiker sensibilisierend wirkt, und zwar spezifisch auf die im Lebensraum vorhandenen Schimmelpilzarten<sup>19</sup>. Eine Quelle von Mikroorganismen in Innenräumen kann aber auch für Nicht-Allergiker ein mögliches Gesundheitsrisiko bedeuten.

Die je nach Umfeld und Vegetationsperiode stark unterschiedliche Sporenbelastung der Außenluft beeinflusst auch die Grundkonzentration in Innenräumen. Erhöhte Sporenkonzentrationen in der Raumluft können durch Schimmelpilzbefall im Gebäudeinneren oder bei entsprechender Aktivität im Raum auch durch Aufwirbelung von Staub, der eine erhöhte Zahl an sedimentierten Sporen enthält, verursacht werden. Auch eine Kontamination mit Außenluft, die eine höhere Sporenmenge aufweist, kann zu einer Belastung der Raumluft führen, ohne dass dies ein Hinweis auf eine Schimmelpilzquelle im Innenraum wäre.

Als Bewertungs- und Orientierungshilfe für die durchgeführten Schimmelpilzuntersuchungen in der Raumluft wird auf das von der Innenraumlufthygienekommission des UBA Berlin herausgegebene Bewertungsschema zurückgegriffen, das abhängig von

<sup>18</sup> VDI 4300 Blatt 10 (2008): Messung von Innenraumverunreinigungen. Messstrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen in Innenräumen. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5: Analysen- und Messverfahren II, Juli 2008

<sup>19</sup> Gams (1998): Schimmelpilze in Innenräumen; Umwelt & Gesundheit Heft 4/1998, 9. Jahrgang

Konzentration und Artenzusammensetzung in der Innenraum- und Außenluft Hinweise auf das Vorhandensein einer Schimmelpilzquelle im Innenraum liefert <sup>20</sup>.

Tabelle 3.3.1: Festgelegtes Beurteilungsschema für Schimmelpilzsporen

| Aus der Schimmelpilzkonzentration im Innenraum verglichen mit der Außenluft folgt: | Verhältnis Außenluft - Innenraumluft                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Innenraumquelle unwahrscheinlich                                                   | unauffällig, Normalzustand                                 |
| Innenraumquelle nicht auszuschließen                                               | Indiz für Schimmelpilz-Quellensuche                        |
| Innenraumquelle wahrscheinlich                                                     | Indiz für kurzfristige intensive Schimmelpilz-Quellensuche |

## 3.4 Staubmilben-Allergene

### 3.4.1 Probenahme und Analytik der Untersuchung von Hausstaubproben

Im Rahmen der Untersuchung wurden Proben des sedimentierten Hausstaubs von Polstermöbeln, Matratze und/oder Teppichen entnommen und auf die Hausstaubmilben-Allergene Der p1 und Der f1 untersucht. Die Allergene wurden mittels ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) bestimmt.

### 3.4.2 Beurteilungsgrundlagen zu Hausstaubmilben-Allergenen

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt anhand der Beurteilungsrichtlinien des ELISA-Testkit-Herstellers (Indoor Biotechnologies Ltd. 2014).

Tabelle 3.4.1: Festgelegtes Beurteilungsschema für Allergene der Dermatophagoides-Milben <sup>a</sup>

| Summe Der p1 und Der p2 [µg/g] | qualitative Bewertung | Interpretation laut Beurteilungsrichtlinien                       |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| < 2                            | normal                | nicht ausreichend für das Auslösen allergischer Symptome          |
| 2 ... 10                       | leicht erhöht         | Risikofaktor für Sensibilisierung und bronchiale Hyperreaktivität |
| > 10                           | deutlich erhöht       | Risikofaktor für akute Asthmaanfälle                              |

<sup>a</sup> Allergengehalt in Mikrogramm Allergene pro Gramm Hausstaub [µg/g]

<sup>20</sup> UBA (2005): Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, UBA, Dessau

### 3.5 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

#### 3.5.1 Vorgangsweise und Methodik zur Untersuchung der CO<sub>2</sub>-Konzentration

Die kontinuierliche Bestimmung der Kohlendioxid-Konzentration wurde über etwa eine Woche Probenahmezeit mit einem Multifunktions-Messgerät durchgeführt.

#### 3.5.2 Beurteilungsgrundlagen für CO<sub>2</sub> als Lüftungsparameter

CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) ist ein guter Indikator für die durch den Menschen verursachte Raumlufbelastung. Bei 0,1 Vol% = 1000 ppm empfinden rund 20 % der Personen die Raumluf als unbefriedigend<sup>21</sup>. Bei ansteigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erhöht sich die Zahl der Personen, die die Luft als unbefriedigend empfinden, Konzentrations- und Leistungsfähigkeit nehmen ab. Bei zunehmender Konzentration an CO<sub>2</sub> steigt auch das Risiko, an Beschwerden des Sick-Building Syndroms zu erkranken. Bei höheren Werten erfüllt die Raumluf nach übereinstimmender Expertenmeinung nicht mehr die notwendigen hygienischen Anforderungen an saubere Raumluf. Erhöhte Konzentrationen entstehen bei Überbelegung von Innenräumen und unzureichender Belüftung sowie bei den meisten Verbrennungsvorgängen.

In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf werden Orientierungswerte für die Innenraumluf festgelegt<sup>22</sup>, die sich an die ÖNORM EN 13779<sup>23</sup> anlehnen. Aufgrund der Tatsache, dass keine definierten Grenzen für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit beeinträchtigende Konzentrationen vorliegen, sondern steigende Konzentrationen ab etwa 700 ppm Verschlechterungen der Raumlufqualität anzeigen, werden Kategorien gebildet, die die Luftqualität bezeichnen.

---

<sup>21</sup> Luftqualität in Innenräumen (1997) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287

<sup>22</sup> BMLFUW (2006): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluf am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe (Loseblattsammlung), aktuelle Fassung

<sup>23</sup> ÖNORM EN 13779 (2008): Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf lehnte sich an die Version der Norm aus dem Jahre 2005 an)

Tabelle 3.5.1: Klassifizierung der Innenraumluftqualität und Anforderungen an natürlich und mechanisch belüftete Gebäude in Hinblick auf CO<sub>2</sub> nach BMLFUW/ Österreichische Akademie der Wissenschaften bzw. ÖNORM EN 13779

| Beurteilungswert als CO <sub>2</sub> -Konzentration (absolut) | Beschreibung der Innenraum-Luftqualität nach BMLFUW/ Österreichische Akademie der Wissenschaften | Beschreibung der Innenraum-Luftqualität nach ÖNORM EN 13779 (2008) |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| < etwa 800 ppm                                                | Hohe Raumluftqualität                                                                            | Hohe Raumluftqualität (IDA 1)                                      |
| etwa 800 - 1000 ppm                                           | Mittlere Raumluftqualität                                                                        | Mittlere Raumluftqualität (IDA 2)                                  |
| etwa 1000 - 1400 ppm                                          | Mäßige Raumluftqualität                                                                          | Mäßige Raumluftqualität (IDA 3)                                    |
| etwa 1400 - 1900 ppm                                          | Niedrige Raumluftqualität                                                                        | Niedrige Raumluftqualität (IDA 4)                                  |
| > etwa 1900 ppm                                               | Sehr niedrige Raumluftqualität                                                                   |                                                                    |

| Mindest- und Zielvorgaben für dauernd von Menschen genutzte Innenräume als CO <sub>2</sub> -Konzentration (absolut) |                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| natürlich belüftete Innenräume                                                                                      | mechanisch belüftete Innenräume                                               |
| Zielbereich für die Innenraumluft kleiner als 1000 ppm                                                              | Zielbereich für die Innenraumluft kleiner als 800 ppm                         |
| Mindestvorgabe<br>Maximaler gleitender Stundenmittelwert kleiner als 1400 ppm                                       | Mindestvorgabe<br>Maximaler gleitender Stundenmittelwert kleiner als 1000 ppm |
| Mindestvorgabe<br>Alle Einzelwerte im Messzeitraum: kleiner als 1900 ppm                                            | Mindestvorgabe<br>Alle Einzelwerte im Messzeitraum: kleiner als 1400 ppm      |

Tabelle 3.5.2: Festgelegtes Beurteilungsschema für CO<sub>2</sub> (maximaler gleitender Stundenmittelwert)

| CO <sub>2</sub> [ppm] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                                                             |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 1000                | normal                | Mindestanforderungen laut Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft erfüllt, keine Maßnahmen erforderlich |
| 1000 ... 1400         | leicht erhöht         | Lüftungsverhalten überprüfen                                                                               |
| > 1400                | deutlich erhöht       | sehr niedrige Raumluftqualität, Lüftungssituation des Raumes überprüfen und verbessern                     |

## 3.6 Zuluftvolumenstrom

### 3.6.1 Vorgangsweise und Methodik zur Untersuchung des Zuluftvolumenstromes

Die Zuluftmenge wurde im Schlafzimmer bei der/den Zuluftöffnung(en) der kontrollierten Wohnraumlüftung anhand eines Volumenstrommessgerätes (testovent 417 bzw. FlowFinder-mk2) ermittelt.

Die Beurteilung der zugeführten Außenluftmenge im Schlafrum erfolgte unter Berücksichtigung der maximal angegebenen Personenbelegung. Sollten in der Nacht Schlafzimmertür bzw. -fenster geöffnet sein, spielt die Menge der über die Lüftungsanlage ins Schlafzimmer zugeführten Luftmenge eine untergeordnete Rolle, da Frischluft auch von außen bzw. vom Wohnbereich in den Schlafrum gelangt.

### 3.6.2 Richtwerte für den Zuluftvolumenstrom

Der hygienisch wünschenswerte personenbezogene Außenluftvolumenstrom liegt bei 20 - 25 m<sup>3</sup>/h im Schlafrum<sup>24</sup>.

Ein zu geringer Zuluftvolumenstrom führt zu einer niedrigen Raumlufthqualität, ein zu hoher vermindert die Raumlufthfeuchtigkeit und erhöht den Energie- und Wartungsbedarf der Lüftungsanlage.

Tabelle 3.6.1: Festgelegtes Beurteilungsschema für die zugeführte Außenluftmenge/Person für das Schlafzimmer

| Zugeführte Außenluftmenge/Person [m <sup>3</sup> /h] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                         |
|------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 18 - 28                                              | normal                | optimale Frischluftzufuhr                                              |
| < 18                                                 | zu niedrig            | zu geringe Frischluftzufuhr, Gefahr von zu niedriger Raumlufthqualität |
| > 28                                                 | zu hoch               | Gefahr von zu trockener Raumlufth, geringe Energieeffizienz            |

## 3.7 Radon

### 3.7.1 Probenahme und Analytik der Untersuchung der Raumlufth auf Radon

Die Messung erfolgte nach ÖNORM S 5280-1. Es wurden in drei unterschiedlichen Räumen je ein KODALPHA Radon-Dosimeter eingesetzt, der über ein Jahr der Raumlufth ausgesetzt wurde.

### 3.7.2 Beurteilungsgrundlagen für Radon

Die wichtigste Quelle von Radon ist der geologische Untergrund. Weitere mögliche Radonquellen sind vor allem Baumaterialien, aber auch Mineraliensammlungen, Leitungswasser oder Erdgas.

<sup>24</sup> Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich: Komfortlüftungen

Grenzwerte für die Belastung der Raumluft mit Radon in der Luft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Die österreichische Strahlenschutzkommission empfiehlt für Innenräume einen Planungsrichtwert von  $200 \text{ Bq/m}^3$ , der bei Planung und Bau neuer Wohnungen eingehalten werden soll, sowie einen Eingreifrichtwert von  $400 \text{ Bq/m}^3$ , bei dessen Überschreitung Sanierungsmaßnahmen empfohlen werden <sup>25</sup>.

Tabelle 3.7.1: Festgelegtes Beurteilungsschema für Radon

| Radon<br>[Bq/m <sup>3</sup> ] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 200                         | normal                | keine Maßnahmen erforderlich                                                                                      |
| 200 ... 400                   | leicht erhöht         | Einleitung einfacher Minderungsmaßnahmen<br>(z. B. vermehrtes Lüften)                                             |
| > 400                         | deutlich erhöht       | Aus Vorsorgegründen wird die Prüfung baulicher<br>Sanierungsmaßnahmen (z. B. Abdichten des Kellers)<br>empfohlen. |

### 3.8 Schall

#### 3.8.1 Vorgangsweise und Methodik zur Schallmessung

Die Schallmessung im Schlafräum wurde gemeinsam mit den anderen Untersuchungen im Rahmen der Studie tagsüber durchgeführt. Eine normgerechte Messung gemäß ÖNORM EN ISO 16032 (2004) würde einen niedrigeren Fremdgeräuschpegel (Nachtpegel) - gemessen über mindestens 30 Sekunden - erfordern. Aufgrund dieser nicht abänderbaren Messgegebenheiten wurde der normgerechte Pegel  $L_{A,eq,nT}$  im Raum mit und ohne laufender Lüftungsanlage bei verschiedenen Lüftungsstufen in der Nacht mit Hilfe des  $L_{A,95,nT}$  im Raum mit und ohne laufender Lüftungsanlage bei verschiedenen Lüftungsstufen am Tag bestimmt. Die Ergebnisse der so durchgeführten Schallmessung stellen unter der Voraussetzung, dass die Lüftungsanlage ein Dauergeräusch erzeugt – welches durch den Messtechniker auch meistens bestätigt wurde – den  $L_{A,eq,nT}$  in der Nacht dar.

#### 3.8.2 Richtwerte des Innenlärmpegels

Gemäß OIB Richtlinie 5 (Schallschutz) dürfen die Geräusche einer im Schlafräum vorhandenen mechanischen Lüftungsanlage, bezogen auf die lufthygienisch mindesterforderliche Betriebsart, einen äquivalenten Anlagengeräuschpegel  $L_{Aeq,nT}$  von 25 dB nicht überschreiten.

<sup>25</sup> Strahlenschutzkommission (1994) Empfehlungen der Strahlenschutzkommission betreffend Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen, in: Radon in Österreich 1993; Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Sektion III, Wien

Tabelle 3.8.1: Festgelegtes Beurteilungsschema für Schall

| Äquivalenter<br>Anlagengeräuschpegel<br>[dB] | qualitative Bewertung | Interpretation                                                                                  |
|----------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 25                                         | normal                | Die haustechnische Anlage entspricht den schalltechnischen Anforderungen.                       |
| 25 ... 30                                    | leicht erhöht         | Bei Beeinträchtigung des Wohlbefindens wird das Heranziehen eines Lüftungstechnikers empfohlen. |
| > 30                                         | deutlich erhöht       | Die Überprüfung der Anlage durch eine RLT-Fachfirma wird empfohlen.                             |

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse im Überblick

| Parameter                         | 1. Messung       |                      |                 | 2. Messung       |                      |                 |
|-----------------------------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|
|                                   | normal           | leicht erhöht        | deutlich erhöht | normal           | leicht erhöht        | deutlich erhöht |
| 1 VOC WZ                          |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| VOC SZ                            |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 2 Formaldehyd WZ                  |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| Formaldehyd SZ                    |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 3 Staubmilbenallergene            |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 4 CO <sub>2</sub> <sup>a</sup>    |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 5 Schall                          |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 6 Radon <sup>b</sup>              |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
|                                   |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
|                                   | Innenraumquelle  |                      |                 | Innenraumquelle  |                      |                 |
|                                   | unwahrscheinlich | nicht auszuschließen | wahrscheinlich  | unwahrscheinlich | nicht auszuschließen | wahrscheinlich  |
| 7 Schimmelpilze WZ                |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| Schimmelpilze SZ                  |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| Schimmelpilze LA                  |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
|                                   |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
|                                   | normal           | zu gering            | zu hoch         | normal           | zu gering            | zu hoch         |
|                                   |                  |                      |                 |                  |                      |                 |
| 8 Zugeführtes Außenluftvolumen SZ |                  |                      |                 |                  |                      |                 |

Legende:



Keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im niedrigen bzw. durchschnittlichen Bereich.



Die Werte liegen in einem leicht auffälligen Bereich bzw. überschreiten die durchschnittlichen Vorgaben für Innenraumluft oder weichen merkbar von üblichen Werten ab (siehe Kapitel "Methodik und Richtwerte").



Die Werte sind stark auffällig und/oder entsprechen nicht den innenraumklimatologischen Mindestvorgaben (siehe Kapitel "Methodik und Richtwerte")

WZ ... Wohnzimmer

SZ ... Schlafzimmer

LA ... Lüftungsauslass

<sup>a</sup> Maximaler Stundenmittelwert

<sup>b</sup> Die Gesamtbeurteilung der Radonkonzentration erfolgt aufgrund des höchsten gemessenen Wertes

## 4.2 Ausgewählte Ergebnisse im Detail

### Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

| Datum der Probenahme | 01.04.2011                   |                              | 23.03.2012                   |                              |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Raum/Messstelle      | Wohnzimmer                   | Schlafzimmer                 | Wohnzimmer                   | Schlafzimmer                 |
| Konzentration        | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
| Summe Aliphaten      | 31                           | 13                           | n.b.                         | n.b.                         |
| Summe Aromaten       | 110                          | 79                           | 6                            | n.b.                         |
| Summe Terpene        | 22                           | 15                           | n.b.                         | 4                            |
| <b>Gesamt VOC</b>    | <b>490</b>                   | <b>250</b>                   | <b>75</b>                    | <b>66</b>                    |

### Formaldehyd

| Datum der Probenahme | 01.04.2011                 |                            | 23.03.2012                 |                            |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Raum/Messstelle      | Wohnzimmer                 | Schlafzimmer               | Wohnzimmer                 | Schlafzimmer               |
| Konzentration        | [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] | [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] | [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] | [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] |
| <b>Formaldehyd</b>   | <b>0,023</b>               | <b>0,020</b>               | <b>0,014</b>               | <b>0,014</b>               |

### Staubmilbenallergene

| Datum der Probenahme | 01.04.2011                 | 23.03.2012                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Raum/Messstelle      | SZ und WZ                  | SZ und WZ                  |
| Konzentration        | [ $\mu\text{g}/\text{g}$ ] | [ $\mu\text{g}/\text{g}$ ] |
| Der p1               | 1,1                        | 2,2                        |
| Der f1               | 4,9                        | 2,2                        |
| <b>Summe</b>         | <b>6,0</b>                 | <b>4,4</b>                 |

### Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

| Beginn der Messung            | 02.11.2011   | 05.11.2012   |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| Raum/Messstelle               | Schlafzimmer | Schlafzimmer |
| Konzentration                 | [ppm]        | [ppm]        |
| <b>Max. Stundenmittelwert</b> | <b>790</b>   | <b>810</b>   |
| <b>CO<sub>2</sub>-Maximum</b> | <b>810</b>   | <b>830</b>   |

### Schall

| Datum der Messung      | 01.04.2011   | ---          |
|------------------------|--------------|--------------|
| Raum/Messstelle        | Schlafzimmer | Schlafzimmer |
| L <sub>Aeq,nT</sub>    | [dB]         | [dB]         |
| <b>ohne Lüftung</b>    | <b>13</b>    | <b>---</b>   |
| <b>Lüftungsstufe 1</b> | <b>16</b>    | <b>---</b>   |
| <b>Lüftungsstufe 2</b> | <b>20</b>    | <b>---</b>   |
| <b>Lüftungsstufe 3</b> | <b>23</b>    | <b>---</b>   |

### Radon

| Beginn der Messung | 01.04.2011           | 01.04.2011           | 01.04.2011           |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Raum/Messstelle    | Wohnzimmer           | Schlafzimmer         | Arbeitszimmer        |
| Konzentration      | [Bq/m <sup>3</sup> ] | [Bq/m <sup>3</sup> ] | [Bq/m <sup>3</sup> ] |
| <b>Radon</b>       | <b>20</b>            | <b>17</b>            | <b>14</b>            |

# Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

## Zuführtes Außenluftvolumen

|                                     |                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Datum der Messung                   | 01.04.2011          | 23.03.2012          |
| Raum/Messstelle                     | Schlafzimmer        | Schlafzimmer        |
| Menge                               | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /h] |
| <b>Zugeführtes Außenluftvolumen</b> | <b>25</b>           | <b>26</b>           |

n.b. ... nicht bestimmbar  
(Bestimmungsgrenze unterschritten)

## 9 Kontaktdaten

### **Projektleiter:**

DI Peter Tappler  
IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie  
Alserbachstraße 5/8  
1090 Wien  
Tel.nr. +43 (0)1 3192005  
Faxnr. +43 (0)1 3192005-50  
ibo@ibo.at  
[www.ibo.at](http://www.ibo.at)

### **Projektmitarbeiter:**

DI Ute Muñoz-Czerny  
DI Bernhard Damberger  
DI Claudia Schmöger

### **Projektpartner:**

Institut für Umwelthygiene, ZPH, MedUni Wien  
OA Assoz.-Prof. DI Dr. med. H.-P. Hutter  
Ao.Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi  
Mag. Anna Wanka  
Dr. Peter Wallner  
Dr. Hanns Moshhammer  
Brigitte Piegler

IG Passivhaus  
DI Herwig Hengsberger

AGES  
DI Dr. Wolfgang Ringer  
DI Gernot Wurm, BSc