

Norbert Fisch, Thomas Wilken, Caroline Fafflok  
Dirk Schwede, Hans Drexler, Eva Schulze  
Karoline Dietel, Bernd Wegener, Moritz Fedkenheuer  
Hélène Bangert, Tobias Lode

**Entwicklung von Methoden  
zur Erfassung und Bewertung  
von Nutzerzufriedenheit,  
Gebäudeperformance und  
Interaktion zwischen Wohngebäuden  
und Bewohnern**

F 3106

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0320-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00  
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)



## Endbericht

Entwicklung von Methoden zur Erfassung und  
Bewertung von Nutzerzufriedenheit, Gebäudeperfor-  
mance und Interaktion zwischen Wohngebäuden  
und Bewohnern

TU Braunschweig  
**Institut für Gebäude- und Solar-  
technik**

Mühlenpfordtstraße 23  
D-38106 Braunschweig

**Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch**

Tel. +49 (0) 531 391-3555  
Fax +49 (0) 531 391-8125

igs@tu-bs.de  
www.tu-braunschweig.de/igs

Förderkennzeichen: SWD - 10.08.18.7-15.58

Förderung durch: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raum-  
forschung



Fördernehmer: Technische Universität Braunschweig  
Institut für Gebäude- und Solartechnik  
Fakultät Architektur, Bauen, Umwelt  
Mühlenpfordtstraße 23  
38106 Braunschweig

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch

Laufzeit: 01.12.2015 – 01.06.2017 (verlängert bis  
31.10.2017)

Stand: 30.06.2018

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau  
des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumentwicklung gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Projektbearbeiter:	Technische Universität Braunschweig	Thomas Wilken
	Institut für Gebäude- und Solartechnik	Caroline Fafflok
	Fakultät Architektur, Bauen, Umwelt	
	Universität Stuttgart	Dr. Dirk Schwede
	Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren	
	DGJ Architektur GmbH	V. Prof. Hans Drexler
	Berliner Institut für Sozialforschung GmbH	Dr. Eva Schulze
		Karoline Dietel
	Humboldt Universität zu Berlin GeSK	Prof. Dr. Bernd Wegener
	Survey Research & Evaluation	Moritz Fedkenheuer
AktivPlus e.V.	Hélène Bangert (bis 11/2016)	
Beibob Medienfreunde	Tobias Lode	

### Gender-Hinweis

In diesem Bericht wurden zur besseren Lesbarkeit und Optik lediglich die männliche Form eines Begriffs („Bewohner“, „Mieter“ etc.) verwendet. Selbstverständlich bezieht sich der jeweilige Begriff auf weibliche und männliche Personen.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung und Ausgangslage .....	5
2.	Projektbeschreibung.....	5
3.	Ziel .....	5
4.	Auswahl des Untersuchungsgegenstandes .....	6
5.	Methodisches vorgehen .....	6
5.1.	Dimension 1: Gebäudeeigenschaften / Prognose und Sollwerte .....	7
5.2.	Dimension 2: Bauphysik und Raumklima .....	28
5.3.	Dimension 3: Nutzerkomfort .....	31
6.	Durchführung .....	37
6.1.	Vorbereitung der Datenerhebung .....	37
6.1.1.	NETATMO Messgeräte.....	37
6.1.2.	Software zur Datenerhebung – Der NETATMO Datenkollektor .....	39
6.1.3.	Grundlagen für die Konfiguration des Fragekatalogs.....	40
6.1.4.	Benutzeroberfläche für die Durchführung der Nutzerbefragung.....	41
6.1.5.	Rekrutierung der Teilnehmer.....	41
6.2.	Datenerhebung .....	43
6.2.1.	Gebäudedaten .....	43
6.2.2.	Nutzerbefragung .....	43
6.2.3.	Erhebung der raumklimatischen Messdaten.....	46
6.2.4.	Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) .....	48
6.3.	Datenverarbeitung.....	49
6.3.1.	Normalisierung der Messdaten.....	49
6.3.2.	Datenaggregation.....	50
	Bildung von Tagesdurchschnittswerten und –Extrema .....	51
	Bildung des laufenden Mittels und Extrema für die Zeiträume von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer .....	51
	Bildung der Anzahl der Viertelstunden-Messungen für Temperatur und Zeitraum von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer .....	51
6.4.	Export der Befragungs- und Messdaten .....	51
6.4.1.	Export von Haushaltsdaten .....	51
6.4.2.	Export pro Gerät, Haushalt und Befragung in separaten Dateien .....	51
6.4.3.	Export der Messdaten für Befragungszeitpunkte in einer Datei .....	51
7.	Auswertung .....	52
7.1.	Vergleich Gebäudekennwerte (Planung) gemessene Werte Bauphysik .....	52
7.1.1.	Innenraumlufttemperaturen .....	52
7.1.2.	Innenraumluftqualitäten (CO <sub>2</sub> -Konzentration).....	59
7.2.	Vergleich der gemessenen Bauphysik und Raumklima Werte zu subjektiver Wahrnehmung der Nutzer .....	62

7.2.1.	Auswertung des Gesamtdatensatzes .....	62
7.2.2.	Vergleich der Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18 .....	65
7.2.3.	Beziehung der Befragungsantworten zu den gemessenen Raumklimadaten .....	70
7.3.	Gebäudeperformance aus Nutzersicht .....	73
7.3.1.	Auswertung des Gesamtdatensatzes .....	74
7.3.2.	Vergleich der Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18 .....	75
7.3.3.	Subjektive Temperaturperformance im Winter nach Gebäudemerkmale .....	78
7.3.4.	Subjektive Temperaturperformance im Sommer nach Gebäudemerkmale .....	84
7.3.5.	Subjektive Luftqualität nach Gebäudemerkmale .....	88
7.3.6.	Vergleich der subjektiven Gebäudeperformance nach Raumklima-Gruppen .....	93
8.	Diskussion der Ergebnisse / Vergleich der Dimensionen .....	95
8.1.	Vergleich „Temperatur im Winter“, gemessen und empfunden .....	98
8.2.	Vergleich „Temperatur im Sommer“, gemessen und empfunden .....	98
8.3.	Vergleich „Luftqualität“, gemessen und empfunden .....	99
8.4.	Multi-Faktoren-Auswertung .....	99
9.	Gesamtauswertung und Fazit .....	100
9.1.	Methodisches Fazit .....	100
9.1.1.	Fallzahl .....	100
9.1.2.	Auswahl der Beispiel-Gebäude .....	100
9.2.	Methodik der Messung und Auswertung .....	101
9.2.1.	Dimension 1: Planung und Simulation .....	101
9.2.2.	Dimension 2: Physikalische Messung .....	103
9.2.3.	Dimension 3: Befragung .....	104
9.2.4.	Wohndauer und Gewöhnungseffekt .....	106
9.2.5.	Einfluss von Bewohnermerkmalen und Nutzertypen .....	107
10.	Übertragbarkeit und Transfer .....	108
10.1.	Forschungsfrage .....	108
10.2.	Übertragbarkeit und Transfer .....	108
10.3.	Ausblick .....	109
11.	Quellen und Literaturverzeichnis .....	111
12.	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis .....	111
13.	Anhang .....	116
13.1.	Fragebogen .....	116
13.2.	Einverständniserklärung zur Teilnahme .....	138
13.3.	Teilnahmeerklärung .....	140
13.4.	Informationsblatt zur Befragung .....	142
13.5.	Haushaltsdaten in CSV-Dokument mit Teilnehmerprofildaten .....	145
13.6.	Datenexport pro Gerät, Haushalt und Befragung .....	147
13.7.	Struktur des Exports der Messdaten für die Befragungszeitpunkte .....	151

## 1. EINFÜHRUNG UND AUSGANGSLAGE

Meistens stützt sich die Bewertung von Gebäuden nur auf einseitige quantitative Berechnung von bauphysikalischen Werten während der Planungsphase. In nur wenigen Fällen werden diese prognostizierten Werte im Nachgang durch eine Messung in Form eines Monitorings verifiziert und in den allerwenigsten Fällen wird eine Nutzerbefragung zur Feststellung der Zufriedenheit der Nutzer durchgeführt. Für Eigentümer ist die Kontrolle der Gebäudeperformance in der Nutzungsphase dahingehend interessant, dass dadurch Informationen über die Gebrauchstauglichkeit, das Betriebsverhalten, den Energieverbrauch und die Nutzerzufriedenheit erhoben werden. Die Nutzerzufriedenheit kann als Indikator für die Akzeptanz eines Gebäudes herangezogen werden (Voss, K.; Herkel, S.; et al, 2016).

## 2. PROJEKTBE SCHREIBUNG

Gebäude sind nicht nur technische Einrichtungen, sondern das Lebensumfeld von Menschen. Diese nehmen ihre gebaute Umwelt sehr unterschiedlich wahr und reagieren individuell auf sie. Die Interaktion zwischen Gebäude und Mensch lässt sich deswegen nicht allein über quantitative, bauphysikalische Merkmale beschreiben, sondern bedarf einer nutzerbasierten Analyse.

Die Komplexität der modernen Gebäudetechnik ist für viele Nutzer eine Herausforderung. Ein erfolgreicher Betrieb der Gebäude kann nur gelingen, wenn die Nutzer informiert und integriert werden.

## 3. ZIEL

Ziel dieses Projekts ist es, den Nutzerkomfort von Wohngebäuden zu vergleichen. Hierzu wird ein allgemein anwendbares Messinstrument entwickelt, das sich auf den Vergleich der Nutzerbewertungen mit dem berechneten und in den Gebäuden gemessenen Innenraumklima stützt.

Um das Messinstrument mit möglichst geringem Aufwand einsetzen zu können, wird es in einer Online-Plattform operationalisiert. Diese kann auf Computern und Tablets bedient werden und erlaubt die mehrdimensionale Erfassung der Nutzererfahrung mit dem Gebäude und dessen Innenraumklima.

Das Online-Tool, erfasst zudem physikalische Behaglichkeitsaspekte der Gebäude, so dass sich diese mit den subjektiven Angaben der Nutzer in Beziehung setzen lassen. Ziel ist dabei, ein System, das einen niederschweligen Einstieg für Gebäude ohne zusätzliche Monitoring-Technik zu entwickeln, welches aber auch skalierbar ist und genauso die Einbindung von komplexer, automatischer Messtechnik ermöglicht.

In dem vorliegenden „Forschungsprojekt zur Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Bewertung von Nutzerzufriedenheit, Gebäudeperformance und Interaktion zwischen Wohngebäuden und Bewohnern“ soll ein Werkzeug entwickelt werden, das eine einfache aber präzise Auswertung der Nutzerangaben, aber auch der technischen Messwerte erzeugt und einen Vergleich der beiden Datengruppen ermöglicht, um dann in der Praxis verwendbar zu sein.

Dazu werden vorhandene Werkzeuge und unterschiedliche Methoden der Beschreibung und Prognose des Nutzerkomforts parallel eingesetzt, um Soll-Werte aus der Planung in drei

Dimensionen – den Gebäudeeigenschaften, dem Innenraumklima und dem Nutzerkomfort – zu erheben und mit ihren Ist-Werten aus dem Betrieb zu vergleichen. Zusätzlich werden im Anschluss die drei Dimensionen untereinander verknüpft bzw. miteinander verglichen.

#### **4. AUSWAHL DES UNTERSUCHUNGSGEGENSTANDES**

Untersuchungsgegenstand waren rund 100 Wohneinheiten in Gebäuden unterschiedlichen Baualters und Energiestandards. Um diese zu finden und den Aufwand in Maßen zu halten, war das Ziel mit einigen wenigen Wohnungsbaugesellschaften zu kooperieren. Dabei fiel nach umfangreichen Recherchen und Gesprächen mit verschiedenen Wohnungsbaugesellschaften die Wahl auf die Nassauische Heimstätte in Frankfurt und die Vonovia in Berlin. So konnten die Wege kurz und der logistische sowie der Reiseaufwand gering gehalten werden. Vorgabe der Wohnungsbaugesellschaften war es, den Betriebsablauf nicht zu stören und die personellen Kapazitäten der Wohnungsbaugesellschaften nicht zu überstrapazieren.

Da – bis auf das Projekt Riedberg, bei dem die Nassauische Heimstätte Eigentümer ist – die Gebäude alle älteren Bauklassen und maximal der notwendigen Energieeinsparverordnung angehören, wurden noch einzelne Projekte hinzugezogen, die im Bereich des Passivhauses bis zum Effizienzhaus Plus Standard liegen. (vgl. 5-1. Tabelle der teilnehmenden Gebäude und 6.1.3 Rekrutierung der Teilnehmer).

#### **5. METHODISCHES VORGEHEN**

Aufgrund der durch Messungen und Befragungen entstehenden großen Datenmenge wurden vorab signifikante Parameter ausgewählt, die untersucht werden. Dadurch wurden die Parameter auf ein notwendiges und angemessenes Maß reduziert.

Im Detail werden folgende Parameter, die für die Behaglichkeit und das Well-being im Wohnen relevant sind, sowohl in physikalischer als auch in psychosozialer Hinsicht erfasst:

- Thermischer Komfort
  - Raumtemperatur (Sommer und Winter)
  
- Raumlufthqualität
  - Luftfeuchtigkeit
  - CO<sub>2</sub>-Gehalt
  - Belüftung (natürlich oder maschinell)
  
- Allgemeine Wohnzufriedenheit
- Wahrgenommene Handlungsmöglichkeiten

Auf der anderen Seite werden die für die Performance relevanten Faktoren erfasst bzw. gemessen. Dazu gehören:

- Wetterdaten

Die vorgenannten Parameter werden in den folgenden drei Dimensionen der Gebäudeperformance analysiert:

1. die Gebäudeeigenschaften
2. die bauphysikalischen Werte und das sich daraus ergebende Raumklima
3. den Nutzerkomfort

Unter Soll werden die Instrumente dargestellt, die im Planungsprozess dazu dienen die Zielwerte zu berechnen. Ist-Werte stellen den Status quo dar und werden durch Messungen und Befragungen erhoben.

Dimension	Soll (Berechnungen / Simulationen)	Ist (Messungen / Befragungen)
Gebäudeeigenschaften	Berechnungen, EnEV-Nachweis, Benchmarks aus DIN-Normen	Eingaben Nutzer
Bauphysik / Raumklima	Simulationen, gesetzliche Vorgaben, Benchmarks aus DIN-Normen	Monitoring, NETATMO-Messungen (vgl. 6.1.1)
Nutzerkomfort	Nutzerzufriedenheit	Nutzerbefragung

### 5.1. Dimension 1: Gebäudeeigenschaften / Prognose und Sollwerte

99 Wohneinheiten in 19 Gebäuden unterschiedlichen Standards wurden vergleichend untersucht.

Informationen zur Lüftungsanlage, der Heizung und zur Verschattung wurden im letzten Fragebogen erhoben, weil diese nicht aus den Energieausweisen hervorgehen und auf diesem Weg schnell zu erlangen waren.

Unter den 19 Gebäuden (vgl. Tabelle 5-1: Gebäudesteckbriefe) finden sich vier sanierte Objekte (Gebäude 1,2,10 und 11) und 15 Neubauten. Die sanierten Gebäude wurden zwischen 1955 und 1977 errichtet und wurden – bis auf eins – nach jeweils geltender Energieeinsparverordnung (EnEV) zwischen 2000 und 2015 saniert. Alle Wohneinheiten dieser Gebäude werden mit fossilen Brennstoffen über Heizkörper beheizt und über die Fenster belüftet. Die Neubauten wurden zwischen 2003 und 2015 erbaut. Unter ihnen finden sich sechs Gebäude im Passivhausstandard, zwei im Effizienzhaus Plus-Standard und sechs in den KfW-Standards 40, 55 oder 70. Die übrigen zwei Neubauten weisen entweder keinen spezifischen Standard auf oder diese Information liegt nicht vor.

Tabelle 5-1: Gebäudesteckbriefe

Gebäude 1	
	<b>Eigentümer / Bauherr</b> Vonovia SE
	<b>Baujahr / Sanierungsjahr</b> 1962 / 2012
	<b>Liegenschaft</b> Teltower Damm 138 bis 148, Berlin
	<b>Anzahl der Wohneinheiten</b> 43
	<b>Teilnehmende Wohneinheiten</b> 5
	<b>Energiestandard</b> EnEV 2009
	<b>Hüllqualität [W/m²K]</b> 0,41
	<b>Endenergiebedarf [kWh/m²a]</b> 77,0
	<b>Primärenergiebedarf [kWh/m²a]</b> 101,0
	<b>Energieträger</b> Heizwerk fossil
<b>Heizungsart</b> Heizkörper	
<b>Lüftungskonzept</b> Fensterlüftung	
<b>Warmwasserbereitstellung</b> dezentral	
<b>Sonnenschutz außen</b> Teilweise vorhanden: Rollläden	

**Gebäude 2**



**Eigentümer / Bauherr**

Vonovia SE

**Baujahr / Sanierungsjahr**

1977 / 2000

**Liegenschaft**

Rudolf-Seiffert-Straße 6 und 15, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

88

**Teilnehmende Wohneinheiten**

5

**Energiestandard**

EnEV 2017

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,59

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

69,4

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

50,3

**Energieträger**

Heizwerk fossil

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Fensterlüftung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 3**



**Eigentümer / Bauherr**

Baugemeinschaft Tempelhofer Berg

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2012

**Liegenschaft**

Schwiebusser Str. 42-44, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

45

**Teilnehmende Wohneinheiten**

6

**Energiestandard**

KfW 55

**Hüllqualität [W/m²K]**

k.A.

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Energieträger**

Gas-Absorptions-Sole/Wasser-Wärmepumpe  
mit Erdsondenfeld

**Heizungsart**

Fußbodenheizung

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

Vorhanden: Schiebeläden und Rollläden

**Gebäude 4**



**Eigentümer / Bauherr**

LaVidaVerde GmbH

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2014

**Liegenschaft**

Sophienstraße 35, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

18

**Teilnehmende Wohneinheiten**

<10

**Energiestandard**

Effizienzhaus Plus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,24

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

20,0

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

23,0

**Energieträger**

Solarstrom, Luft/Wasser WP, Holzpellets

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

Zentral (thermischer Speicher)

**Sonnenschutz außen**

Keinen

## Gebäude 5



### Eigentümer / Bauherr

Planungs- und Baugemeinschaft  
"Friesennerze" Berlin

### Baujahr / Sanierungsjahr

2011

### Liegenschaft

Friesenstr. 15b, Berlin

### Anzahl der Wohneinheiten

24

### Teilnehmende Wohneinheiten

13

### Energiestandard

EnEV 2009

### Hüllqualität [W/m²K]

0,45

### Endenergiebedarf [kWh/m²a]

79,80

### Primärenergiebedarf [kWh/m²a]

44,10

### Energieträger

Erdgas BHKW, 100% KWK, Strom

### Heizungsart

Fußbodenheizung

### Lüftungskonzept

Abluftanlage mit AC-Ventilator, passive Zuluft-  
elemente

### Warmwasserbereitstellung

zentral

### Sonnenschutz außen

Teilweise vorhanden: einige Rollläden

**Gebäude 6**



**Eigentümer / Bauherr**  
Werkpalast Lichtenberg (Selbstbau eG)

**Baujahr / Sanierungsjahr**  
2010

**Liegenschaft**  
Alfred-Jung-Str. 6-8, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**  
20

**Teilnehmende Wohneinheiten**  
6

	<b>Energiestandard</b> KfW 70
	<b>Hüllqualität [W/m²K]</b> k.A.
	<b>Endenergiebedarf [kWh/m²a]</b> k.A.
	<b>Primärenergiebedarf [kWh/m²a]</b> k.A.
	<b>Energieträger</b> Fernwärme / PV-Strom
	<b>Heizungsart</b> Heizkörper
	<b>Lüftungskonzept</b> Passive Zuluft (Zuluftelemente) und zentrale Abluft
	<b>Warmwasserbereitstellung</b> zentral
	<b>Sonnenschutz außen</b> Teilweise vorhanden: Rollläden

**Gebäude 7**



**Eigentümer / Bauherr**

Barceloneta GbR mbH

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2012

**Liegenschaft**

Schwiebusser Str. 46/ Friesenstr. 15,  
Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

24

**Teilnehmende Wohneinheiten**

2

**Energiestandard**

KfW 70

**Hüllqualität [W/m²K]**

k.A.

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Energieträger**

k.A.

**Heizungsart**

Fußbodenheizung

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

k.A.

**Sonnenschutz außen**

k.A.

**Gebäude 8**



**Eigentümer / Bauherr**

Baugruppe K20

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2008

**Liegenschaft**

Kreutziger Str. 20, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

9

**Teilnehmende Wohneinheiten**

1

**Energiestandard**

EnEV 2007, KfW 40

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,44

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

58

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

38

**Energieträger**

Strom-Mix, Kraft-Wärme-Kopplung fossil,  
Heizwerk fossil

**Heizungsart**

Fußbodenheizung und Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Fensterlüftung; Abluft Bad

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

vorhanden

**Gebäude 9**



**Eigentümer / Bauherr**

genowo Genossenschaft für Wohnprojekte eG

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2011

**Liegenschaft**

Lausitzerstraße 38, Berlin

**Anzahl der Wohneinheiten**

13

**Teilnehmende Wohneinheiten**

2

**Energiestandard**

KfW 55

**Hüllqualität [W/m²K]**

k.A.

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Energieträger**

Fernwärme

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

Teilweise vorhanden: Rollläden

**Gebäude 10**



**Eigentümer / Bauherr**

Nassauische Heimstätte Wohnungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

**Baujahr / Sanierungsjahr**

1963 / 2014

**Liegenschaft**

Max-Eyth-Straße 40-42; 44-46; 48-52; 54-56, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

88

**Teilnehmende Wohneinheiten**

1

**Energiestandard**

EnEV 2013

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,44

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

58,6

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

76,7

**Energieträger**

Erdgas, solare Unterstützung der Warmwasserbereitung

**Heizungsart**

k. A.

**Lüftungskonzept**

Fensterlüftung

**Warmwasserbereitstellung**

k. A.

**Sonnenschutz außen**

k. A.

**Gebäude 11**



**Eigentümer / Bauherr**

Nassauische Heimstätte Wohnungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

**Baujahr / Sanierungsjahr**

1955 / 2015

**Liegenschaft**

Vatterstraße 31-35; 37; 38-41, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

60

**Teilnehmende Wohneinheiten**

2

**Energiestandard**

Kein Standard

**Hüllqualität [W/m²K]**

1,3

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

180,9

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

200,4

**Energieträger**

Erdgas

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Fensterlüftung; Abluft Bad

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 12**



**Eigentümer / Bauherr**

Wohnungsbaugenossenschaft in Frankfurt am Main e.G.

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2010

**Liegenschaft**

Breuerwiesenstraße 23, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

16

**Teilnehmende Wohneinheiten**

2

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,2

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

29,7

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

34,8

**Energieträger**

Erdgas, Fernwärme, Kraft-Wärme-Kopplung fossil

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

dezentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 13**



**Eigentümer / Bauherr**

Fundament Wohnen und Leben eG

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2016

**Liegenschaft**

Hortensienring 131 bis 133, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

12

**Teilnehmende Wohneinheiten**

4

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,18

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

30

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

12

**Energieträger**

Kraft-Wärme-Kopplung

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 14**



**Eigentümer / Bauherr**

Wohnbaugenossenschaft in Frankfurt am Main e.G., Wohnprojekt auf dem Naxosgelände

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2013

**Liegenschaft**

Waldschmidtstraße 27 / Wittelsbacher Allee 29, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

9

**Teilnehmende Wohneinheiten**

7

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,22

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

20,4

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

26,2

**Energieträger**

Gas-Brennwertkessel, Solarthermie

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

Vorhanden: Rollläden

**Gebäude 15**



**Eigentümer / Bauherr**

Baugenossenschaft Schnelle Kelle eG,  
Wohnprojekt auf dem Naxosgelände

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2013

**Liegenschaft**

Waldschmidtstr. 25, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

9

**Teilnehmende Wohneinheiten**

2

**Energiestandard**

k.A.

**Hüllqualität [W/m²K]**

k.A.

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

k.A.

**Energieträger**

Gas

**Heizungsart**

Fußbodenheizung

**Lüftungskonzept**

Fensterlüftung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 16**



**Eigentümer / Bauherr**

Nassauische Heimstätte Wohnungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2015

**Liegenschaft**

Graf-von-Stauffenberg-Allee 57, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

17

**Teilnehmende Wohneinheiten**

7

**Energiestandard**

Effizienzhaus Plus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,27

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

25,7

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

61,8

**Energieträger**

Solarstrom, Wärmepumpe mit Eisspeicher

**Heizungsart**

Fußbodenheizung

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

Zentral, thermischer Speicher

**Sonnenschutz außen**

Vorhanden: Rollläden

**Gebäude 17**



**Eigentümer / Bauherr**

Baugruppe Ostend

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2011

**Liegenschaft**

Hanauer Landstraße 18, Frankfurt

**Anzahl der Wohneinheiten**

12

**Teilnehmende Wohneinheiten**

4

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,29

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

38,4

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

37,4

**Energieträger**

Erdgas, Strommix und Solarthermie

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 18**



**Eigentümer / Bauherr**

Wohnsinn Bau- und Wohngossenschaft eG,  
WohnSinn 1

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2003

**Liegenschaft**

Elisabeth-Selbert-Str. 10 und 10 A, Darmstadt

**Anzahl der Wohneinheiten**

39

**Teilnehmende Wohneinheiten**

12

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

**Energieträger**

Fernwärme, Solarthermie

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

**Gebäude 19**



**Eigentümer / Bauherr**

Wohnsinn Bau- und Wohngenossenschaft eG,  
WohnSinn 2

**Baujahr / Sanierungsjahr**

2008

**Liegenschaft**

Erika-Köth-Weg 2 / Anna-Beyer-Weg 2 Darm-  
stadt

**Anzahl der Wohneinheiten**

34

**Teilnehmende Wohneinheiten**

8

**Energiestandard**

Passivhaus

**Hüllqualität [W/m²K]**

0,24

**Endenergiebedarf [kWh/m²a]**

49,25

**Primärenergiebedarf [kWh/m²a]**

42,7

**Energieträger**

Fernwärme aus KWK (70 % KWK)

**Heizungsart**

Heizkörper

**Lüftungskonzept**

Lüftungsanlage

**Warmwasserbereitstellung**

zentral

**Sonnenschutz außen**

keinen

In der folgenden Tabelle werden ausgewählte Bewohnermerkmale differenziert nach Gebäuden dargestellt. Dies soll einen groben Überblick vermitteln, wie sich die Bewohnerschaft (genauer Teilnehmerschaft) in den verschiedenen Untersuchungsobjekten (Gebäuden) zusammensetzt. Zur Wahrung des Datenschutzes werden lediglich Gebäude mit mehr als acht teilnehmenden Bewohnern abgebildet und auf Informationen zum sozioökonomischen Status (z.B. Bildung, Einkommen) verzichtet.

Tabelle 5-2 ausgewählte Bewohnermerkmale (nur Teilnehmer) differenziert nach Gebäuden

		Gebäude 4	Gebäude 5	Gebäude 14	Gebäude 16	Gebäude 18	Gesamt
Geschlecht	<b>Frau</b>	10 83%	10 63%	2 22%	2 22%	10 63%	34 55%
	<b>Mann</b>	2 17%	6 38%	7 78%	7 78%	6 38%	28 45%
Geburtsjahr	<b>1980 - 2000</b>	2 17%	0 0%	1 11%	5 56%	0 0%	8 13%
	<b>1950 - 1979</b>	8 67%	8 50%	8 89%	4 44%	12 75%	40 65%
	<b>1900 - 1949</b>	2 17%	8 50%	0 0%	0 0%	4 25%	14 23%
Einzugsdatum		2014	2012 und 2013	2014	2015 und 2016	2003 (67%) bis 2011	

## 5.2. Dimension 2: Bauphysik und Raumklima

Die bauphysikalische und raumklimatische Dimension der Betrachtung beruht auf in der Planungsphase angenommenen physikalischen Parametern des Raumes und des Raumklimas und auf während der Betriebsphase in den bewohnten Räumen gemessenen Werten.

Dabei wird darauf geachtet, dass der Übergang zwischen der Planungsphase und Betriebsphase weitgehend durchgängig ist, so dass die Bewertungsmodelle sowohl in der Planung unterstützend und in der Betriebsphase direkt zur Überprüfung der Planungsziele herangezogen werden können. Weiterhin ist es das Ziel dieser Dimension parallel zu der Dimension „Nutzerkomfort“, Aussagen zur Innenraumqualität aus den gemessenen Daten abzuleiten.

Für die Betrachtung stehen neben den Planungsdaten in der Betriebsphase die Messwerte der NETATMO-Geräte zur Verfügung. Folgende Messwerte werden kontinuierlich (15min Intervall) erhoben: Innenraumlufttemperatur  $T_{i,NETATMO}$  [°C], relative Luftfeuchte  $RH_{i,NETATMO}$  [%], CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft  $CO_{2i,NETATMO}$  [ppm]. Zusätzlich werden für die Orte der betrachteten Gebäude Klimadaten von externen Quellen herangezogen, aus diesem Datensatz wird die Außenlufttemperatur für die folgenden Berechnungen entnommen  $T_{o,Wetterstation}$  [°C].

Die Daten werden in 15min Intervallen erhoben und kontinuierlich zusammengeführt. Folgende Modelle werden angewandt, um die Daten in nutzbare Informationen zu überführen:

Tabelle 5-3: CO<sub>2</sub>-Konzentration Grenzwert

CO <sub>2,WL</sub>	[ppm]	Warnstufe, CO <sub>2</sub> -Gehalt im Innenraum	z.B. 1000 ppm nach Pettenkofer, Richtwerte in DIN EN 13779:2007-09 oder ASR3.6 für Nichtwohngebäude, oder DIN EN 15251
CO <sub>2,CL</sub>	[ppm]	kritisches Level, CO <sub>2</sub> -Gehalt im Innenraum	z.B. 1400 ppm nach Pettenkofer, Richtwerte in DIN EN 13779:2007-09 oder ASR3.6 für Nichtwohngebäude, oder DIN EN 15251
CO <sub>2,i NETATMO</sub>	[ppm]	CO <sub>2</sub> -Gehalt im Innenraum	Messung durch NETATMO-Station
Fragen zur Raumluftqualität (Auswertung der Fragen siehe Übersicht der Variablen: N_Q1_W bis N_Q2_W)	[5-stufige Skala]	Auswertung der Hauptbefragung	Fragebogen

Legende



Planung. Annahmen



Messungen



Nutzerbefragung

Tabelle 5-4: Komfortbereich – Temperatur und Feuchtigkeit

	$T_{spw}$	[°C]	Solltemperatur (untere Grenze)	z.B. nach DIN EN 15251, Tab. A3
	$T_{sp S}$	[°C]	Solltemperatur (obere Grenze)	z.B. nach DIN EN 15251, Tab. A3
	$T_{i,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	$RH_{sp w}$	[%]	Sollwert relative Luftfeuchtigkeit (untere Grenze)	z.B. nach DIN EN 15251, Tab. B6
	$RH_{sp S}$	[%]	Sollwert relative Luftfeuchtigkeit (obere Grenze)	z.B. nach DIN EN 15251, Tab. B6
	$RH_{i, NETATMO}$	[%]	relative Luftfeuchtigkeit	Messung durch NETATMO-Station
	$AH_{sp w}$	[g/kg]	Sollwert Luftfeuchtigkeit (untere Grenze)	
	$AH_{sp S}$	[g/kg]	Sollwert Luftfeuchtigkeit (obere Grenze)	12g/kg, nach DIN EN 15251, Abs. B3
	$AH = 0,622 \times RH / 100 \times PS / (P - RH / 100 \times PS) \times 1000$	[g/kg]		
	$PS(T < ^\circ C) = 610,714 \times \text{EXP}(22,44294 \times T / (T + 272,44))$ $PS(T > ^\circ C) = 610,78 \times \text{EXP}(17,08085 \times T / (T + 234,175))$	[Pa]	Wasserdampfsättigungsdruck	
	$T_{i,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	P	[Pa]	Luftdruck (Außenwetterstation)	Klimadaten
	$T_{i,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	$RH_{i, NETATMO}$	[%]	relative Luftfeuchtigkeit	Messung durch NETATMO-Station
	Fragen zum thermischen Komfort (Auswertung der Fragen siehe Übersicht der Variablen: N_T1_W bis N_T4_S)	[7-stufige Skala]	Auswertung der Hauptbefragung	Fragebogen
	Fragen zur Innenraumluftqualität (Auswertung der Fragen siehe Übersicht der Variablen: N_F1_W bis N_F3_S und)	[7-stufige Skala]	Auswertung der Hauptbefragung	Fragebogen

Tabelle 5-5: Modell thermischer Behaglichkeit – Fanger Modell

	PVM (berechnete Befragung zum Komfort, detaillierter Vergleich in DIN ISO 7730)	[-]	Prognose Hauptbefragung [-3...0...3]	nach DIN ISO 7730
	CLO (aus Befragung oder Annahme)	[clo]	Kleidungsebene	nach DIN ISO 7730
	ACT (aus Befragung oder Annahme)	[act]	Aktivitätsebene	nach DIN ISO 7730
	$T_{i,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	$T_{iR} = T_{i,NETATMO}$	[°C]	Strahlungstemperatur (Lufttemperatur)	
	$T_{o,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	$R_{Hi, NETATMO}$	[%]	relative Luftfeuchtigkeit	
	AV	[m/s]	Luftgeschwindigkeit/Schätzung	0,1 m/s
	PVM (Auswertung der Fragen siehe Übersicht der Variablen: N_T1_W bis N_T4_S)	[7-stufige Skala]	Auswertung der Hauptbefragung	Fragebogen

Tabelle 5-6: adaptives Komfortmodell - Temperatur

	$T_{i,NETATMO}$	[°C]	Innenraumtemperatur	Messung durch NETATMO-Station
	$T_{LL}(T_{RM}<15^{\circ}C)$ $= 0,33 \times 15 + 18,8 - T_{exp}$ $T_{LL}(T_{RM}>15^{\circ}C \ \&\& \ T_{RM}<30^{\circ}C)$ $= 0,33 \times T_{RM} + 18,8 - T_{exp}$ $T_{LL}(T_{RM}>30^{\circ}C)$ $= 0,33 \times 30^{\circ}C + 18,8 - T_{exp}$	[°C]	unterer Grenzwert der anpassungsfähigen Innenraumtemperatur	Nach DIN EN 15251
	$T_{RM} = f(\text{Zeitabfolge } T_{o,Wetterstation})$	[°C]	laufende Außentemperatur	
	$T_{o,Wetterstation}$	[°C]	Außenlufttemperatur	Klimadaten
	$T_{exp}$	[K]	Temperaturdifferenz zur Bestimmung der Erwartung	
	$T_{UL}(T_{RM}<10^{\circ}C)$ $= 0,33 \times 15 + 18,8 + T_{exp}$ $T_{UL}(T_{RM} >10^{\circ}C \ \&\& \ T_{RM}<30^{\circ}C)$ $= 0,33 \times T_{RM} + 18,8 + T_{exp}$ $T_{UL}(T_{RM} >30^{\circ}C)$ $= 0,33 \times 30^{\circ}C + 18,8 + T_{exp}$	[°C]	oberer Grenzwert der anpassungsfähigen Innenraumtemperatur	Nach DIN EN 15251
	$T_{RM} = f(\text{Zeitabfolge } T_{o,Wetterstation})$	[°C]	laufende Außenlufttemperatur	
	$T_{o,Wetterstation}$	[°C]	Außenlufttemperatur	Klimadaten
	$T_{exp}$	[K]	Temperaturdifferenz zur Bestimmung der Erwartung	
	Fragen zum thermischen Komfort (Auswertung der Fragen siehe Übersicht der Variablen: N_T1_W bis N_T4_S)	[7-stufige Skala]	Prognose Hauptbefragung	Fragebogen

Da in dieser Dimension kontinuierliche Zeitreihen der gemessenen Werte und der berechneten Indikatoren vorliegen, können die Modelle entsprechend den Zeitskalen der anderen Dimensionen ausgewertet werden.

Gleichzeitig werden zum Vergleich mit den Ergebnissen der Nutzerbefragungen (Dimension 3) die Ergebnisse für die in der Befragung relevanten Zeitspannen ausgewertet.

Aus den mathematischen Modellen stehen Indikatoren für die Raumluftqualität (CO<sub>2</sub>-Gehalt, Feuchtegehalt und Temperaturen), das hygrisch-thermische Raumklima (Temperatur und Feuchte) und das Komfortempfinden (Wärmebilanz und das adaptive Komfortmodell) zur Verfügung. Diese Aussagen werden mit den entsprechenden Aspekten aus der Nutzerbefragung verglichen.

### 5.3. Dimension 3: Nutzerkomfort

Das Forschungsprojekt basiert auf der Annahme, dass das Wohlbefinden der Nutzer ein eigenständiges Qualitätsmerkmal von Gebäuden darstellt. Daher werden neben dem physikalischen Monitoring, das die raumklimatischen Bedingungen in den untersuchten Wohnein-

heiten erfasst, auch die subjektiven Wahrnehmungen der Bewohner und damit der tatsächlich realisierte Nutzerkomfort mit Hilfe von Befragungen ermittelt. Mittels der Gegenüberstellung der gebäude- und nutzerbasierten Evaluationsdaten lässt sich eine Psychophysik des Wohnens betreiben (Wegener 1982; Wegener, Fedkenheuer & Scheller 2014), die Aussagen zulässt über die Bedingungen des Wohlbefindens in energieeffizienten Gebäuden.

Über den Zeitraum von zwölf Monaten werden die Bewohner der untersuchten Wohneinheiten insgesamt viermal dazu aufgefordert eine Reihe von Fragen (siehe Anhang 13.1) zu beantworten.

Der Fragebogen gliedert sich in drei Teile: Nutzerprofil (1), Wohnungsprofil (2), Fragen zur Wahrnehmung des Innenraumklimas und der Interaktion mit dem Gebäude (3), weitere Informationen zu den Bewohnern (4) und zum Umgang mit der NETATMO-Messstation (5).

- (1) Im Nutzerprofil werden soziodemographische Daten der Teilnehmer einmalig erhoben. Bei der Erstbefragung Alter und Geschlecht. Zu einem späteren Zeitpunkt Bildungsniveau; Erwerbsstatus und Einkommen
- (2) Im Wohnungsprofil werden erfragt: Informationen zur Größe der Wohnung insgesamt und der Räume, in denen die NETATMO Geräte stehen, die Lage der Wohnung im Haus, die Art der Lüftungsanlage und ihre Regulierbarkeit, wenn eine vorhanden ist. Außerdem wird die Anzahl der Haushaltsmitglieder erhoben.
- (3) Die Abfrage der Wahrnehmung des Innenraumklimas konzentriert sich auf die Parameter Innenraumlufttemperatur, relative Luftfeuchte und Raumluftqualität (stellvertretend für den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft). Zur Interaktion der Nutzer mit dem Gebäude werden ergriffene Maßnahmen zur Regulierung des Innenraumklimas erhoben, bei denen sowohl technische Optionen (z.B. Heizungsregulierung, Lüftungsanlagenregulierung, steuerbarer Sonnenschutz) als auch nicht-technische Möglichkeiten (z.B. Anpassung der Kleidung, Fensterlüftung, Vorhänge) repräsentiert sind und in ihrer jeweiligen Nutzungshäufigkeit erhoben werden.
- (4) Weiterführende Informationen zu den Bewohnern sind Angaben zum Aktivitätsniveau, Bekleidungsgehnheiten und das Gesundheitsempfinden. Diese stellen relevante Faktoren dar, die Einfluss auf die Wahrnehmung des Innenraumklimas haben können.
- (5) Beim Umgang mit den NETATMO-Messstationen interessiert vor allem, ob und wie häufig die Teilnehmenden bestimmte Informationen über ihr Raumklima abrufen. Besonders wichtig ist auch die Frage, ob der Standort sich verändert hat, um dies in der Interpretation der Messdaten berücksichtigen zu können.

Im Rahmen des Projektes wurde die Gelegenheit für diese umfassende Datenerhebung genutzt. Nicht alle Aspekte können in der Auswertung des vorliegenden Berichtes berücksichtigt werden und stehen für ergänzende Analysen zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung.

Um die Wahrnehmung des Innenraumklimas im Sinne einer mehrdimensionalen Abfrage angemessen zu erfassen, kommen verschiedene Fragetypen zum Einsatz (siehe hierzu die Tabellen auf den folgenden Seiten). Durch die Wahl mehrerer Erhebungszeitpunkte sollen die jahreszeitlich unterschiedlichen Bedingungen in die Betrachtung einfließen.

Die auf diese Weise erhobenen Daten zum Nutzerkomfort sollen nach Ablauf der Monitoringphase mit den physikalischen Messwerten zusammengeführt und verglichen werden.

Dafür ist es notwendig, die mehrdimensionalen Abfragen entlang der zu untersuchenden Komfortparameter zu aggregieren.

Die subjektive Performance der Häuser, wurde in dem Onlinefragebogen mittels Likert- bzw. Multi-Item-Skalen abgefragt. Diese erhöhen insbesondere bei latenten Konstrukten die Validität und Reliabilität der Messung. Bei einem solchen Vorgehen wird das untersuchte Konstrukt nicht mit einer einzelnen Frage erfasst, sondern mit Hilfe sogenannter Item-Batterien, einer Sammlung von Aussagen, denen die Befragten mehr oder weniger stark zustimmen oder die sie ablehnen können. Die Untersuchung der subjektiven Performance konzentrierte sich dabei in Anlehnung an die physikalisch gemessenen Werte auf die Raumtemperatur im Winter, die Raumtemperatur im Sommer und die Raumluftqualität. Für jedes dieser drei latenten Konstrukte ( $K$ ) wurden jeweils 3-5 Items ( $I$ ) für eine Indexbildung verwendet. Diese Items wurden von den Befragten mittels einer 5-stufigen Skala auf ihre Gültigkeit hin bewertet (1 „trifft zu“, 2 „trifft eher zu“, „3 teils/teils“, 4 „trifft eher nicht zu“, 5 „trifft nicht zu“).

---

Konstrukt: Subjektive Temperaturperformance im Winter ( $K_1$ )  
Items: Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren. ( $I_{1K1}$ )  
Die Heizung in meiner Wohnung richtig einzustellen ist kompliziert. ( $I_{2K1}$ )  
Es ist schwierig meine Wohnung im Winter warm zu halten. ( $I_{3K1}$ )  
Die Heizung ist störanfällig. ( $I_{4K1}$ )  
Über einen längeren Zeitraum eine konstante Wohnraumtemperatur zu erhalten ist schwierig. ( $I_{5K1}$ )

---

Konstrukt: Subjektive Temperaturperformance im Sommer ( $K_2$ )  
Items: Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren. ( $I_{1K2}$ )  
Meine Wohnung im Sommer kühl zu halten ist schwierig. ( $I_{2K2}$ )  
Einige Bereiche meiner Wohnung heizen sich bei warmem Wetter zu schnell auf. ( $I_{3K2}$ )  
Überhitzte Räume lassen sich durch das Öffnen der Fenster schnell runterkühlen. ( $I_{4K2}$ )

Konstrukt: Subjektive Luftqualität ( $K_3$ )  
Items: Meine Wohnung lässt sich problemlos mit Frischluft versorgen. ( $I_{1K3}$ )  
In meiner Wohnung eine gute Luftqualität sicherzustellen überfordert mich. ( $I_{2K3}$ )  
Die Luft in meiner Wohnung wird schnell stickig. ( $I_{3K3}$ )

Für die Auswertung wurden die Daten zur subjektiven Performance in zwei Schritten zusammengefasst:

#### 1) Mittelung der Items

Da die Befragten mehrfach an der Umfrage teilnehmen konnten, die einzelnen Aussagen also i.d.R. mehr als einmal bewerteten, und ihre Angaben nicht immer konsistent sind, muss-

ten die Daten zunächst pro Befragungsteilnehmer und Item zusammengefasst werden. Dafür wurde für jedes Item ( $I$ ) das arithmetische Mittel ( $\bar{I}$ ) über sämtliche Befragungswellen ( $t_1 - t_n$ ) bestimmt:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_t$$

## 2) Indexbildung

Anschließend wurden die gemittelten Items ( $\bar{I}$ ) eines jeden Konstrukts ( $K$ ) zu einem ungewichteten Mittelwertindex ( $\overline{Subj}$ ) zusammengefasst, als:

$$\overline{Subj}_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{I}_k$$

Die so konstruierten Mittelwertindizes haben zwar die gleiche Spannweite (1 bis 5) wie die ursprünglichen Items, umfassen jedoch auch rationale Zahlen. Durch die der Indexbildung vorausgegangene Gleichpolung aller Items ergeben sich für die Indizes der subjektiven Performance Werte von 1 „negativ“ bis 5 „positiv“.

Tabelle 5-7: Übersicht der Variablen

Kürzel	Frage/Aussage	Funktionsbereich	Bezugszeitraum	Skala
<b>Temperatur</b>				
N_T1_W	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumtemperatur?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "kalt" bis "heiß"
N_T1_S	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumtemperatur?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "kalt" bis "heiß"
N_T2_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu warm wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T2_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu warm wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T3_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu kalt wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T3_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu kalt wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T4_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen einen unangenehmen Luftzug wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T4_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen einen unangenehmen Luftzug wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_T5_1	Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_2	Die Heizung in meiner Wohnung richtig einzustellen überfordert mich.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_3	Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich für jeden Raum separat regulieren.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_4	Die Heizung ist störanfällig.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_5	Über einen längeren Zeitraum eine konstante Wohnraumtemperatur zu erhalten ist schwierig.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_6	Kühle Räume lassen sich schnell aufwärmen.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_7	In meiner Wohnung bekomme ich schnell kalte Füße.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_8	In der Nähe der Fenster ist es unangenehm kühl.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T5_9	Die Außenwände kühlen im Winter stark ab.	gesamte Wohnung	kalte Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_1	Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_2	Meine Wohnung im Sommer kühl zu halten ist schwierig.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_3	Einige Bereiche meiner Wohnung heizen sich bei warmem Wetter zu schnell auf.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_4	Im Sommer kommt es in meiner Wohnung zu starken Temperaturschwankungen.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_5	Überhitzte Räume lassen sich durch das Öffnen der Fenster schnell runterkühlen.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_6	In meiner Wohnung kann ich mich vor zu viel Sonne gut schützen.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_T6_7	Bei Hitze lässt sich durch Querlüftung eine angenehme Brise in meiner Wohnung erzeugen.	gesamte Wohnung	warme Jahreszeit	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"

Tabelle 5-8: Übersicht der Variablen

Kürzel	Frage/Aussage	Funktionsbereich	Bezugszeitraum	Skala
<b>Feuchtigkeit</b>				
N_F1_W	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumluft?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "sehr trocken" bis "sehr feucht"
N_F1_S	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumluft?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "sehr trocken" bis "sehr feucht"
N_F2_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu trocken wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_F2_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu trocken wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_F3_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu feucht wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_F3_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu feucht wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_F4_1	Beim Duschen, Kochen, Waschen etc. wird die Luft in meiner Wohnung schnell unangenehm feucht.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_F4_2	Wenn die Heizung angeschaltet ist, wird die Luft in meiner Wohnung unangenehm trocken.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
<b>Luftqualität</b>				
N_Q1_W	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Luftqualität?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	5-stufig von "sehr stickig" bis "überhaupt nicht stickig"
N_Q1_S	Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Luftqualität?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	5-stufig von "sehr stickig" bis "überhaupt nicht stickig"
N_Q2_W	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu stickig wahrgenommen?	Wohnbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_Q2_S	Wie häufig haben Sie in den letzten sieben Tagen die Raumtemperatur als zu stickig wahrgenommen?	Schlafbereich	Woche vor Befragungsdatum	7-stufig von "immer" bis "nie"
N_Q3_1	Meine Wohnung lässt sich problemlos mit Frischluft versorgen.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_Q3_2	In meiner Wohnung eine gute Luftqualität sicherzustellen überfordert mich.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_Q3_3	Die Räume meiner Wohnung lassen sich leicht lüften.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_Q3_4	Die Luft in meiner Wohnung wird schnell stickig.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_Q3_5	In meiner Wohnung kann ich gut querlüften.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"
N_Q3_6	Durch das Öffnen der Fenster verbessert sich die Luftqualität in meiner Wohnung schnell.	gesamte Wohnung	gesamtes Jahr	7-stufig von "trifft voll und ganz zu" bis "trifft überhaupt nicht zu"

## 6. DURCHFÜHRUNG

### 6.1. Vorbereitung der Datenerhebung

Die Interaktion zwischen Gebäude und Mensch lässt sich nicht allein über quantitative, bauphysikalische Merkmale beschreiben. Da es Ziel dieses Projekts ist, objektive und subjektive Methoden zur Beschreibung von Nutzerkomfort, Well-being und energetischer Performance von Wohngebäuden zu vergleichen und zu verbinden, erfolgt die Zusammenführung aller erhobenen und gesammelten Daten auf einer Online Plattform. Die Daten der unterschiedlichen Dimensionen stammen aus verschiedenen Quellen.

#### 6.1.1. NETATMO Messgeräte

Die bauphysikalischen Daten für die Innenraumtemperaturen, den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft und die Luftfeuchtigkeit werden mittels portabler Messstationen erhoben, die für die Dauer von einem Jahr in den zu betrachtenden Wohnungen aufgestellt werden. Die Geräte der Firma NETATMO messen den Komfort in Räumen. Zwei Innenraummodule und ein Außenmodul liefern den Bewohnern wichtige Informationen. So warnen sie beispielsweise mittels eines Ampelsignals, wenn der über einen CO<sub>2</sub>-Sensor gemessene CO<sub>2</sub>-Gehalt im Raum zu hoch ist und es Zeit ist um durch Lüften die Luftqualität zu verbessern. Dabei ist anzumerken, dass die NETATMO Geräte und deren Messsensoren für den Hausgebrauch und nicht für wissenschaftliche Studien ausgelegt sind. Besonders die Messergebnisse der CO<sub>2</sub> Sensoren sind, auf Grund der verwendeten automatischen Kalibrierung in Bezug auf einen angenommenen Standardwert, nur als relative Anhaltswerte anzusehen.



Abbildung 6-1: NETATMO Messgeräte

Herkömmlicherweise können die detaillierten Informationen zu den Messungen der Geräte online oder mittels einer App direkt über ein Smartphone nachvollzogen werden. Die Messdaten werden alle fünf Minuten erhoben.

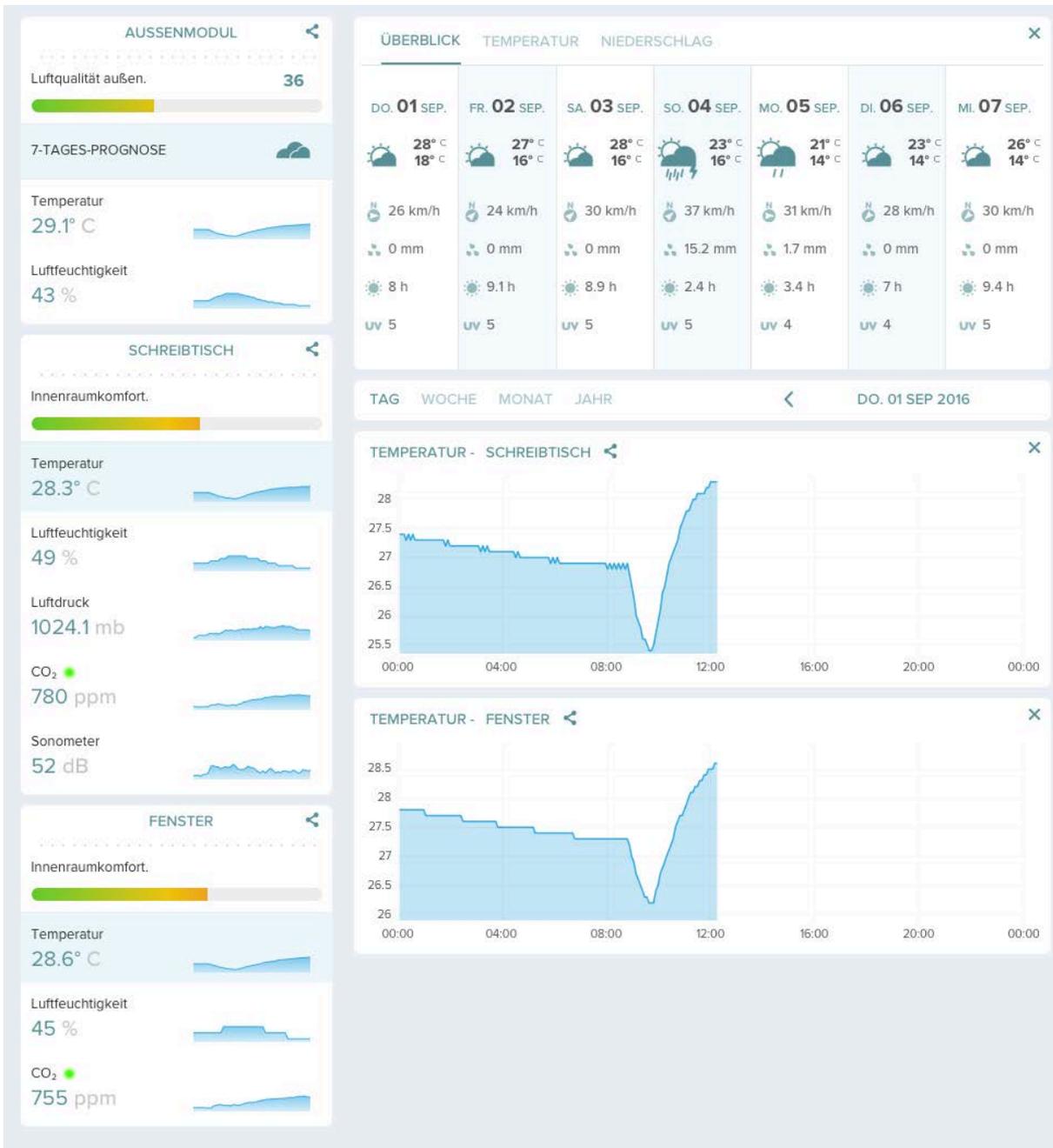


Abbildung 6-2: von NETATMO generierte Messdatenansicht

Die Messdaten der NETATMO-Geräte in den teilnehmenden Haushalten und die Befragung der Bewohner zum Nutzerkomfort werden von einer zu diesem Zweck konzipierten Monitoring- Software erfasst und dort für die spätere Auswertung in einer Datenbank zusammengeführt.

Die Software ist hierfür in verschiedene Komponenten aufgeteilt.

- Befragung zum Nutzerkomfort
  - Benutzeroberfläche für die Verwaltung von teilnehmenden Haushalten und den dort installierten NETATMO-Geräten
  - Benutzeroberfläche für die Durchführung der Nutzerbefragung
- Dienst zur Prüfung des Status von NETATMO-Geräten
- Datenkollektor für den Abruf von Messdaten der NETATMO-Geräten
- Datenprozessor für eine mehrstufige Weiterverarbeitung der erhobenen Messdaten
- Export

### 6.1.2. Software zur Datenerhebung – Der NETATMO Datenkollektor

Der Datenkollektor ist ein autonom arbeitender Dienst innerhalb der Monitoring-Software, der mit einer Software Schnittstelle (API) von NETATMO kommuniziert. Die Schnittstelle erlaubt es – nach vorangegangener Authentifizierung – Messdaten von NETATMO Geräten für beliebige Zeiträume abzurufen.

Anhand der für jeden teilnehmenden Haushalt assoziierten NETATMO Geräte-Seriennummer, kann ein Gerät und seine zusammengehörenden Zusatzmodule identifiziert werden. Dies geschieht einmalig bereits im Rahmen der Registrierung eines teilnehmenden Haushalts. Für die Messkategorien CO<sub>2</sub>, Temperatur, relative Luftfeuchte und Luftdruck werden pro Modul eines Geräteverbunds Messpunkte in der Anwendung konfiguriert und mit dem Haushalt verknüpft.

Datenfeld	Beispiel
ID des Messpunkts	f72fb77f-84df-4380-9c57-18b4ccf21d41
ID des Geräts	a214d496-ec86-4fb1-af8c-dd069906ac89
Kennung des Datenlieferants	NETATMO
Kennung der Messkategorie	indoor_temperature
Konfigurationsparameter	{"device_id":"70:ee:50:1b:0b:94",.....}

Die so eingerichteten Messpunkte werden vom Datenkollektor periodisch - alle 5 Minuten - nach Messdaten abgefragt. Da die NETATMO Geräte ebenfalls alle 5 Minuten Messdaten an die Server von NETATMO senden, kann damit theoretisch alle 5 Minuten ein Satz von Messdaten über die Schnittstelle abgerufen werden.

Sollte die Übermittlung der Daten im Haushalt oder bei Abruf vom NETATMO Server einmal aus unterschiedlichen Gründen scheitern, so können die NETATMO Geräte bis zu einer bestimmten Zeitdauer und die NETATMO Server auf unbestimmte Zeit Messdaten vorhalten. Sobald die Verbindung zum NETATMO Server wieder möglich wird, werden die fehlenden Messdaten vom Datenkollektor nachträglich abgerufen und gespeichert.

Die vom Datenkollektor abgerufenen Messdaten werden zunächst in einer Rohdatenbank gespeichert. Diese speichert die Messdaten so wie sie empfangen wurden, in den folgenden Datenfeldern.

Datenfeld	Beispiel
ID des Messpunkts	f72fb77f-84df-4380-9c57-18b4ccf21d41
Zeitstempel eines Messdatums	2016-07-26 10:25:41+02
Messwert	24,1
Einheit der physikalischen Größe	°C

### 6.1.3. Grundlagen für die Konfiguration des Fragekatalogs

Auf Grundlage des zuvor erarbeiteten Fragebogens wurden 6 generische Fragetypen identifiziert, die sich variabel konfigurieren lassen. Die 6 Fragetypen unterscheiden sich wie folgt:

#### *SingleChoice-Fragen*

Frage mit mehreren Antwortmöglichkeiten, von denen nur eine Auswahl erlaubt ist. Einzelne Antwortoptionen können als einfache Markierung oder um alphanumerische bzw. rein numerische Texteingaben oder einer Auswahlliste erweitert werden.

#### *MultipleChoice-Fragen*

Frage mit mehreren Antwortmöglichkeiten, von denen die Auswahl mehrerer Antwortoptionen erlaubt ist. Antwortoptionen können wie schon bei SingleChoice-Fragen durch numerische Texteingaben oder Auswahllisten erweitert werden.

#### *Textantwort-Fragen*

Frage, die die Eingabe eines Freitextes erlaubt.

#### *Ranking-Fragen*

Frage, die das Sortieren und Bewerten der gegebenen Antwortmöglichkeiten erlaubt.

#### *Bewertungsfragen*

Frage, die vom Typ SingleChoice abgeleitet ist, und die vornehmlich der Abgabe einer Bewertung im Sinne einer Bewertungsskala von z.B. 1 bis 7 erlaubt.

#### *ItemBatterie-Fragen*

Frage, die eine Kombination von mehreren Bewertungsfragen ermöglicht, die verschiedenen Antwortkategorien zugeordnet werden können

Es ist möglich, einzelne Fragen mit Bedingungen zu verknüpfen. Hierdurch wird es möglich, Fragen in Abhängigkeit zu Antworten aus vorangegangenen Fragen zu stellen. Zusätzlich können Fragen mit einem Zeitbezug, z.B. von der Jahreszeit abhängige Fragen, im Fragezyklus eingebunden bzw. ausgenommen werden.

Während der Befragung zeigt eine Fortschrittsanzeige an, welcher Anteil an Fragen bereits beantwortet wurde und wie viele noch ausstehen. Mittels einer Vor- und Zurück-Navigation kann die aktuelle Frage übersprungen bzw. zu der vorangegangenen Frage zurück navigiert werden.

#### 6.1.4. Benutzeroberfläche für die Durchführung der Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragung wird mithilfe eines Browsers online durchgeführt. Die Benutzeroberfläche ist für die Verwendung moderner Endgeräte konzipiert und erlaubt – neben der Bedienung über einen Desktop-Browser - auch die Bedienung mittels Smartphone- oder Tablet-Geräte. Registrierte Teilnehmer können damit bequem von zu Hause oder einem beliebigen anderen Ort an der Befragung teilnehmen.

Ein Haushalt kann sich über die Seriennummer des NETATMO Geräts an der Software anmelden. Pro Haushalt können mehrere Personen, die je ein eigenes Nutzerprofil erhalten, an der Befragung teilnehmen.

Nach der Erstanmeldung werden zunächst allgemeine Fragen zum Haushalt und der Wohnsituation gestellt und im Anschluss ein persönliches Nutzerprofil für das erste teilnehmende Haushaltsmitglied erstellt. Weitere Haushaltsmitglieder können nun ein zusätzliches, individuelles Nutzerprofil erstellen.

Nach Auswahl des persönlichen Nutzerprofils startet die Befragung. Jede Befragung kann mit einer Frist von zwei Tagen auch zu einem späteren Zeitpunkt noch fortgesetzt werden.

Häufige Teilnahmen sind erwünscht, sodass prinzipiell alle zwei Tage die Befragung selbstständig und abseits der vier Hauptbefragungen von den Teilnehmern durchgeführt werden kann.

An die nächsten Hauptbefragungen kann durch die Administratoren der Anwendung anhand eines E-Mailansprechens an alle Teilnehmer erinnert werden.

#### 6.1.5. Rekrutierung der Teilnehmer

Für die Rekrutierung wurden Projektflyer erstellt, die potentielle Teilnehmer über das Forschungsprojekt und das Anmeldeprozedere informieren. Als Incentive ist der Behalt der NETATMO-Wetterstationen inklusive eines weiteren Innenraummoduls im Wert von 238,00 € vorgesehen. Das zur Wetterstation zugehörige Außenmodul wurde für die Zeit des Forschungsprojektes noch nicht ausgehändigt, sondern erst nach erfolgreicher Teilnahme zum Projektabschluss.

Die Anmeldung zum Projekt wurde online ([www.aktivplus.ev/forschungsprojekt/](http://www.aktivplus.ev/forschungsprojekt/)), aber auch per Antwortpostkarte möglich. Jede eingegangene Anmeldung wurde persönlich per Mail bestätigt.

Insgesamt wurden 654 Wohneinheiten kontaktiert und 99 Wohneinheiten in 19 Gebäuden gewonnen. 55 der teilnehmenden Haushalte befinden sich in Berlin, 29 in Frankfurt am Main und 19 in Darmstadt. Eine Beschränkung auf einen Teilnehmer pro Haushalt fand nicht statt. Im Gegenteil: Da es sich bei den Wohneinheiten in den meisten Fällen um Mehrpersonenhaushalte handelt, wurden diese dazu ermutigt, dass mehrere Haushaltsmitglieder an der Studie bzw. der Befragung zum Benutzerkomfort teilnehmen. Aus diesem Grund ist die Zahl der auswertbaren Befragungsdatensätze (122 Bewohner / Teilnehmer) höher als die Zahl der teilnehmenden Haushalte (99 Wohneinheiten).

Die Rekrutierung erfolgte in drei Phasen, wobei lediglich die 1. Phase im Antrag vorgesehen war. Die Phasen 2 und 3 wurden nachträglich hinzugefügt, um die angestrebte Teilnehmerzahl zu ermöglichen.

### 1. Phase:

Zunächst wurden Ende Mai bzw. Anfang Juni 2016 die Mieter der Vonovia und der Nassauischen Heimstätte durch die Wohnungsbaugesellschaften selbst (inkl. Projektflyer und Antwortkarte) angeschrieben. Alle Unterlagen dafür wurden in Abstimmung mit den Wohnungsbaugesellschaften vorbereitet und gedruckt zur Verfügung gestellt. Im Projekt La Vida Verde hat eine Bewohnerin sowohl Flyer und Antwortkarten erhalten und im Haus verteilt.

Nach Ablauf der ersten Anmeldefrist zum 26.06.2016 hatten sich lediglich 13 Haushalte angemeldet.

---

### 2. Phase

In Reaktion auf den schwachen Rücklauf wurden in den ersten beiden Juliwochen des Jahres 2016 die bisher angeschriebenen Bewohner nach Rücksprache mit den Wohnungsbaugesellschaften persönlich oder postalisch durch das Projektteam erinnert. In der Graf-von-Stauffenberg-Allee in Frankfurt a.M. und der Rudolf-Seiffert-Str. 6 und 15 wurden alle Mieter / Wohneinheiten persönlich aufgesucht und über das Forschungsprojekt informiert. Die nicht angetroffenen Haushalte bekamen den Erinnerungsflyer in einem vor Ort beschrifteten Umschlag in die Briefkästen gesteckt. Für alle weiteren Häuser der Wohnungsbaugesellschaften wurden die Namen vor Ort abfotografiert und anschließend entsprechende Erinnerungsbriefe erstellt und postalisch versendet. Bei La Vida Verde wurde intern auf der Hausversammlung erneut auf das Projekt hingewiesen. Im Schneeballverfahren durch Bewohner, die bereits ein NETATMO Gerät installiert hatten, konnten zusätzlich weitere Nachbarn gewonnen werden

Im Anschluss an diese 2. Rekrutierungsphase belief sich der Rücklauf zum 18.07.2016 auf 32 Wohneinheiten.

---

### 3. Phase

Aufgrund der nach wie vor unzureichenden Anzahl von teilnehmenden Haushalten wurde ein Strategiewechsel beschlossen, der die Ansprache von Baugruppen und gemeinschaftlichen Wohnprojekten mit abgeschlossenen Wohneinheiten vorsieht. In Frankfurt wurden auf Empfehlung des Netzwerks für gemeinschaftliches Wohnen vier Baugruppen/Wohnprojekte und drei Gebäude einer Wohngenossenschaft angeschrieben, die entweder intern per Mail die Anfrage weitergeleitet haben oder die Projektunterlagen in Papierform zur Verfügung gestellt bekamen und die Verschickung übernommen haben. In Berlin wurden 21 über die Datenbank der dena, die cohousing-Plattform, Mitgliederliste des Mietshäusersyndikats recherchierte Baugruppen und Wohnprojekte kontaktiert. Hinzu kam noch ein Wohnprojekt in Darmstadt. Der erfolgreichste Feldzugang ergab sich bei Baugruppen, die bereits an anderen Forschungsprojekten mitgewirkt hatten oder wenn das Interesse der Fachplaner der Gebäude geweckt werden konnte. Pro Haus gibt es zwischen zwei und 13 Anmeldungen. Insgesamt konnten 56 Wohneinheiten in dieser 3. Rekrutierungsphase gewonnen werden. Ziel

war es, die Anzahl der teilnehmenden Haushalte pro Gebäude zu erhöhen und so wenig neue Häuser wie möglich in die Untersuchung einzubeziehen. Durch die unzureichende Rekrutierung über die Wohnungsbaugesellschaften in der 1. Phase, war der Aufwand für die Gebäudetypologisierung und Durchführung der Termine vor Ort bereits deutlich erhöht und sollte nun nicht noch weiter ansteigen. Außerdem steigt mit der Anzahl der teilnehmenden Wohneinheiten pro Gebäude die Aussagekraft der Monitoringdaten.

Im Oktober 2016 war das Ziel, 100 Wohneinheiten zu rekrutieren, erreicht. Es kam vereinzelt dazu, dass Teilnehmer vor und nach der Installation der Messgeräte ihre Teilnahme am Projekt widerriefen. Dies betraf drei Haushalte in Berlin und vier in Frankfurt. Bis auf eins konnten die Geräte unkompliziert an weitere Projektinteressierte verteilt werden. So startete die Feldphase mit 99 Haushalten. Zwei Teilnehmer schieden aufgrund von Umzug im Verlauf des Messjahres aus.

---

## 6.2. Datenerhebung

### 6.2.1. Gebäudedaten

Für die Gebäudetypologisierung sind Daten zu den Gebäuden erforderlich. Für alle Gebäude wurde der EnEV-Nachweis, die PHPP Berechnung oder der Energieausweis angefragt. Idealerweise konnten noch Grundrisse und weitere Unterlagen zur Gebäudetechnik bereitgestellt werden. Bis auf sechs Gebäude, in denen sich ca. ein Zehntel der teilnehmenden Haushalte befindet, konnten Unterlagen beschafft und in einer Tabelle systematisiert werden. (vgl. dazu auch Kapitel 5.1)

### 6.2.2. Nutzerbefragung

Der Messzeitraum beträgt zwölf Monate beginnend mit dem Tag der Installation der Messstationen. In diesem Zeitraum sind vier Online-Fragebögen auszufüllen, damit die Jahreszeiten mit ihren jeweiligen klimatischen Besonderheiten in der Betrachtung berücksichtigt werden können. Durch die entstandenen Verzögerungen bei der Rekrutierung unterscheiden sich die Start- und Endzeitpunkte teilweise um bis zu zwei Monate. Dies ist für die Befragungszeitpunkte aber unproblematisch.

#### Installation der Messstationen und Erstbefragung vor Ort

Die Installation der NETATMO Geräte und die Registrierung der Haushalte auf der projekteigenen Plattform (vgl. Kap. 6.1.2 und 6.1.4) machen einen Besuch vor Ort in allen 99 Haushalten erforderlich, um die Teilnehmenden ausreichend informieren und die Module der Messstationen sinnvoll platzieren zu können. Zugleich wird der erste Online-Fragebogen vor Ort durch die Teilnehmenden ausgefüllt. In wenigen Fällen wurde eine telefonisch begleitete Ferninstallation durchgeführt.

Die Termine nehmen rund eine Stunde pro Teilnehmer in Anspruch. Sie gliedern sich in drei Teile:

1. Aufklärung über Inhalte, Ziele und Ablauf des Projektes / Terminablauf / Datenschutz
2. Installation des NETATMOs inkl. Anlegen eines NETATMO Kontos / Registrierung auf der projekteigenen Plattform / Platzierung der Module in Wohn- und Schlafbereich

### 3. Ausfüllen des Online-Fragebogens nach Wunsch gemeinsam mit dem anwesenden Sozialforscher oder für sich

Zum Schluss oder während der Installation müssen die Teilnehmenden noch eine Einverständniserklärung zur Teilnahme am Forschungsprojekt bezüglich Datenerhebung und -verwendung sowie eine formale Vereinbarung über das Gerät unterschreiben (siehe Anhang 13.2 und 13.3). Sie bekommen darüber hinaus ein Kontaktblatt ausgehändigt, das alle Zugangsdaten zur NETATMO Oberfläche und zur Befragungsplattform, die Kontaktdaten des Forschungsteams und die kommenden Befragungstermine enthält (siehe Anhang 13.4).

Für die Installation der NETATMO-Messstationen und das Ausfüllen der Onlinefragebögen ist ein Computer mit Internetzugang erforderlich. Zur Konfiguration werden zwei Installationsassistenten benötigt. Diese sind auf den Laptops der Projektmitarbeiter vorinstalliert, um das Procedere zu beschleunigen.

Während des Installationsvorgangs müssen die W-Lan-Daten für den Betrieb der Messstationen von den Teilnehmenden bereitgestellt werden.

Die meisten Fragen der Teilnehmenden zu Betrieb und Verlässlichkeit der Messstationen konnten nach den ersten Vor-Ort-Terminen geklärt werden, wie z.B. die Höhe des Stromverbrauchs der Messstationen.

#### **Weitere Nutzerbefragungen**

Neben der Erstbefragung zum Teilnahmestart erfolgten noch drei weitere Befragungen im Herbst, Winter und Sommer. Tabelle 6-1 gibt eine Übersicht über die Durchführung der Befragung zu allen Erhebungszeitpunkten und entsprechende Rückläufe. Für jeden Erhebungszeitpunkt waren neben der Einladung zwei schriftliche und ein telefonischer Reminder notwendig.

Es konnten sich stets mehrere Personen im Haushalt an der Befragung beteiligen (vgl. Kap. 6.1.4). Diese Option nahmen auch einige Haushalte in Anspruch, sodass pro Erhebungswelle eine Anzahl ausgefüllter Fragebögen größer 99 zustande kommt. Insgesamt haben sich 122 Bewohner bzw. Teilnehmer über die Onlineplattform registriert und haben mindestens einen Fragebogen ausgefüllt. Die Möglichkeit zwischen den regulären Befragungen einen Fragebogen auszufüllen wurde sehr selten genutzt.

Tabelle 6-1: Übersicht der Befragungszeitpunkte und -rückläufe<sup>1</sup>

Erhebungswellen	Zeitraum	Reminder	Anzahl ausgefüllter Fragebögen (n)	Verteilen sich auf Anzahl teilgenommener Haushalte / Wohneinheiten (n)
Erstbefragung bei Installation	08.07.2016 – 16.11.2016	Individuelle Termine vor Ort	105 + (12)	94
Herbst-/Winterbefragung	02.12.2016 – 05.01.2017	1. Schriftlicher Reminder (16.12.2016) 2. telefonischer Reminder (n=18; 22.12.2016) 3. Schriftlicher Reminder (22.12.2016)	103 + (1)	88
außerplanmäßige freiwillige Teilnahmen	06.01.2017 – 29.03.2017		6 + (1)	6
Frühjahrsbefragung	30.03.2017 – 18.05.2017	1. Schriftlicher Reminder (18.04.2017) 2. Schriftlicher Reminder (28.04.2017) 3. telefonischer Reminder (n=13; 08.05.2017)	102 + (2)	88
außerplanmäßige freiwillige Teilnahmen	19.05.2017 – 02.08.2017		3	3
Sommerbefragung	03.08.2017 – 18.09.2017	1. Schriftlicher Reminder (15.08.2017) 2. Schriftlicher Reminder (30.08.2017) 3. telefonischer Reminder (05.09.2017)	104	90

<sup>1</sup> Die Zahl in den Klammern bezieht sich auf unvollständig ausgefüllte Fragebögen

## **Abschluss des Mess- und Befragungszeitraums**

Nach der letzten Befragung (August bis September 2017) wurden die Teilnehmer über das Ende des Mess- und Befragungszeitraums informiert und die Aushändigung der Außenmodule hausweise organisiert: In Berlin und Darmstadt konnten sie persönlich übergeben werden. Nach Frankfurt wurden sie an jeweils einen Bewohner der teilnehmenden Gebäude postalisch versandt. Dem Außenmodul beigelegt wurden Batterien, eine eigens erstellte Installationsanleitung sowie eine Anleitung zur Änderung der Benutzerdaten, da die Zugangsmöglichkeit durch die Projektmitarbeiter nicht mehr erforderlich ist.

Die Verabschiedung der Teilnehmer aus dem Projekt ist Mitte November 2017 (12 Monate nach dem Start der letzten Teilnehmer) abgeschlossen.

### **6.2.3. Erhebung der raumklimatischen Messdaten**

Innerhalb des Messzeitraums vom 8. Juli 2016 bis 25. September 2017 wurden für 101 NETATMO Geräte insgesamt 71.175.132 Messdatensätze gespeichert. Ein Gerät musste innerhalb des Zeitraums getauscht werden.

Diese bilden die Grundlage für 24.817.119 normalisierte 15-Minuten-Datensätze, von denen 923.731 Datensätze (3,72 %) durch lineare Interpolation ergänzt werden mussten.

Das Verhältnis von der Gesamtzahl zu den normalisierten Datensätzen beträgt 2,87, woraus geschlossen werden kann, dass im Schnitt 2,87 Datensätze zu einem 15-Minuten-Intervall aggregiert worden sind.

#### **Ausfälle und Datenverlust**

Innerhalb des Messzeitraums kam es zu Ausfällen und teilweise auch Messdatenverlusten aus unterschiedlichen Gründen:

- Ausfall des WLAN innerhalb eines Haushalts
- Abbruch der Internetverbindung durch den Internetprovider eines Haushalts
- Ausfall eines NETATMO Geräts bzw. Moduls aufgrund leerer Batterien
- Störungen der NETATMO Plattform
- Störungen des Servers, der die Monitoring Software betreibt

Nicht alle dieser Ausfälle führen zwingend zu einem Datenverlust. NETATMO versucht Datenverluste durch Verbindungsabbrüche dadurch zu verhindern, dass ein Gerät Messdaten in einem Zwischenspeicher für einen Zeitraum von 10 Tagen sichert und bei Wiederherstellung der Verbindung auf die zentrale NETATMO Plattform überträgt.

Der NETATMO Datenkollektor der Monitoring Software versucht für jede Messstelle stets vom letzten bekannten Messzeitpunkt die Daten aus der Vergangenheit nachzuladen, so dass eine möglichst lückenlose Messreihe gespeichert werden kann.

Trotz dieser Sicherungsmaßnahmen kam es zu Datenverlusten, die sich über die Häufigkeit der ergänzten Datensätze zählen lassen. Im Durchschnitt kann auch von einem Datenverlust in Höhe von 3,72 % geschlossen werden.

Bei näherer Betrachtung der Datenverluste pro Gerät wird deutlich, dass

- 48 Geräte eine Ausfallrate von 0 %
- 42 Geräte eine Ausfallrate von >0 % und <10 %
- 7 Geräte eine Ausfallrate von >=10 % und < 25 %
- 2 Geräte eine Ausfallrate von >=25 % und < 50 %
- 1 Gerät eine Ausfallrate von >=50%

aufweisen.

### **Kennzahlen zum Betrieb des NETATMO Monitoring**

Die Betriebszustandsprüfung für NETATMO Geräte ist ein autonom arbeitender Dienst der Monitoring Software, deren Zweck es ist, die NETATMO-Geräte auf Erreichbarkeit und Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Sollte z.B. die Internetverbindung innerhalb eines Haushalts einmal für längere Zeit ausfallen, werden die Haushalte, und in Kopie das Forschungsteam, per E-Mail darüber informiert, dass keine Verbindung zum Gerät möglich ist. Sobald die Verbindung wiederhergestellt ist, wird eine weitere E-Mail versendet, die Entwarnung gibt.

Sämtliche Statusänderungen eines NETATMO-Geräts werden protokolliert und ebenfalls in der Datenbank festgehalten.

Aufgrund von Ausfällen beim Anbieter NETATMO oder durch Ausfälle der WLAN oder Internetverbindung bei einzelnen Teilnehmern kam es zu einer Häufung des Versands von Statusmeldungen per E-Mail. Um die Teilnehmer nicht unnötig zu verunsichern, wurde entschieden, die Statusmeldungen nicht mehr direkt an die Teilnehmer zu versenden, sondern an die Forschungsnehmer. Diese konnten dann Einzelfälle prüfen, Teilnehmer kontaktieren und falls notwendig Hilfestellung zur Fehlerbeseitigung leisten.

### **Support der Teilnehmer**

Ziel war es den Aufwand für die Teilnehmenden möglichst gering und einen möglichst reibungslosen Messbetrieb zu gewährleisten. Der Support der teilnehmenden Haushalte wurde von den Sozialwissenschaftlern und dem Programmierer des Projektteams übernommen.

Hauptaufgabe war

- (1) die Beobachtung, ob Messgeräte ausgefallen sind oder neue Batterien für die Innenraummodule erforderlich sind und
- (2) den Ausfall ggf. mit den Teilnehmenden zu beheben.

(1) Für den Support des NETATMO-Betriebs hat sich eine standardisierte Passwortvergabe als sinnvoll herausgestellt, um im Falle einer notwendigen Ursachenforschung Zugang zu den Benutzeroberflächen erhalten zu können. Dies wird in aller Regel seitens der Teilnehmenden auch nicht moniert. Systemmails, die über den Status der Messstationen informieren und ursprünglich für die Teilnehmenden selbst gedacht waren, werden nur noch projektintern adressiert, da selbst bei kurzen W-Lan-Ausfällen zwei bis drei E-Mails an die Teilnehmenden versandt worden wären. Diese Statusmails wurden kontinuierlich durch die Projektmitarbeiter beobachtet. Erfahrungsgemäß haben sich die meisten Ausfälle innerhalb kurzer Zeit selbst reguliert, in dem die W-Lan-Verbindung sich wiederhergestellt hat. Durch den internen Datenspeicher der NETATMO-Geräte, der eine Datenaufzeichnung bis zu zehn Tagen gewährleistet, hatte dies keinerlei Nachteile für das Projekt. Wenn sich die Ausfälle nicht selbst reguliert haben, lag meist eine Abkopplung von der

Stromversorgung vor oder war eine Rekonfiguration der W-Lan-Verbindung für die Messstationen erforderlich. Gegen Ende des Messzeitraums ab August 2017 häuften sich notwendige Batteriewechsel bei den Innenraummodulen.

(2) Wenn eine Kooperation der Teilnehmenden zur Behebung der Messausfälle nicht vermeidbar war, erhielten diese eine E-Mail mit Möglichkeiten zum Gerätecheck und einer eigens erstellten Anleitung zur Rekonfiguration des W-Lans. In der Regel handelte es sich um versehentliches Ausstecken des Stromkabels und konnte schnell durch die Teilnehmenden behoben werden. Mit der Rekonfiguration konnte es teilweise etwas länger dauern, da die Teilnehmenden sich dafür Zeit nehmen mussten. Einige stellten Rückfragen, die via Email beantwortet werden konnten. In manchen Fällen wurde eine telefonische Unterstützung gewünscht. In sehr wenigen Fällen war es notwendig, die Teilnehmer zu besuchen um das vorliegende Problem zu beheben. In drei Fällen musste die Station abgeholt und zur Reparatur an den Zwischenhändler eingeschickt werden, weil die Messungen fehlerhaft waren.

Zum Batteriewechsel wurden ebenfalls E-Mails mit der Bitte zu Wechseln und einer Anleitung geschickt. Die Mehrzahl der Teilnehmenden hatte beim Installationstermin Ersatzbatterien ausgehändigt bekommen. Einige haben noch welche postalisch zugestellt bekommen.

Insgesamt hat der Support recht gut funktioniert. Lediglich hätte der Aufwand geringer gehalten werden können, wenn die Beobachtung des Messbetriebs von vornherein durch Mitarbeiter vorgesehen gewesen wäre. Dann hätte das System der Fehlermeldungen besser darauf abgestimmt werden können. Auch eine separate E-Mail ausschließlich für den Support stellt eine Vereinfachung dar.

#### **6.2.4. Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)**

Die NETATMO-Geräte werden für die Erhebung von Messwerten in den Wohnungen der teilnehmenden Haushalte eingesetzt. Auch wenn sie prinzipiell über ein Außenmodul verfügen, um Außentemperatur und -Luftfeuchtigkeit zu messen, wurde davon Abstand genommen, diese einzusetzen. Hierdurch sollte vermieden werden, dass Fehler bei der Platzierung des Außenmoduls zu Fehlern in den Messwerten führen könnten.

Stattdessen sollten Messwerte für die Außentemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Globalstrahlung durch frei verfügbare Datensätze des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet werden. Der DWD stellt hierfür einen Zugang über einen FTP-Server<sup>2</sup> zu Verfügung, von dem die Daten als zu stündlich aggregierten Messwerten heruntergeladen werden können.

Weil eine kontinuierliche Erfassung der Außenwerte nicht notwendig war, wurden die Daten erst nach Abschluss der Messungen nachträglich in die Datenbank importiert.

Für die drei Städte, in denen die teilnehmenden Haushalte liegen, wurden geeignete Messstellen für die Messkategorien Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Globalstrahlung ausgewählt, die Daten für den zu untersuchenden Messzeitraum bereitstellen. Da für Globalstrahlung Daten nicht von allen DWD Messstationen vorliegen wurden hier Daten von Potsdam für Berlin und von Würzburg für Frankfurt und Darmstadt angenommen. Beide Orte

---

<sup>2</sup> [ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations\\_germany/climate/hourly](ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/hourly)

liegen etwa 100km bzw. weniger als 100km entfernt und auf ähnlichen Längengraden wie die Orte der Gebäude.

Messkategorie	Standort Haushalt	DWD Messstation (ID)
Außentemperatur	Berlin	Berlin-Tegel (430)
Außentemperatur	Frankfurt/Main	Frankfurt/Main (1420)
Außentemperatur	Darmstadt	Darmstadt (917)
Rel. Luftfeuchtigkeit	Berlin	Berlin-Tegel (430)
Rel. Luftfeuchtigkeit	Frankfurt	Frankfurt/Main (1420)
Rel. Luftfeuchtigkeit	Darmstadt	Darmstadt (917)
Globalstrahlung	Berlin	Potsdam (3987)
Globalstrahlung	Frankfurt/Main	Würzburg (5705)
Globalstrahlung	Darmstadt	Würzburg (5705)

Die Daten wurden in die bestehende Datenstruktur mit der Datenlieferant-Kennung „DWD“ importiert und ebenso normalisiert, um eine homogene Datenausgangslage aller Daten zu gewährleisten. Im Falle der DWD-Daten, die als Stundenwerte geliefert werden, mussten die Werte zunächst auf Viertelstunden-Werte linear interpoliert werden.

### 6.3. Datenverarbeitung

Nachdem die Messdaten für ein Gerät abgerufen und in ihrer Originalform gespeichert wurden, werden sie zunächst noch normalisiert, um eine Weiterverarbeitung zu vereinfachen und zu beschleunigen. Auf dieser neugebildeten Datengrundlage können dann weitere Berechnungen bzw. Aggregationen zur Vorbereitung für die späteren Auswertungen vorgenommen werden.

#### 6.3.1. Normalisierung der Messdaten

Die Normalisierung umfasst die Homogenisierung der Messzeitpunkte und -werte in feststehenden Zeitintervallen von 15 Minuten. Innerhalb eines Zeitintervalls werden die Messwerte (in der Regel drei Datenpunkte) über ihren Durchschnitt aggregiert.

Um Lücken in den Datenreihen grundsätzlich zu vermeiden, werden die Messwerte zwischen Datenpunkten, deren Zeitabstand größer als 15 Minuten betragen, in 15 Minuten-Schritten linear interpoliert und in der Tabelle ergänzt. Solche, nicht auf gemessenen Werten basierende Daten, werden als Schätzwert markiert, um spätere darauf Bezug nehmen zu können.

Diese Form der Normalisierung erlaubt es bei der Verarbeitung und Auswertung, Messwerte für vereinheitlichte Zeitpunkte und prinzipiell zu jedem Zeitpunkt innerhalb des gesamten Messzeitraums vergleichen bzw. weitere Berechnungen damit durchzuführen zu können.

Datenfeld	Beispiel
ID des Messpunkts	f72fb77f-84df-4380-9c57-18b4ccf21d41
Normalisierter Zeitstempel	2016-07-26 10:15:00+02
Normalisierter Messwert	24,1
Einheit der physikalischen Größe	°C
Schätzwert	NEIN

### 6.3.2. Datenaggregation

Am Ende des Messzeitraums wurden die Daten für die geplante Auswertung in mehreren Schritten weiterverarbeitet. Benötigt werden die folgenden Aggregationen für jede Messreihe eines Messpunkts:

- Tageswerte
  - Durchschnittswert
  - Minimalwert
  - Maximalwert
- Laufendes Mittel über 3 Tage des
  - Tages-Durchschnittswerts
  - Tages-Minimalwerts
  - Tages-Maximalwerts
- Laufendes Mittel über 7 Tage des
  - Tages-Durchschnittswerts
  - Tages-Minimalwerts
  - Tages-Maximalwerts
- Anzahl Viertelstunden-Temperaturmessungen für die Zeiträume von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer mit
  - < 15 °C
  - >= 15 °C < 16 °C
  - >= 16 °C < 17 °C
  - ...
  - >= 31 °C < 32 °C
  - >= 32 °C
- Anzahl Viertelstunden-Kohlendioxidmessungen für die Zeiträume von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer mit
  - < 999 ppm
  - >= 1000 ppm < 2000 ppm
  - >= 2000

## **Bildung von Tagesdurchschnittswerten und –Extrema**

Für die Bildung von Tagesdurchschnittswerten und -Extrema wurden die normalisierten Daten für jeden Messtag zu einem Durchschnittswert, einem Maximalwert und einem Minimalwert aggregiert und gespeichert.

## **Bildung des laufenden Mittels und Extrema für die Zeiträume von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer**

Für jeden Messtag wurde das laufende Mittel und die beiden Extrema für den Minimal- und Maximalwert für einen Zeitraum von 2 und 6 Tagen vor und inklusive dem Messtag ermittelt und aggregiert.

## **Bildung der Anzahl der Viertelstunden-Messungen für Temperatur und Zeitraum von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter und Sommer**

Für jeden Messtag wurden die Anzahl der Viertelstunden-Messungen der Innenraum-Temperatur für jeweils einen Zeitraum von 3 und 7 Tagen sowie 3 Monate im Winter (mit Start am 01.12.2016) und Sommer (mit Start am 01.06.2017) ermittelt und aggregiert gespeichert.

## **6.4. Export der Befragungs- und Messdaten**

Für den Export der Befragungs- und Messdaten am Ende des Messzeitraums wurden mehrere Ausgaben produziert:

### **6.4.1. Export von Haushaltsdaten**

Über die Administrationsoberfläche kann ein CSV-Dokument mit allen Teilnehmer-Profildaten heruntergeladen werden. Die dort dargestellten Spalten im Detail befinden sich in Anhang 13.5.

### **6.4.2. Export pro Gerät, Haushalt und Befragung in separaten Dateien**

Es wurde für jeden Haushalt und jede Befragung je ein Excel-Dokument produziert. Dieses enthält drei Tabellenblätter mit

1. den Werten zur Innen- und Außenmessung
2. den Haushaltsdaten und
3. den Befragungen

Die detaillierten Angaben der abgefragten Daten befinden sich in Anhang 13.6.

### **6.4.3. Export der Messdaten für Befragungszeitpunkte in einer Datei**

Es wurde ein Excel-Export generiert, der für jede Befragungssitzung eine Reihe von Messdaten in einer Zeile exportiert. Dafür wurde eine komplexe Struktur verwendet (siehe Anhang 13.7).

## 7. AUSWERTUNG

Die Auswertung bezieht sich zunächst in Abschnitt 7.1 auf die gemessenen Raumlufttemperaturen und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in jeweils 3 Monaten im Sommer und 3 Monaten im Winter in den 19 untersuchten Gebäuden.

In Abschnitt 7.2 werden die Raumklimadaten mit den Ergebnissen der Nutzerbefragungen gemeinsam ausgewertet und die Ergebnisse beider Dimensionen in Beziehung gesetzt. Hier werden gemessene Raumlufttemperaturen, Raumluftfeuchten und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, so wie auch die Außentemperaturen ausgewertet.

Die jeweiligen Ergebnisse werden mit den Auslegungsanforderungen verglichen und mit den verfügbaren Endenergiebedarfswerten in Beziehung gesetzt, so dass alle drei untersuchten Dimensionen (siehe Kap. 5 „Methodisches Vorgehen“) gemeinsam betrachtet werden.

In der allgemeinen Betrachtung werden alle Mess- und Befragungsdaten von den 437 Befragungen in 19 Gebäuden ausgewertet. Die Ergebnisse aus den Gebäuden 4, 5, 14, 16 und 18 mit jeweils über 30 Befragungen (Gebäude 4 (38 Befragungen), 5 (61), 14 (35), 16 (39), 18 (54)) werden in der Folge detailliert ausgewertet und gebäudeweise verglichen.

### 7.1. Vergleich Gebäudekennwerte (Planung) gemessene Werte Bauphysik

#### 7.1.1. Innenraumlufttemperaturen

In den Diagrammen in Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 sind die Innenraumtemperaturprofile der Wohnzimmer aller 100 Haushalte für jeweils drei Monate im Sommer (01.06.2016 – 31.08.2016) und im Winter (01.12.2016 – 28.02.2017) dargestellt. In den beiden oberen Diagrammen sind die Daten nach Haushaltsebene differenziert aufgeführt – jede untersuchte Wohnung entspricht einem senkrechten Balken. Die Wohnungen sind zudem auf Gebäudeebene gruppiert. Angezeigt wird der Zeitanteil, den die Wohnraumtemperatur den verschiedenen Temperaturintervallen entsprach.

In den unteren beiden Diagrammen sind die durchschnittlichen Temperaturprofile pro Gebäude abgebildet – hierfür wurden die Mittelwerte über alle teilnehmenden Haushalte eines Gebäudes berechnet.

Es zeigt sich, dass sich sowohl im Sommer, wie auch im Winter in den Gebäuden charakteristische Temperaturprofile ergeben. Einige der Gebäude weisen im Sommer im Mittel erhöhte Temperaturen und in der Spitze (10% der Zeit) Temperaturen >26°C auf, während andere vergleichsweise kühle sommerliche Innenraumbedingungen bieten. Auch im Winter sind einige Gebäude offensichtlich wärmer, andere Gebäude werden dauerhaft unterhalb der Auslegungstemperatur betrieben.

Die Innenraumlufttemperaturen sind ein Ergebnis des Nutzerverhaltens und der baulichen und gebäudetechnischen Eigenschaften des Gebäudes. Der Vergleich der individuellen winterlichen Temperaturprofile innerhalb eines Gebäudes (z.B. in Gebäude 4 und in Gebäude 5) zeigt zum Teil starke Varianzen zwischen den Wohnungen. Diese sind mit unterschiedlichen Wohnungsqualitäten innerhalb eines Gebäudes oder mit individuellen Heizverhalten der Bewohner zu erklären. Aus den unterschiedlichen Temperaturen in den Wohnungen ergeben sich unterschiedliche Heizenergieverbräuche.

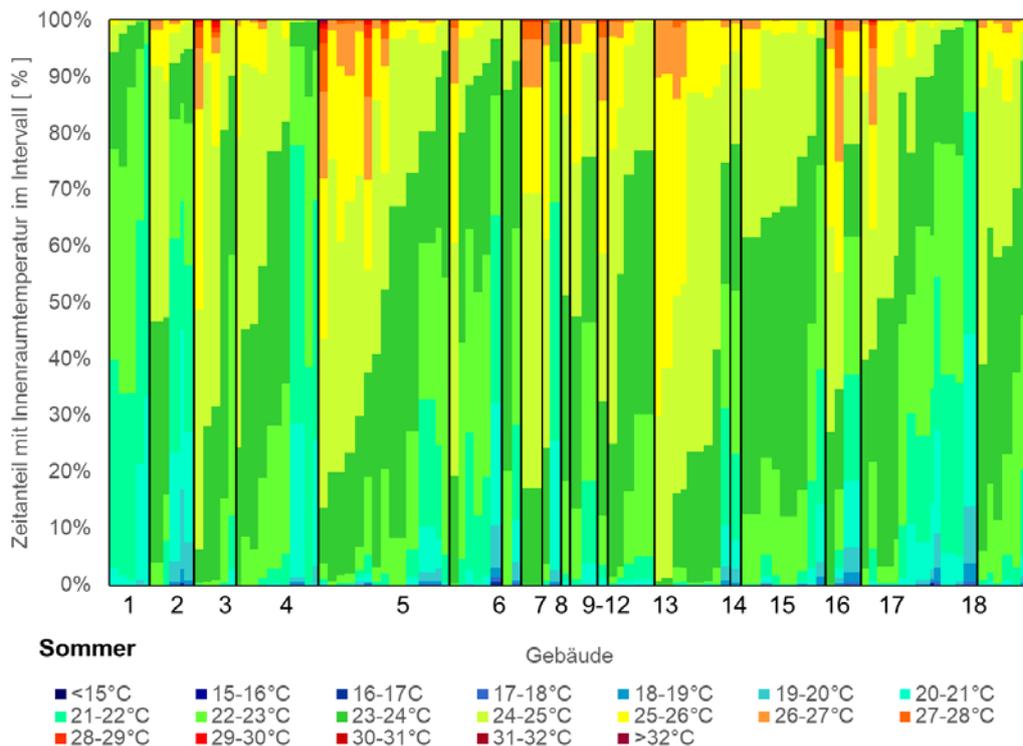


Abbildung 7-1: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen Innenraumlufttemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016)

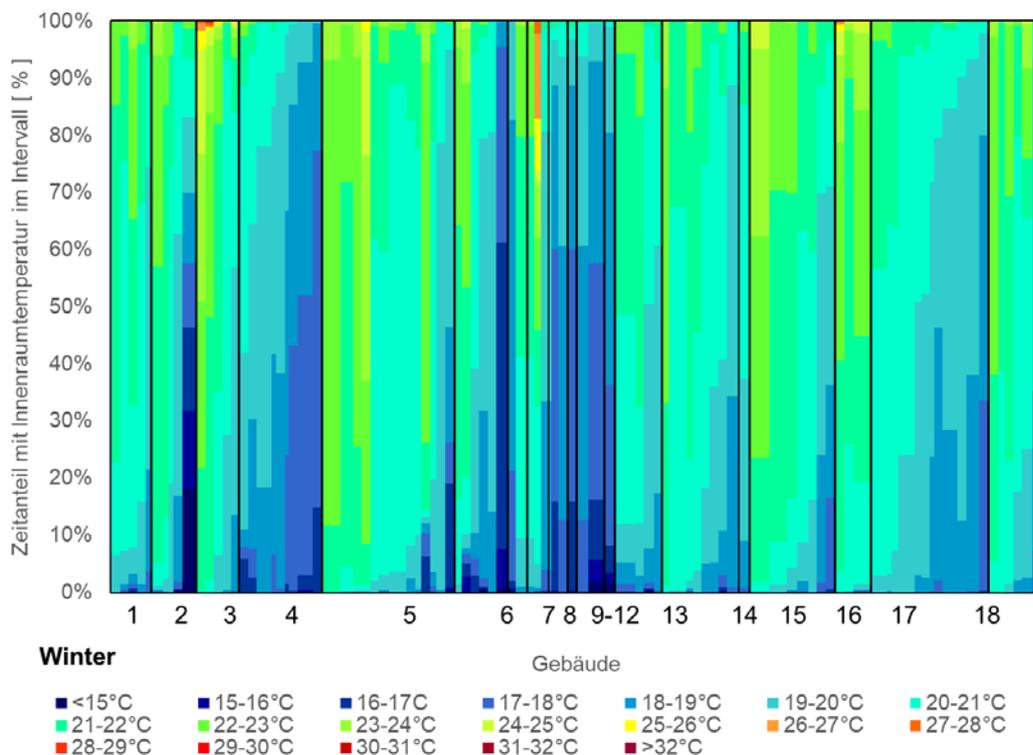


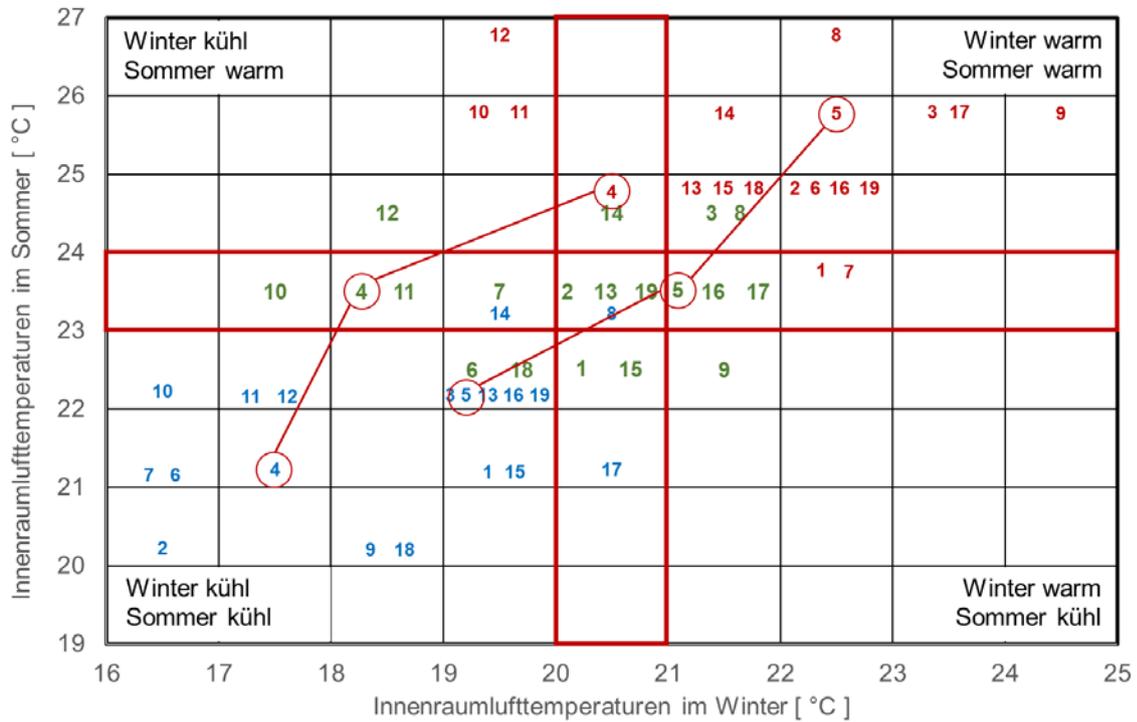
Abbildung 7-2: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen Innenraumlufttemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017)

Tabelle 7-1: Zusammenstellung der Innenraumlufttemperaturen im Wohnzimmer der 19 untersuchten Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) und im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017), 10%-Perzentile, Median und 90%-Perzentile der Raumlufttemperaturen.

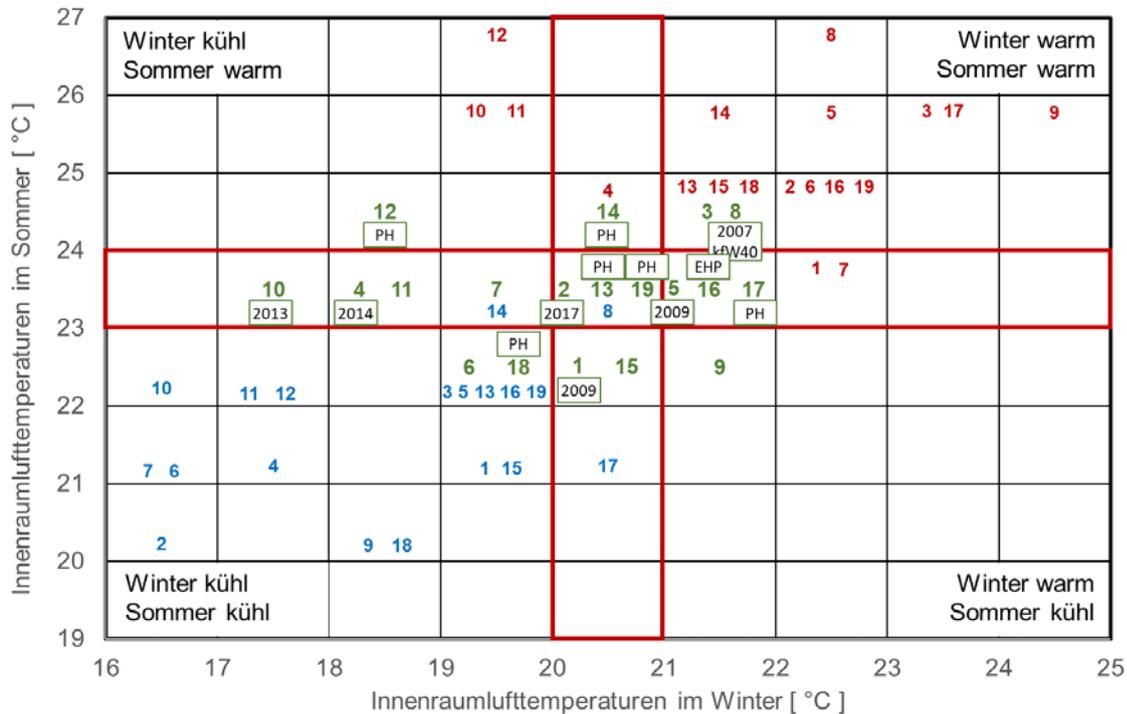
Gebäude	Winter			Sommer		
	10% der Temperaturen liegen in oder unterhalb von...	Median	10% der Temperaturen liegen in oder oberhalb von...	10% der Temperaturen liegen in oder unterhalb von...	Median	10% der Temperaturen liegen in oder oberhalb von...
1	19-20°C	20-21°C	22-23°C	21-22°C	22-23°C	23-24°C
2	16-17°C	20-21°C	22-23°C	20-21°C	23-24°C	24-25°C
3	19-20°C	21-22°C	23-24°C	22-23°C	24-25°C	25-26°C
4	17-18°C	18-19°C	20-21°C	21-22°C	23-24°C	24-25°C
5	19-20°C	21-22°C	22-23°C	22-23°C	23-24°C	25-26°C
6	16-17°C	19-20°C	22-23°C	21-22°C	22-23°C	24-25°C
7	17-18°C	20-21°C	21-22°C	21-22°C	23-24°C	23-24°C
8	20-21°C	21-22°C	22-23°C	23-24°C	24-25°C	26-27°C
9	18-19°C	21-22°C	24-25°C	20-21°C	22-23°C	25-26°C
10	16-17°C	17-18°C	19-20°C	22-23°C	23-24°C	25-26°C
11	17-18°C	18-19°C	19-20°C	22-23°C	23-24°C	25-26°C
12	17-18°C	18-19°C	19-20°C	22-23°C	24-25°C	26-27°C
13	19-20°C	20-21°C	21-22°C	22-23°C	23-24°C	24-25°C
14	19-20°C	20-21°C	21-22°C	23-24°C	24-25°C	25-26°C
15	19-20°C	20-21°C	21-22°C	21-22°C	22-23°C	24-25°C
16	19-20°C	21-22°C	22-23°C	22-23°C	23-24°C	24-25°C
17	20-21°C	21-22°C	23-24°C	21-22°C	23-24°C	25-26°C
18	18-19°C	19-20°C	21-22°C	20-21°C	22-23°C	24-25°C
19	19-20°C	20-21°C	22-23°C	22-23°C	23-24°C	24-26°C

In Tabelle 7-1 sind die Innenraumlufttemperaturen in den Wohnzimmern der 19 untersuchten Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) und im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017) dargestellt. Dazu wurde jeweils das Median-Temperaturintervall und die Temperaturintervalle in denen bzw. über und unter denen in 10% der Zeit maximale bzw. minimale Temperaturen gemessen wurden (0,1- und 0,9-Quantil) ermittelt. Die Werte sind in Abbildung 7-3 mit den Innenraumlufttemperaturen im Winter und den Innenraumlufttemperaturen im Sommer aufgetragen und mit den Auslegungstemperaturen (z.B. Annahmen und Ziele in der Planung) in Beziehung gesetzt. Die Gebäude werden in dem Diagramm in die Quadranten „Winter kühl/Sommer warm“, „Winter kühl/Sommer kühl“, „Winter warm/Sommer warm“ und „Winter warm/Sommer kühl“ eingeordnet.

Die Gebäude 1, 2, 13, 14, 15 und 19 fallen im Median im Winter in das „Wunschtemperaturintervall“ 20-21°C, Gebäude 4, 6, 7, 10, 11, 12 und 18 werden kälter betrieben, während in den Gebäuden 3, 5, 8, 9, 16 und 17 im Median der Zeit überhöhte Temperaturen vorliegen (grüne Nummern). Die blauen Gebäudenummern beziehen sich auf die kältesten 10% im Winter und im Sommer. Die roten Gebäudenummern beziehen sich auf die 10% wärmsten Temperaturen im Winter und im Sommer. Die Werte für Gebäude 4 und 5 sind markiert. Aus dieser Darstellung ist abzulesen, dass beispielsweise Gebäude 5 im Winter und auch im Sommer wärmer ist als Gebäude 4. Es ist das Ziel dieser Darstellung die Charakteristik der Innenraumtemperaturen mit baulichen Eigenschaften des Gebäudes in Beziehung zu setzen. Dies erfolgt in Abbildungen 7-4 bis 7-7.



In den folgenden Abbildungen sind der Darstellung Informationen zu Eigenschaften der untersuchten Gebäude überlagert.



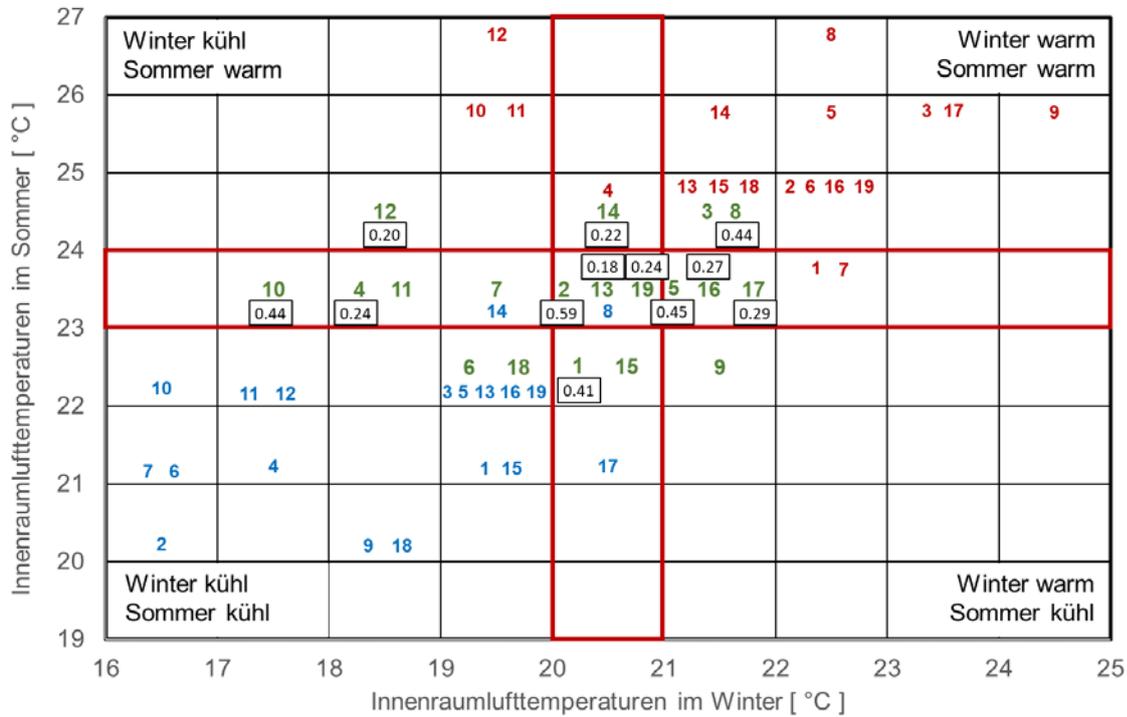


Abbildung 7-5: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu HT'-Werten der Gebäudehülle der untersuchten Gebäude

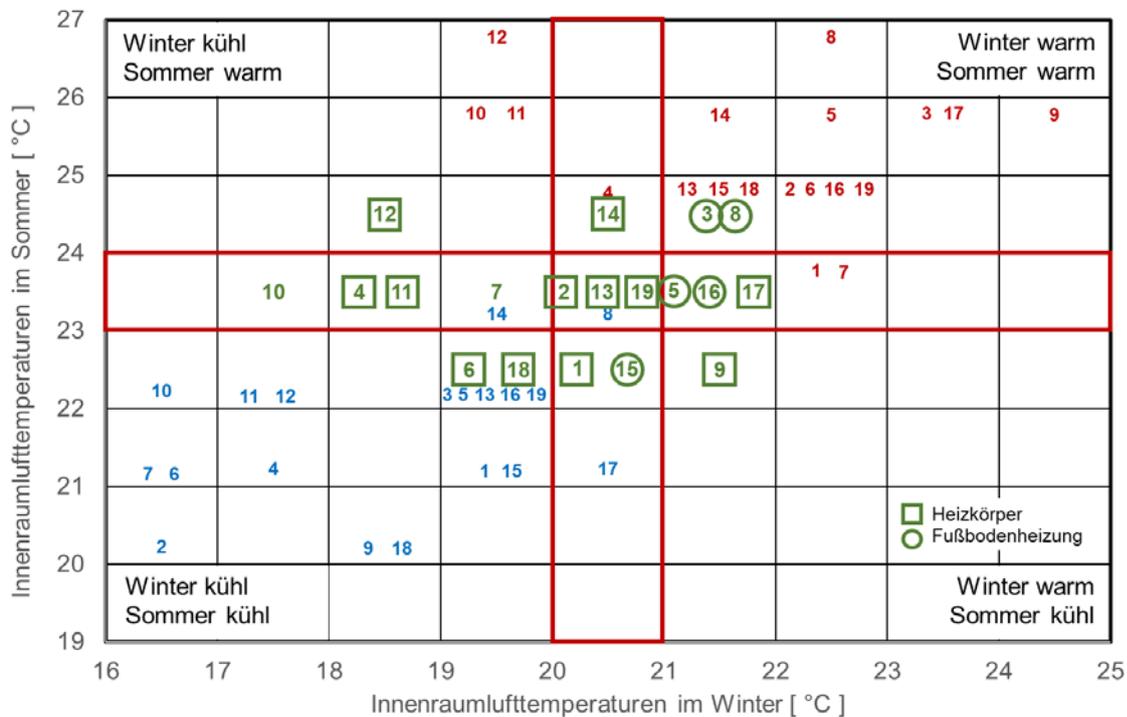


Abbildung 7-6: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu den Systemen der Wärmeübergabe der untersuchten Gebäude

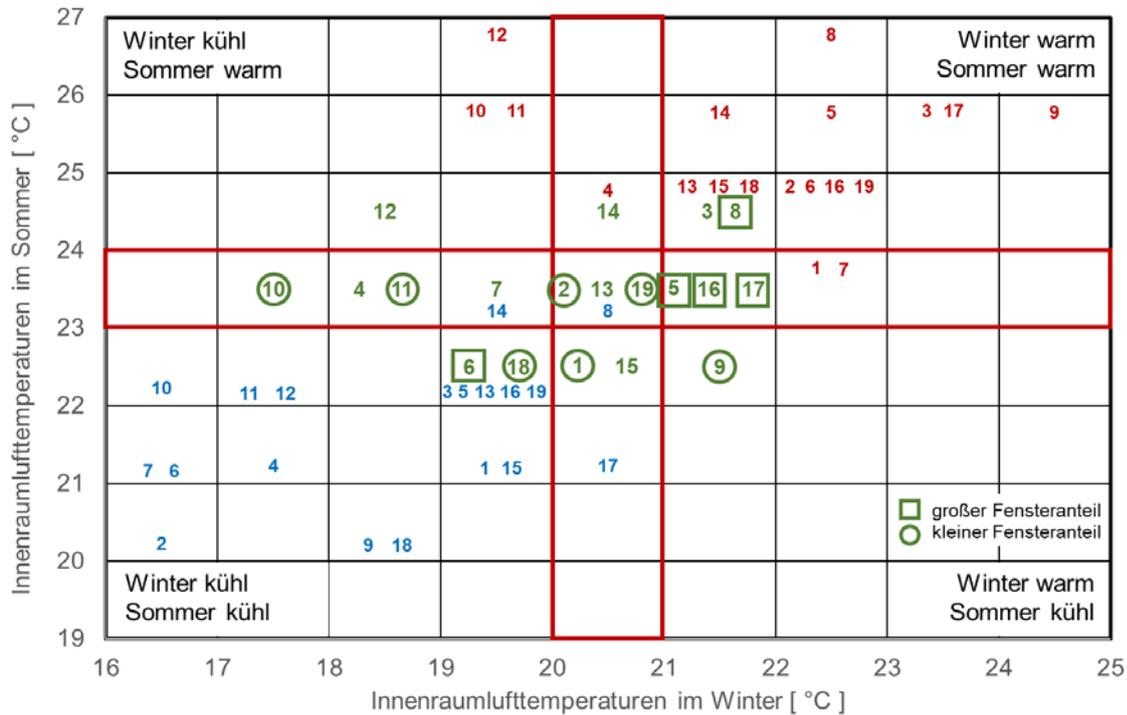


Abbildung 7-7: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu den Fensterflächenanteilen der untersuchten Gebäude

Für die Gebäudeenergiestandards und die Qualität der Gebäudehülle ergeben sich keine einheitlichen Zusammenhänge. Der Gebäudeenergiestandard führt demnach nicht zu charakteristischen Nutzungstemperaturen in Wohngebäuden.

In der Darstellung des Heizsystem ist auffällig, dass vier der fünf Gebäude mit Fußbodenheizung (Gebäude 3, 5, 8, 16) im Median im Winter mit höheren Lufttemperaturen betrieben werden, als die Gebäude mit Heizkörpern (Ausnahme Gebäude 9 und 17). Dies deutet auf einen erhöhten Energieverbrauch für Heizen im Winter hin und widerspricht dem Konzept der Strahlungsheizung, nach dem mit der Strahlungsheizung bei geringeren Lufttemperaturen komfortable Bedingungen hergestellt werden können. Auch ist in den Ergebnissen zu sehen, dass die Temperaturen in Gebäude mit Fußbodenheizung weniger abgesenkt werden als in Gebäuden mit Heizkörpern. Demnach scheinen Fußbodenheizungen weniger energiesparend geregelt werden zu können.

Auch Gebäude mit augenscheinlich größerem Fensterflächenteil (Gebäude 5, 8, 16, 17, Ausnahme Gebäude 6) weisen in der Auswertung erhöhte Raumlufttemperaturen auf. Dies könnte damit erklärt werden, dass die Strahlungsasymmetrie durch kühle Oberflächentemperaturen der Fenster im Winter durch Heizung mit erhöhten Lufttemperaturen ausgeglichen wird. Eine andere Erklärung könnte in dem Beitrag solarer Gewinne liegen, allerdings wäre so nicht der hohe Zeitanteil (Median) in den Wintermonaten zu erreichen.

Diese Zusammenhänge sollten mit einem größeren Datensatz weiter untersucht werden, da sowohl ein hoher Fensterflächenanteil als auch die Fußbodenheizung heute Bestandteile moderner Wohngebäudeentwürfe sind.

Im Vorgriff auf die Auswertung der Ergebnisse der Nutzerbefragungen in den Gebäuden 4, 5, 14, 16 und 18 (Gebäude mit über 30 Befragungen) werden in den Abbildungen die zugehörigen Temperaturprofile im Sommer Abbildung 7-8 und im Winter Abbildung 7-9 gegeben.

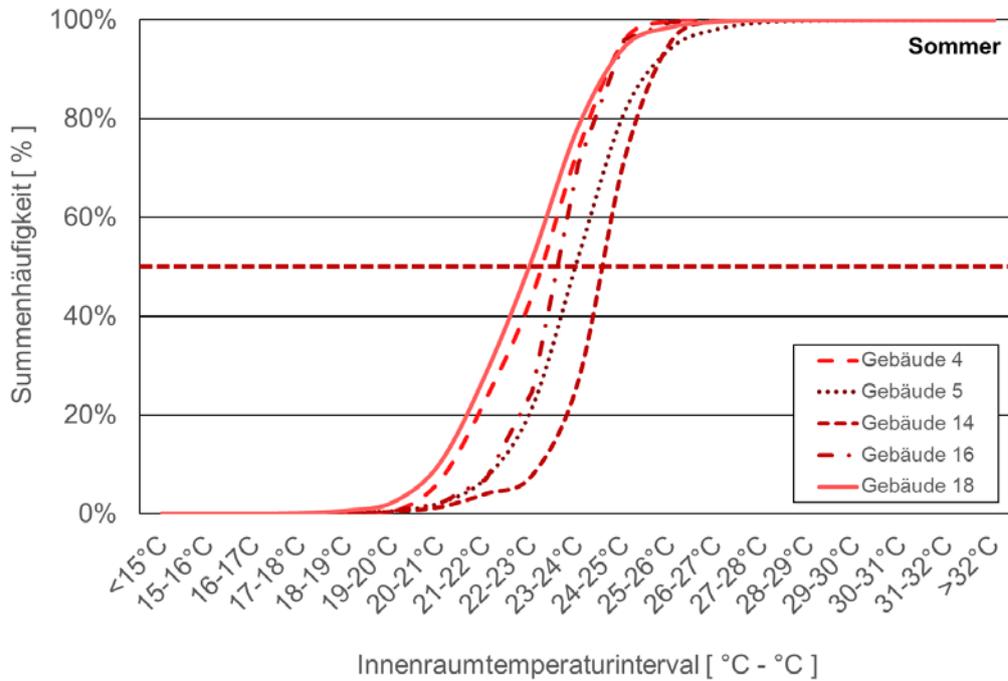


Abbildung 7-8: Summenhäufigkeit von gemessenen Innenraumtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für fünf Gebäude (4, 5, 14, 16,18) im Sommer (01.06.2016 – 31.08.2016)

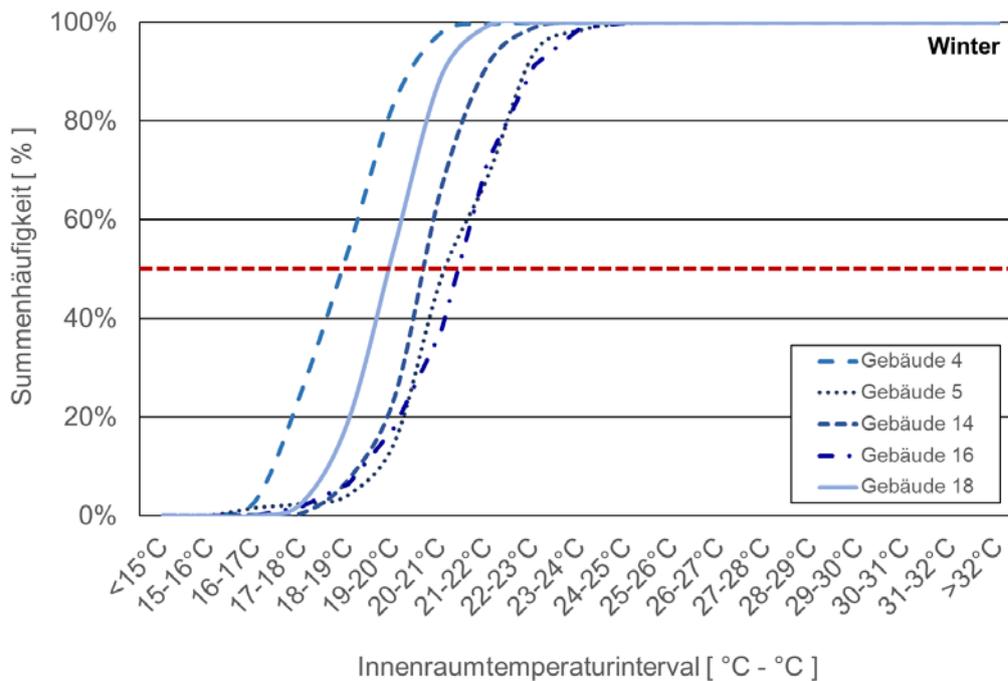


Abbildung 7-9: Summenhäufigkeit von gemessenen Innenraumtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für fünf Gebäude (4, 5, 14, 16,18) im Winter (01.12.2016 – 28.02.2017)

Es ist erkenntlich, dass Gebäude 14 im Sommer die höchsten Innenraumlufttemperaturen aufweist. Sie liegen in 50% der Zeit im Temperaturintervall 23-24°C oder darüber. Gebäude 18 ist im Sommer im Mittel (bezogen auf den Median der Werte) kühler als alle anderen Gebäude. In Gebäude 18 liegen die Innenraumlufttemperaturen in 50% der Zeit im Temperaturintervall 22-23°C oder darüber. Gebäude 16 weist im Sommer eine steilere Summenhäufigkeitskurve auf, die Innenraumtemperaturen sind folglich einheitlicher als in den anderen Gebäuden (Intervalle 22-23°C und 23-24°C).

Gebäude 4 ist im Winter im Mittel (bezogen auf den Median der Werte) deutlich kühler als alle anderen Gebäude und besonders als Gebäude 5 und 16. Im Gebäude 4 liegen die Innenraumlufttemperaturen in 50% der Zeit im Temperaturintervall 18-19°C oder darunter. Im Gebäude 6 und 16 liegen die Innenraumlufttemperaturen in 50% der Zeit im Temperaturintervall 20-21°C oder darüber. Gebäude 14 weist eine steilere Summenhäufigkeitskurve auf, die Innenraumtemperaturen sind folglich einheitlicher als in den anderen Gebäuden (Intervalle 19-20°C und 20-21°C), was auf ein gute Regelbarkeit der Innenraumtemperaturen hindeutet.

### 7.1.2. Innenraumluftqualitäten (CO<sub>2</sub>-Konzentration)

Der Vergleich der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Sommer und im Winter zeigt, dass in den meisten Gebäuden im Sommer geringere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen vorliegen als im Winter. Dies deutet auf den Einsatz einer Fensterlüftung und ein aktives Lüftungsverhalten bzw. Dauerlüftung hin. Weiterhin ist im Vergleich zwischen den Konzentrationen im Wohn- und im Schlafzimmer zu erkennen, dass die Luftqualitäten im Wohnzimmer besser sind als im Schlafzimmer.

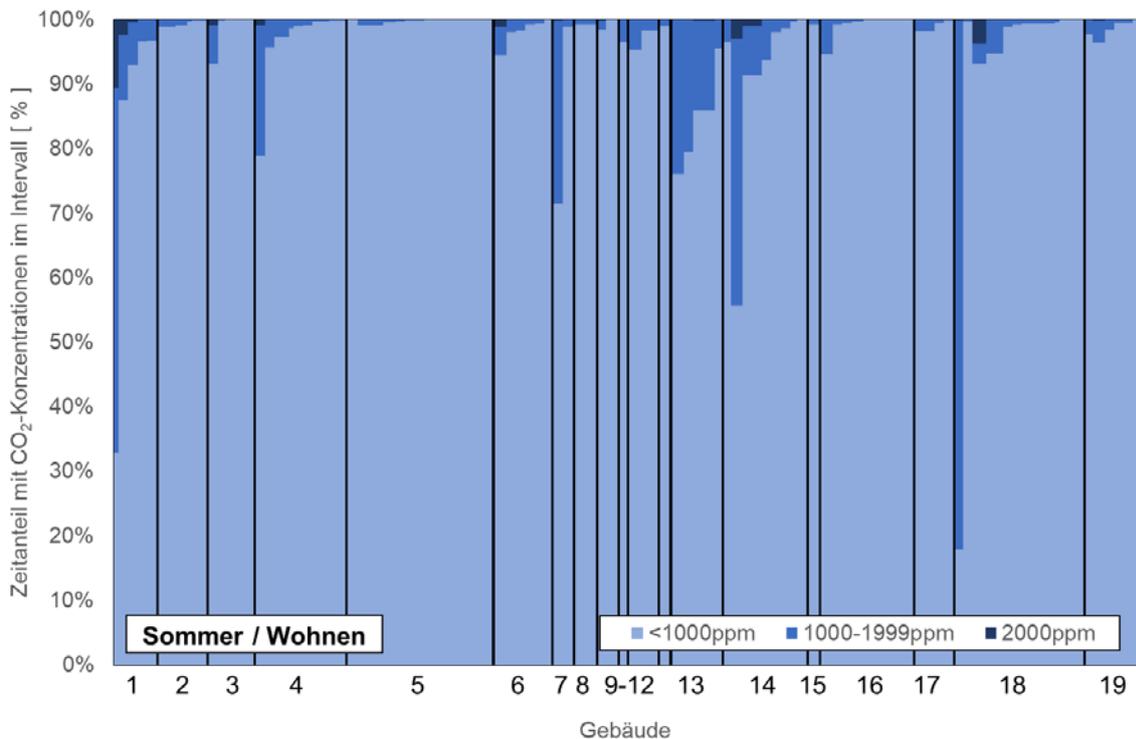


Abbildung 7-10: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016)

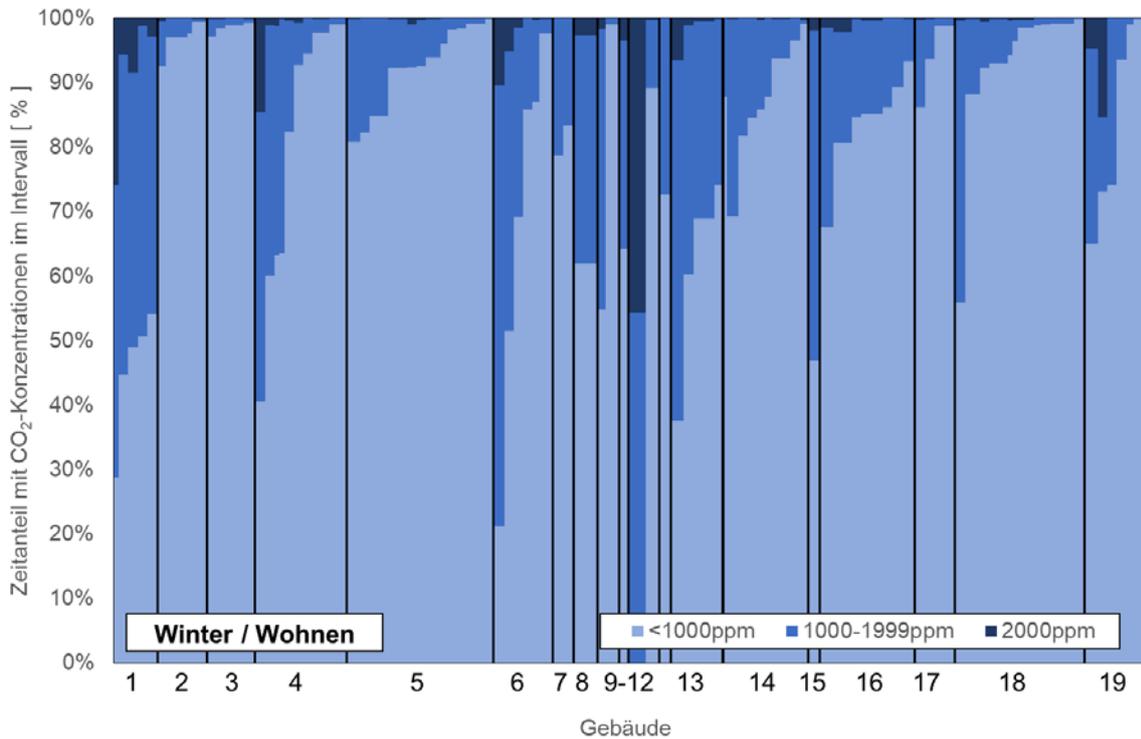


Abbildung 7-11: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017)

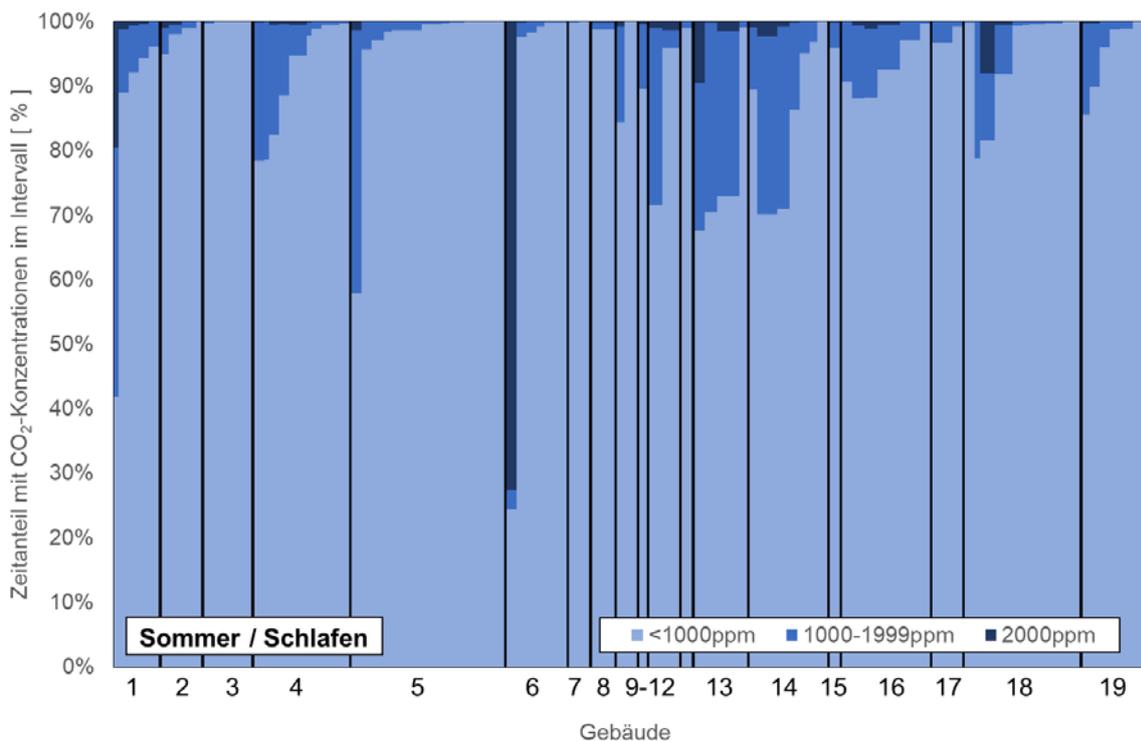


Abbildung 7-12: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Schlafzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016)

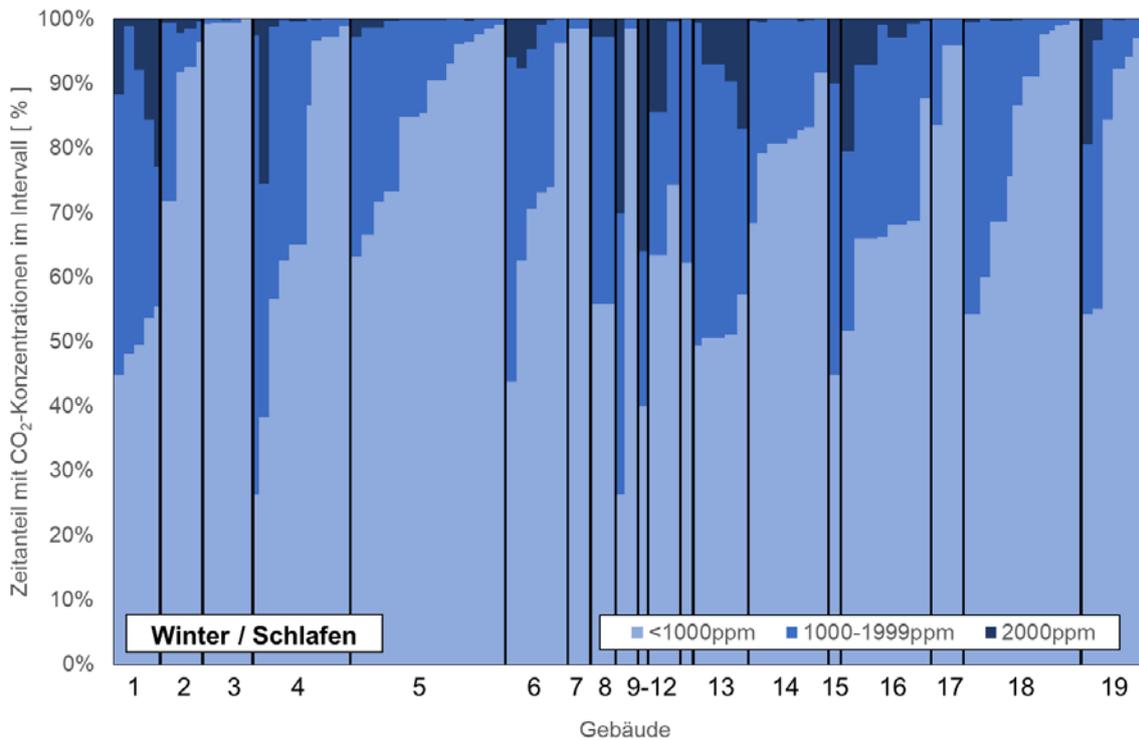


Abbildung 7-13: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Schlafzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02. 2017).

In Abbildung 7-14 ist das Verhältnis der Innenraumluftqualität im Wohnzimmer im Winter und im Sommer dargestellt. In den Gebäuden 2, 3, 5, 7, 18, 14 und 17 ist die Raumluftqualität im Winter und im Sommer ähnlich, was auf ein ähnliches Lüftungsverhalten bzw. auf einen einheitlichen Lüftungsbetrieb im Sommer und in Winter hindeutet. In den übrigen Gebäuden liegen im Winter höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration als im Sommer vor. In den Gebäuden mit Fensterlüftung (Gebäude 1, 2, 8 und 11) sind die Zeiten mit CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 1000ppm im Sommer geringer als 15%, beziehungsweise für die Gebäude 2, 8, 11 sogar geringer als 5%. Im Winter hingegen liegen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen oberhalb 1000ppm in über 60% (Gebäude 11), über 50% (Gebäude 1) und über 35% (Gebäude 8) der Zeit vor. Eine Ausnahme bildet hier Gebäude 2 in dem bei einem recht kühlen Temperaturprofil (siehe Abbildung, Winter) auch im Winter keine Überhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration vorliegt.

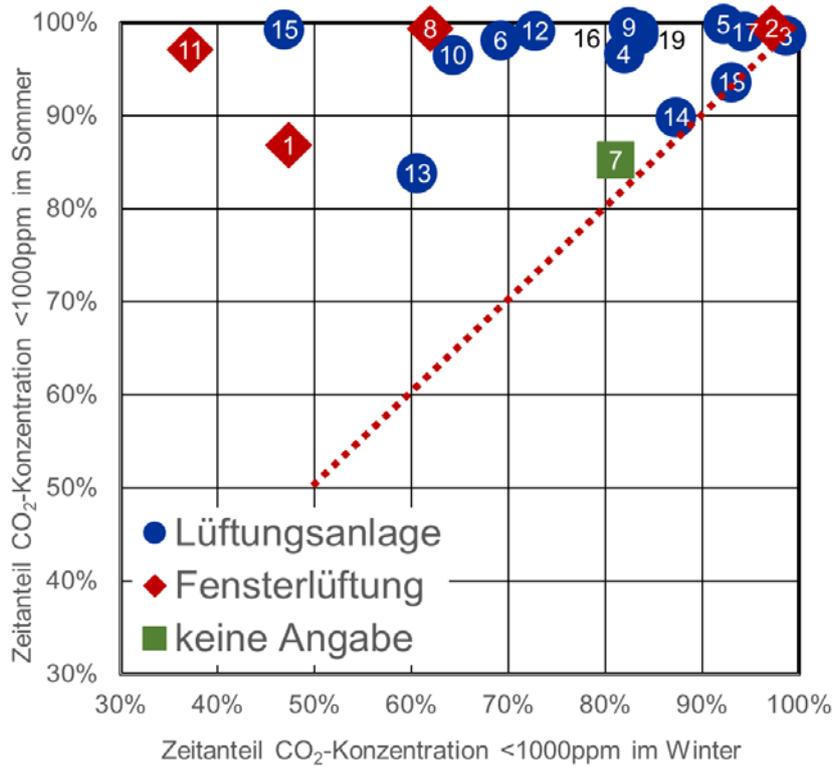


Abbildung 7-14: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) im Verhältnis zum Winter (01.12.2016 - 28.02.2017) mit Zuordnung der Lüftungstechnik.

## 7.2. Vergleich der gemessenen Bauphysik und Raumklima Werte zu subjektiver Wahrnehmung der Nutzer

### 7.2.1. Auswertung des Gesamtdatensatzes

Zunächst wird der Gesamtdatensatz mit insgesamt 437 Befragungen in den 19 untersuchten Gebäuden ausgewertet. Die Verteilung der Temperaturbewertungen, die von einem neutralen Empfinden abweichen zeigen, dass die Gebäude weniger als kühl und öfter als warm wahrgenommen werden. Dies ist damit zu erklären, dass durch die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik (Heizsysteme) wirksame Adaptionmöglichkeiten bei kalten Außenbedingungen vorhanden sind, während die Gebäude bei erhöhten Außentemperaturen passiv reagieren müssen und die Innentemperaturen nicht aktiv vom Nutzer angepasst werden können.

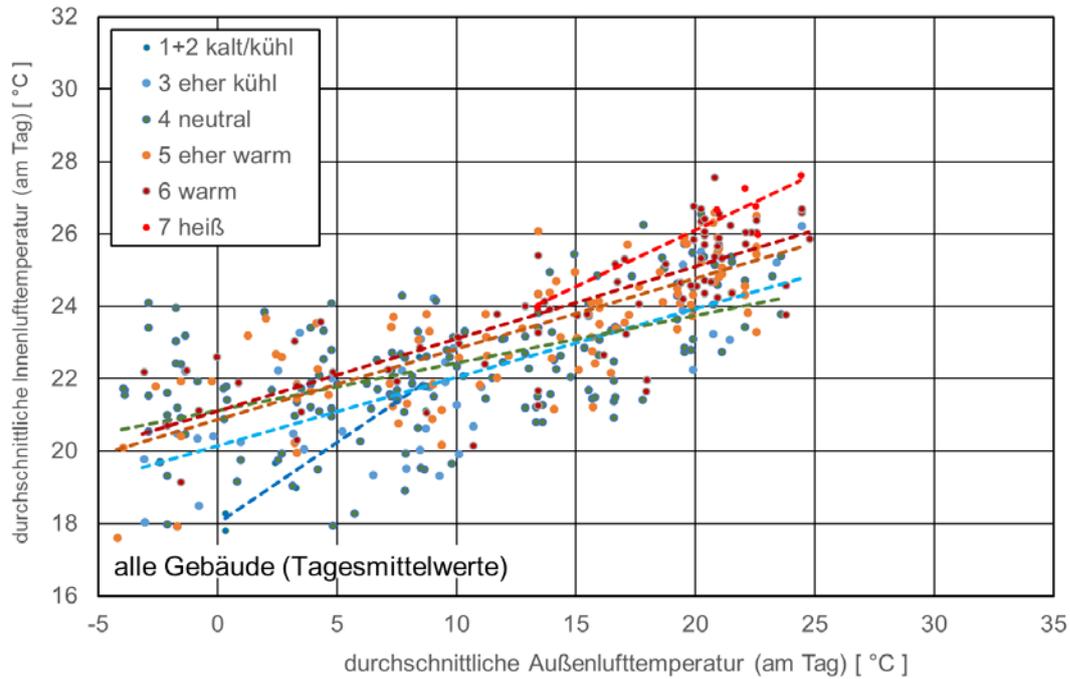


Abbildung 7-15: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur am Tag der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl/kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation  $R^2$  siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.

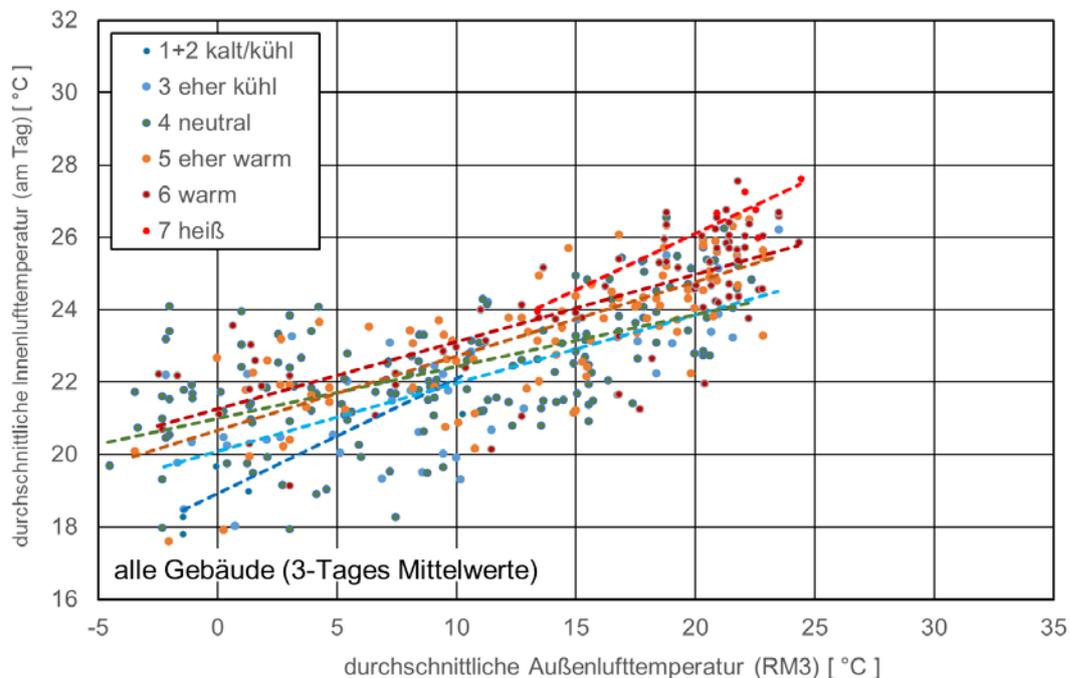


Abbildung 7-16: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur in dem 3-Tages Zeitraum vor der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, „kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation  $R^2$  siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.

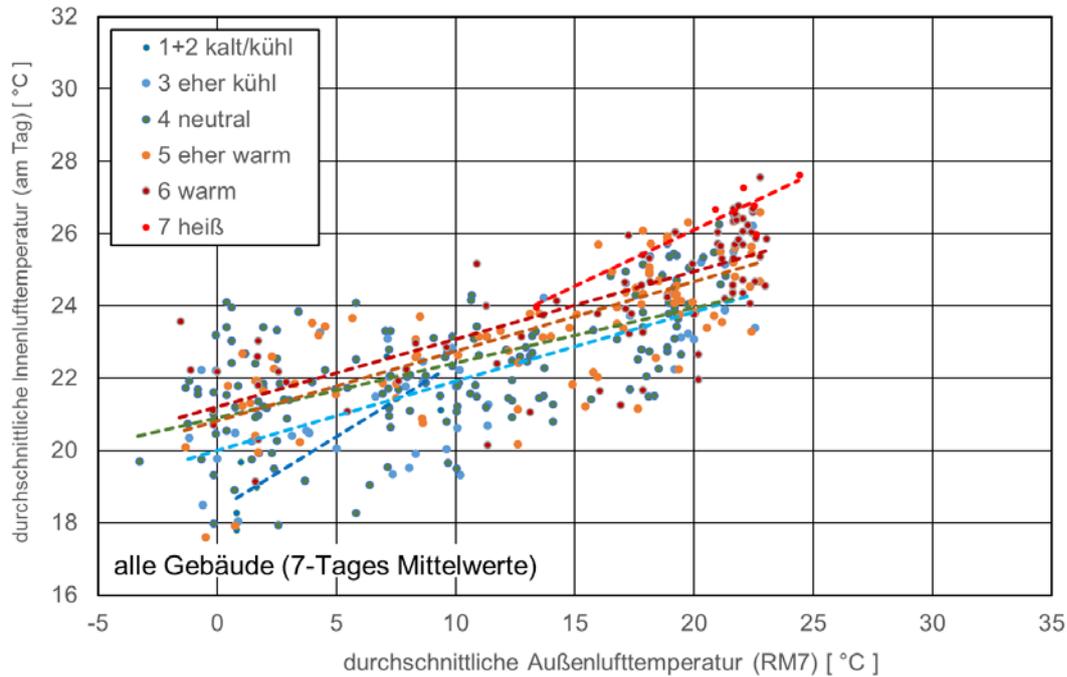


Abbildung 7-17: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur in dem 7-Tages Zeitraum vor der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, „kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation  $R^2$  siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.

Tabelle 7-2: Korrelation  $R^2$  Auswertung des gesamten Datensatzes für die Trendlinien in Abbildungen 7-15 bis 7-17., Gruppen 1 und 2 wurde auf Grund geringer Fallzahlen zusammengefasst.

Antwort	Fälle	Korrelation $R^2$		
		am Tag	RM3	RM7
7 heiß	6	0,8532	0,7290	0,5513
6 warm	80	0,6512	0,5667	0,5702
5 eher warm	106	0,5974	0,5901	0,5511
4 neutral	172	0,3403	0,3748	0,3961
3 eher kühl	48	0,5357	0,4900	0,5049
1+2 kalt/kühl	6	0,8774	0,7397	0,7144

Die Abbildungen 7-15 bis 7-17 zeigen die Korrelationen der durchschnittlichen Tagesinnenraumlufthtemperaturen im Wohnzimmer geclustert nach den Wahrnehmungen (heiß, warm, eher warm, neutral, eher kühl und kühl/kalt) mit der durchschnittlichen Außenlufttemperatur am Tag der Befragung, in einem 3-Tages-Zeitraum vor der Befragung und in einem 7-Tages-Zeitraum vor der Befragung. Die Ergebnisse sind durch die geringen Fallzahlen statistisch streng genommen nicht belastbar. Es wird jedoch tendenziell gezeigt, dass die Bewertung als neutrales Temperaturempfinden (Bewertung 4) nicht mit den Außenbedingungen korreliert ( $R^2 < 0,4$ , siehe Tabelle 7-2). Der höchste Korrelationskoeffizient  $R^2$  ergibt sich allerdings für dieses Cluster (Bewertung 4) in Bezug auf den 7-Tages-Zeitraum. Dies deutet darauf hin, dass die Innenraumbedingungen bei neutralem Temperaturempfinden in den Gebäuden die

aktuellen Tagesbedingungen eine geringere Rolle spielen und dass das Temperaturempfinden eher durch längerfristige Temperaturbedingungen (7-Tages Zeitraum) beeinflusst wird.

Temperaturbewertungen, die von der neutralen Bewertung abweichen, zeigen eine höhere Korrelation mit den Außentemperaturen am Tag der Befragung, als mit den längerfristigen Temperaturbedingungen. Auch korrelieren extreme Bewertungen (heiß und kühl) mit höheren Korrelationskoeffizienten ( $R^2 > 0,8$ ) als moderate Bewertungen (eher warm und eher kühl) mit Korrelationskoeffizienten ( $R^2 > 0,5$ ). Dies deutet daraufhin, dass sich die Grenzen der Adaptionmöglichkeiten zur Erreichung eines neutralen Temperaturempfindens in den Bewertungen widerspiegeln und dass dann kurzfristige (regelbare) Strategien notwendig sind, um komfortable Bedingungen herzustellen.

Auch ist auffällig, dass die Trendlinien der nicht-neutralen, aber moderaten Temperaturbewertungen (warm, eher warm und eher kühl) parallel verlaufen und dass auch die Trendlinien der extremen Temperaturbewertungen (heiß und kühl/kalt) an beiden Enden der Skala mit einer anderen Steigung als die moderaten Bewertungen parallel verlaufen.

### 7.2.2. Vergleich der Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18

Der Vergleich der Gebäude ist auf Grund der geringen Fallzahlen nicht statistisch aussagekräftig zu führen. Es werden hier jedoch die Gebäude (4, 5, 14, 16, 18) mit mindestens 30 Befragungsdatensätzen miteinander verglichen.

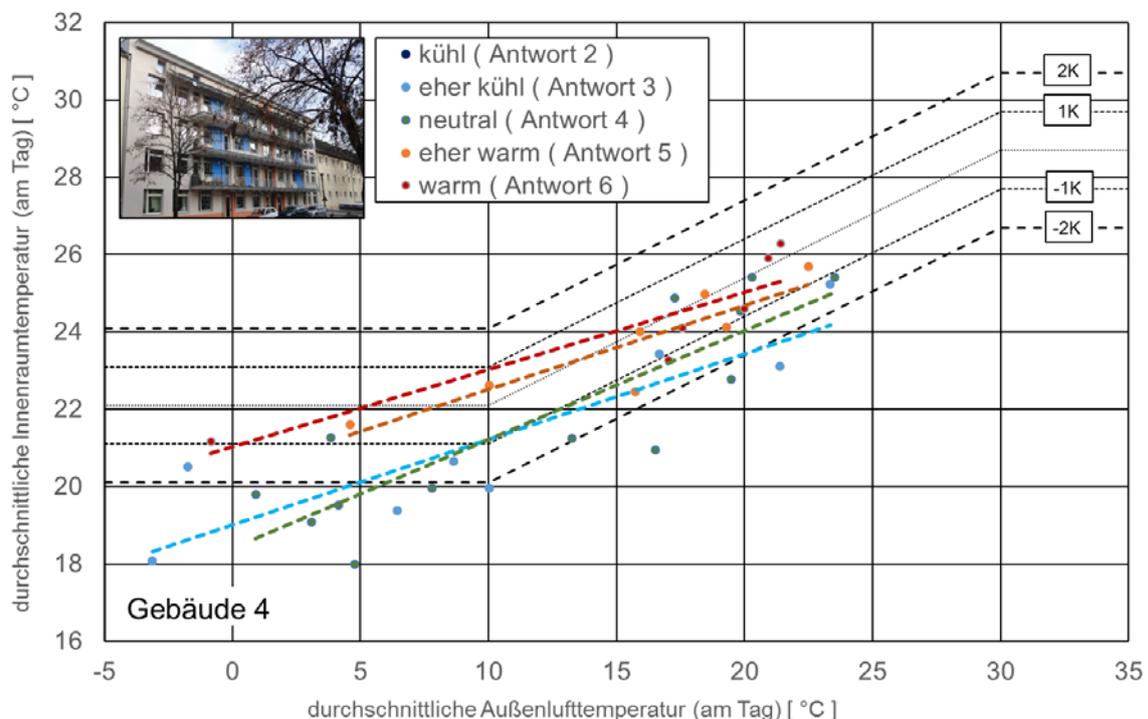


Abbildung 7-18: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 4

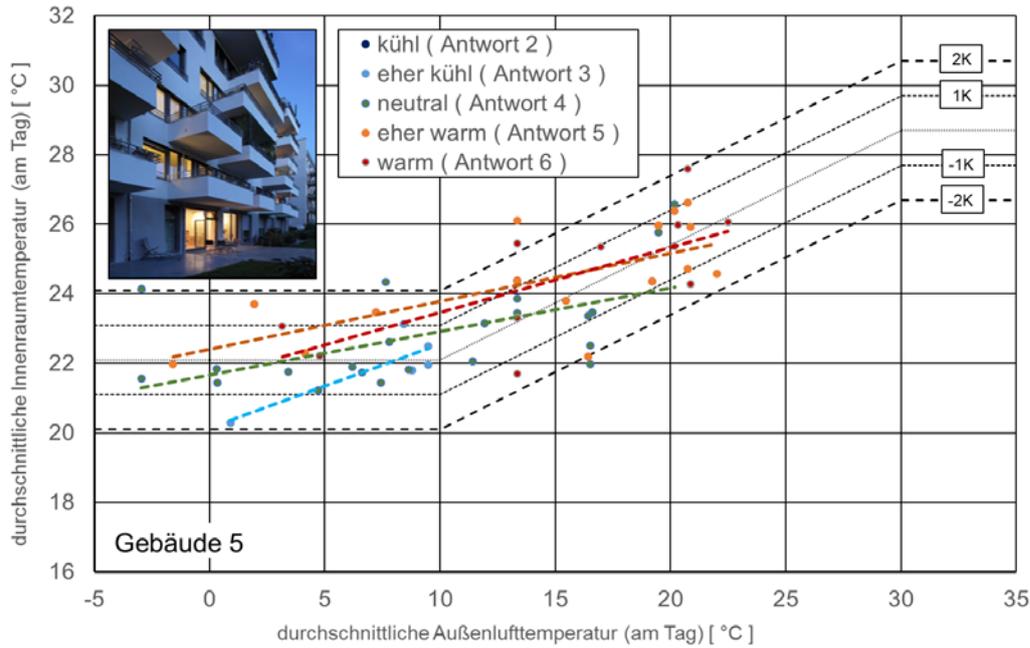


Abbildung 7-19: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5

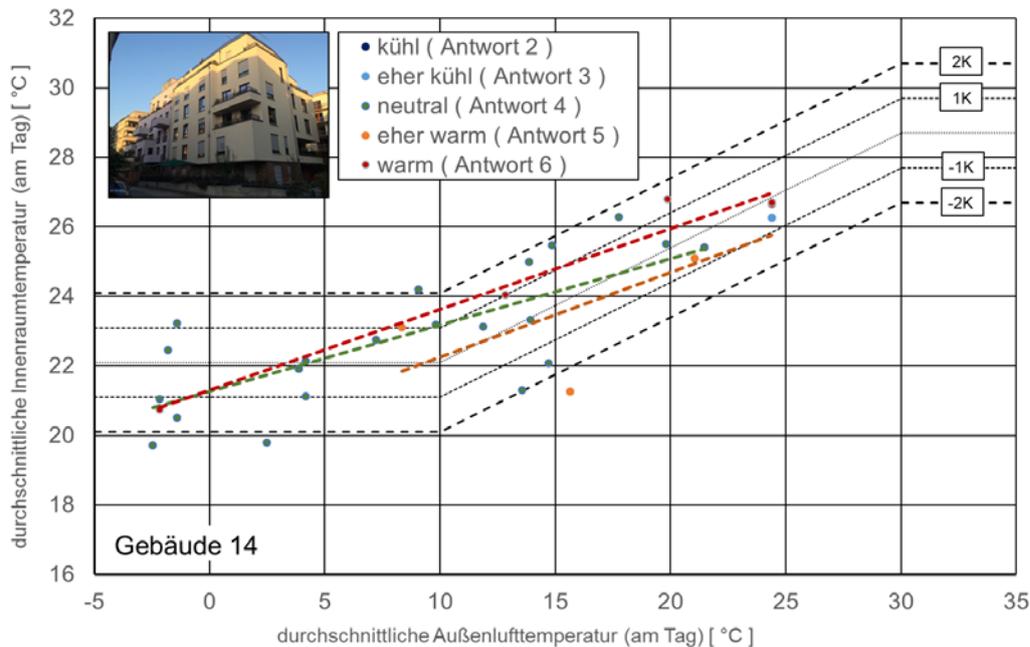


Abbildung 7-20: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 14

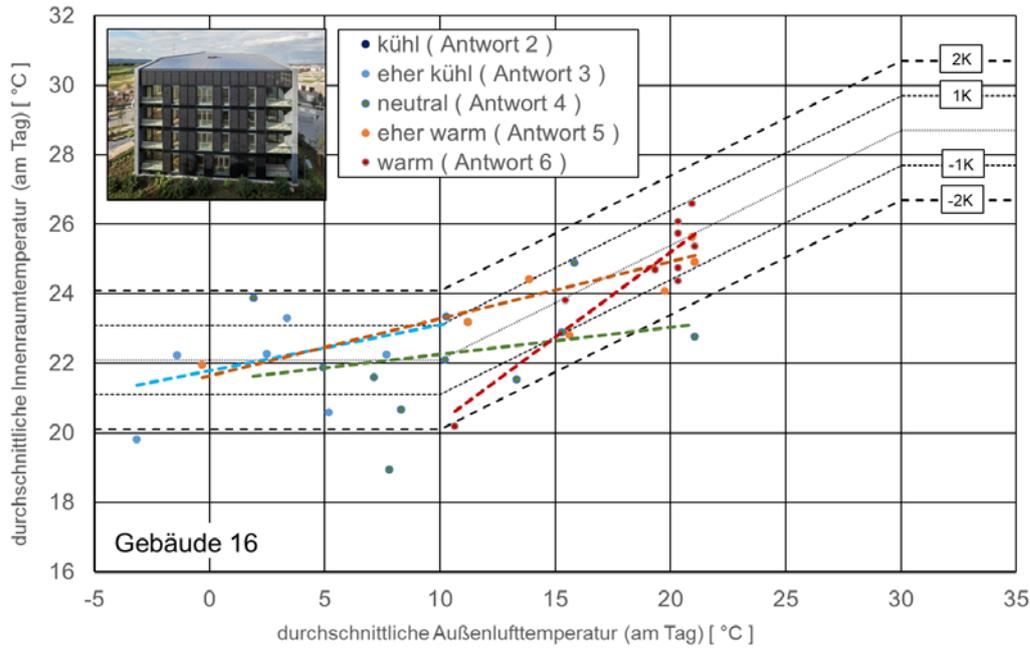


Abbildung 7-21: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 16

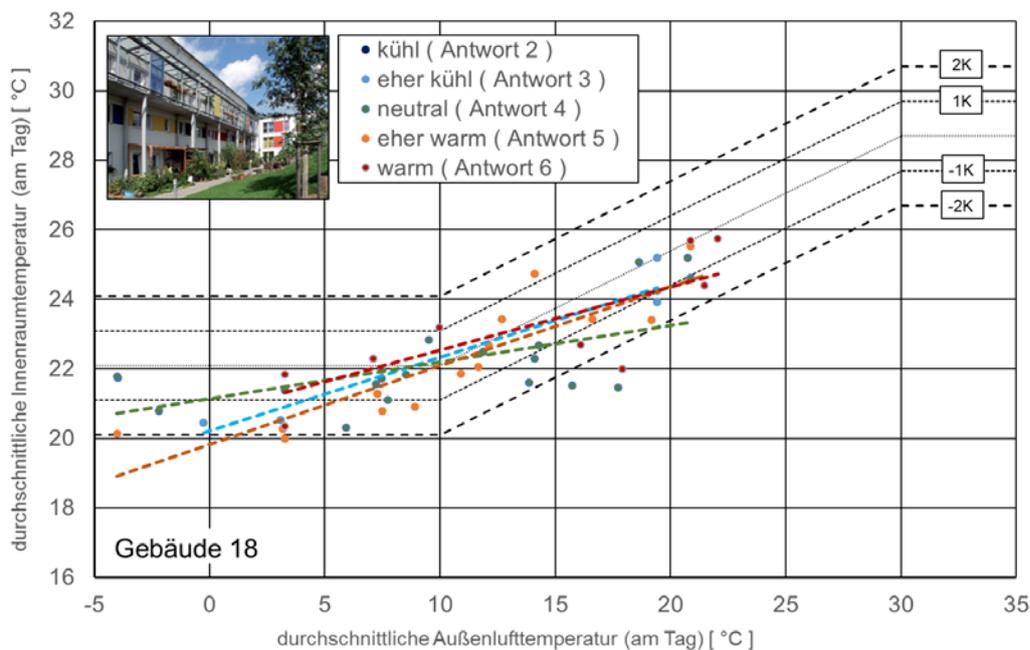


Abbildung 7-22: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 18

In den Abbildungen 7-18 bis 7-22 sind für die Bewertungscluster (kühl, eher kühl, neutral, eher warm, warm, ohne die Bewertungen kalt und heiß, da in diesen Kategorien nur geringe Fallzahlen vorliegen) die durchschnittlichen Außenlufttemperaturen zu den durchschnittlichen Innenraumlufttemperaturen am Tag der Befragung in den 5 betrachteten Gebäuden in Beziehung gesetzt. In den Diagrammen ist zusätzlich das adaptive Komfortmodell (DIN EN 15251) aus Tabelle 5-5 in Abschnitt 5.2 mit den Erwartungsbereichen (+/-1K und +/-2K) eingetragen.

Die Tendenz, dass bei steigenden Außentemperaturen höhere Innenraumtemperaturen akzeptiert werden und bei niedrigen Außentemperaturen niedrigere Innenraumtemperaturen akzeptiert werden, bestätigt sich erwartungsgemäß (adaptives Komfortmodell). Es zeigt sich aber auch, dass die Innenraumluftdurchschnittstemperatur auch an Tagen mit nicht-neutraler Temperaturbewertung in vielen Fällen innerhalb des durch die Norm vorgegebenen Auslegungsbereiches für neutrale Komfortbewertung liegt. Auch die neutralen Bewertungen liegen innerhalb des vorgegebenen Bereiches.

Diese Diskussion der Ergebnisse wird in den Abbildung 7-23 und Abbildung 7-24 durch die Auswertung der maximalen und der minimalen Innenraumtemperaturen am Tag der Befragung in Gebäude 5 (Gebäude mit den meisten Befragungsdatensätzen, 61 Datensätze) ergänzt. Auch diese Bezüge bestätigen das in DIN EN 15251 angenommene Komfortmodell nicht, da es in allen Fällen Raumzustände im komfortablen Bereich der Norm vorliegen, die von den Bewohnern als neutral, warm oder auch kalt bewertet werden. Dies bedeutet, dass in Gebäuden, die nach dem Komfortmodell ausgelegt sind potentielle thermisch komfortable Bedingungen bereitstellen, diese Bedingungen, aber nicht immer und zuverlässig zu positiven (neutralen) Temperaturbewertungen führen.

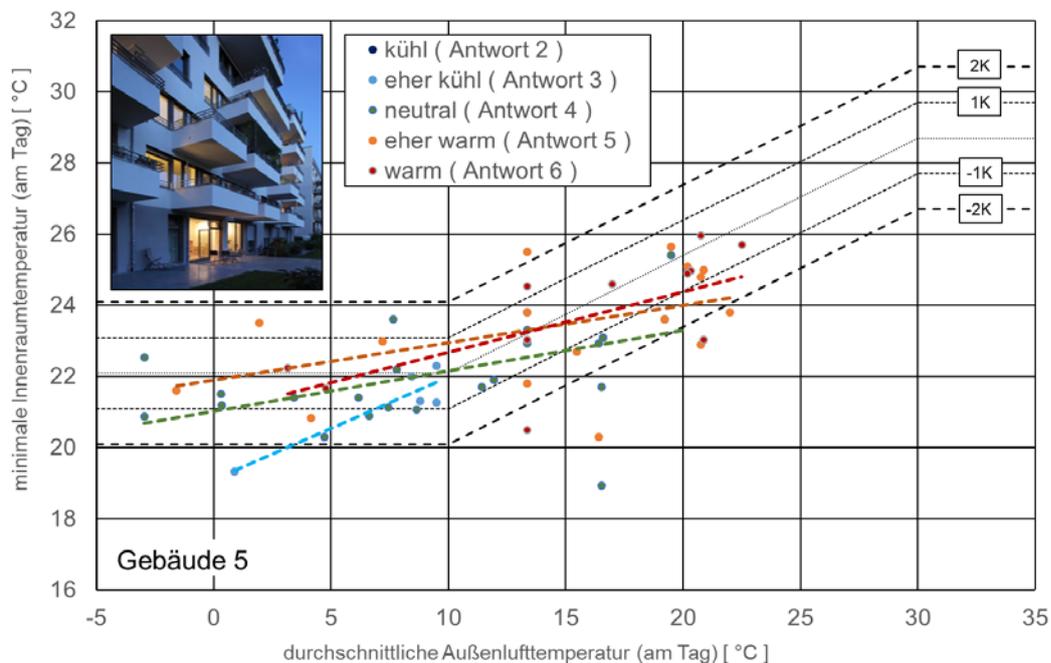


Abbildung 7-23: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der minimalen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5

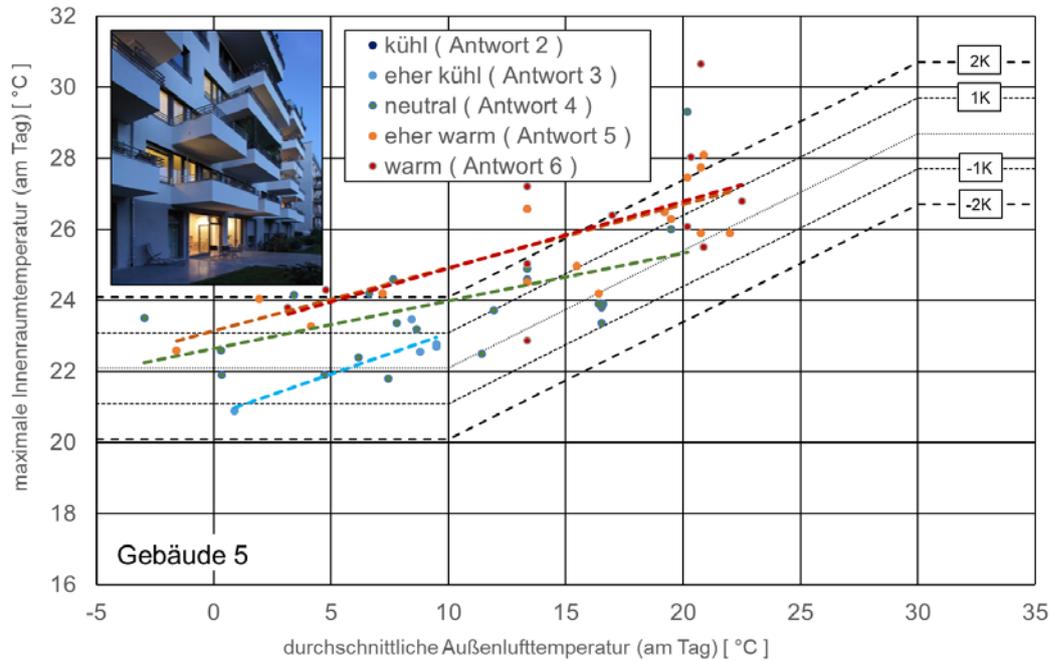


Abbildung 7-24: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der maximalen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppirt nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5

Tabelle 7-3: Vergleichende Auswertung für durchschnittliche Außentemperaturen am Tag

Gebäude		4	5	14	16	18
						
Antwort		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
6	warm	0,8144 (5)	0,4823 (12)	0,9636 (5)	0,8576 (10)	0,6968 (12)
5	eher warm	0,8023 (6)	0,4772 (17)	0,5167 (14)	0,6576 (9)	0,8017 (15)
4	neutral	0,7601 (12)	0,3680 (26)	0,6155 (24)	0,0683 (12)	0,3776 (21)
3	eher kühl	0,8274 (8)	0,6967 (5)	-	0,1740 (8)	0,9331 (5)
2	kühl	-	-	-	-	-

Ergänzt wird die vorausgegangene Betrachtung durch die Auswertung der Abhängigkeiten in Abbildung 7-18 bis 7-22. Dazu sind in Tabelle 7-3 Korrelationskoeffizienten der Trendlinien der einzelnen Bewertungscluster aufgeführt.

Während sich für Gebäude 4 hohe Korrelationskoeffizienten für alle Cluster ergeben ( $R^2 > 0,75$ ), also eine hohe Abhängigkeit der Außen- und Innenraumlufttemperaturen vorhanden ist, deuten die Korrelationen für Gebäude 5 auf geringe Zusammenhänge zwischen den Außen- und den Innenraumlufttemperaturen hin.

Es ist anzunehmen, dass in Gebäude 5 andere Einflüsse, wie zum Beispiel die solaren Gewinne durch die großen Fensterflächen oder auch eine im warmen Bereich geregelte Fuß-

bodenheizung, die Innenraumbedingungen bestimmen. Auf der anderen Seite könnte auch eine Entkoppelung der durchschnittlichen Tagesaußenlufttemperaturen von den durchschnittlichen Tagesinnentemperaturen durch Speichereffekte in massiven Bauwerken die Abhängigkeiten beeinflussen, so dass sich wie für Gebäude 5 kleine Korrelationskoeffizienten ergeben.

Gebäude 16 befand sich während der Messungen und Befragungen noch innerhalb der notwendigen Einregelungsphase. Auf der einen Seite deutet die sehr niedrige Abhängigkeit des neutralen Clusters ( $R^2 < 0,1$ ) darauf hin, dass durch den Gebäudeentwurf und die Gebäudetechnik in weiten Bereichen von Außenlufttemperaturen als neutral empfundene Innenraumbedingungen erzeugt werden können. Dies ist auch durch die flache Trendlinien des neutralen Clusters in Abbildung 7-21 gezeigt.

Auf der anderen Seite deuten die relativ hohen Korrelationen des warmen Clusters für die Gebäude 4, 14 und 16 darauf hin, dass hier die Außenlufttemperaturen an warmen Tagen die Innenraumlufttemperaturen bestimmen. Die Außenlufttemperaturspitzen werden durch die Lüftung an das Innere übertragen und wenig durch beispielsweise thermische Speichereffekte reduziert. Diese Gebäude neigen augenscheinlich auch nicht dazu, bei solarer Einstrahlung an Tagen mit kalten und moderaten Außenlufttemperaturen zu überhitzen, was auf einen angemessenen Fensterflächenanteil bzw. auf einen wirksamen Sonnenschutz schließen lässt.

Diese Zusammenhänge und die aufgeführten Annahmen sollten in einem folgenden Projekt an Hand größerer Datensätze überprüft werden, da die Diskussion die Gebäudeeigenschaften, das Innenraumklima und das Empfinden der Nutzer in direkten Zusammenhang mit der Entwurfsqualität stellt.

### **7.2.3. Beziehung der Befragungsantworten zu den gemessenen Raumklimadaten**

In den Abbildungen 7-25 bis 7-27 sind die in der Befragung ermittelten Wahrnehmungen mit den mittleren gemessenen Raumklimadaten zum Zeitpunkt der Befragung in Beziehung gesetzt.

In Abbildung 7-25 sind die Antworten auf die Frage „Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumtemperatur im Wohnbereich?“ ausgewertet. Erwartungsgemäß wird die Temperatur bei höherer Temperatur wärmer bewertet. Bei wärmerer Temperaturbewertung liegen tendenziell auch höhere relative und absolute Feuchten vor. Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Innenraum sinkt bei steigendem Temperaturempfinden, was auf höhere Lüftungsraten bei höheren Temperaturen hindeutet.

In Abbildung 7-26 sind die Antworten auf die Frage „Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Raumluft im Wohnbereich?“ ausgewertet. Die relative und die absolute Feuchte zeigen den erwarteten Verlauf. Ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Temperaturwerten und dem Feuchteempfinden ist nicht eindeutig. Jedoch fällt die Feuchtebewertung „feucht“ mit hohen mittleren gemessenen Raumtemperaturen zusammen. Bei einem hohen Feuchteempfinden (eher feucht, feucht) liegen augenscheinlich niedrigere  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im Innenraum vor, was darauf hindeutet, dass in diesen Situationen mehr gelüftet wurde.

In Abbildung 7-27 sind die Antworten auf die Frage „Wie empfanden Sie in den letzten sieben Tagen tendenziell die Luftqualität im Wohnbereich?“ ausgewertet. Es ist eine leichte

Tendenz zu erkennen, dass bei der Bewertung „sehr stickig“ und „stickig“ höhere Temperaturen und niedrigere relative Feuchten vorliegen.

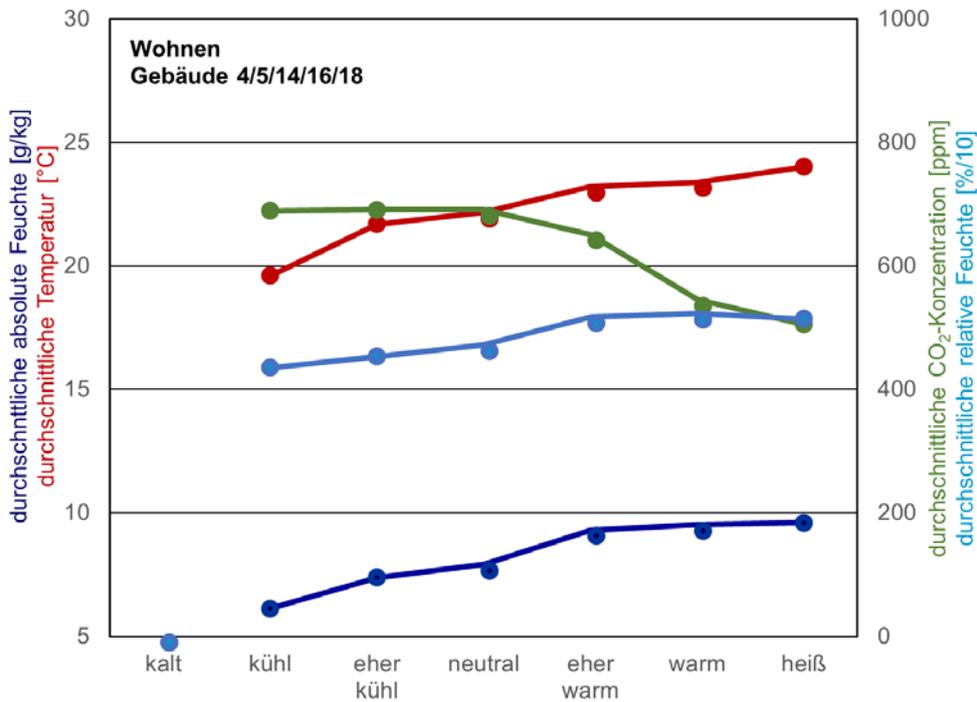


Abbildung 7-25: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w „Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumtemperatur im Wohnbereich?“) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.

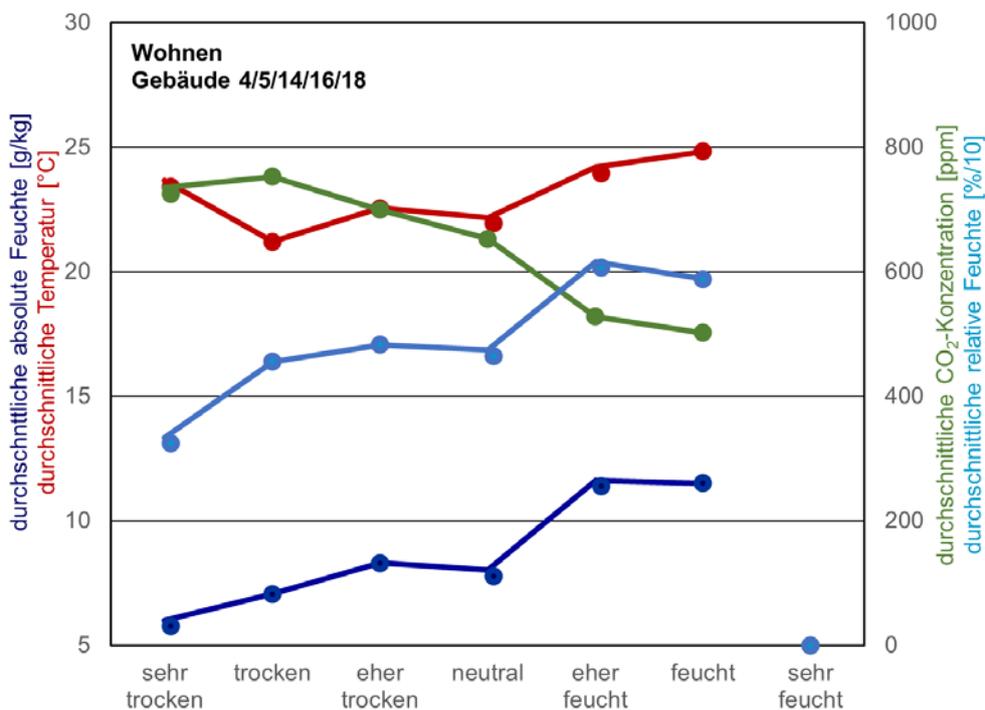


Abbildung 7-26: Beziehung zwischen der Feuchtewahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 12w „Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumluft im Wohnbereich?“) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.

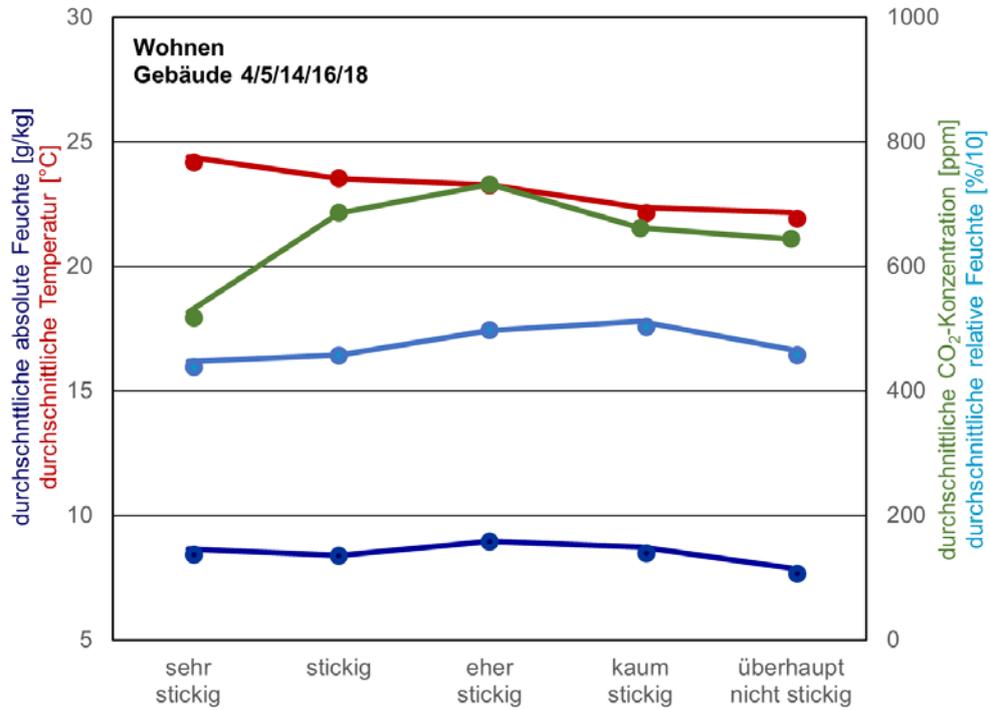


Abbildung 7-27: Beziehung zwischen der Wahrnehmung der Luftqualität im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 13w „Und wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Luftqualität im Wohnbereich?) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.

### 7.3. Gebäudeperformance aus Nutzersicht

Die Ergebnispräsentation erfolgt mittels Boxplots. Diese grafische Darstellungsform einer Häufigkeitsverteilung ist eine Zusammenfassung verschiedener Streuungs- und Lagemaße und vermittelt einen guten Eindruck, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen. Die Boxplotdarstellung ist geeignet für den Vergleich von Verteilungen und ermöglicht es an dieser Stelle, den Einfluss verschiedener Gebäudemerkmale auf die subjektive Gebäudeperformance zu untersuchen. Die abgebildeten Indizes zur subjektiven Gebäudeperformance haben Werte zwischen 1 „negativ“ und 5 „positiv“.

Ein Boxplottediagramm stellt diese Werte mit Hilfe der folgenden Kennwerte dar: 25%-Quantil ( $Q_1$ ), Median ( $\tilde{x} / Q_2$ ), 75%-Quantil ( $Q_3$ ), unterer „Whisker“ (Minimum), oberer „Whisker“ (Maximum) und Ausreißer. Die Grenzen der Box werden dabei durch  $Q_1$  und  $Q_3$  gezeichnet, der Strich in der Mitte stellt den Median dar. Die Whiskers bezeichnen die Striche außerhalb dieser Box. Sie markieren das Minimum und Maximum, jedoch nur, sofern ihr Abstand zur Box maximal den 1,5-fachen Interquartilsabstand beträgt. Falls die Whiskers länger sind als das 1,5-fache der Box, werden sie nicht bis zum letzten Datenpunkt gezeichnet, sondern nur bis zu jenem, der weniger als das 1,5-fache des Interquartilsabstands von der Box entfernt ist. Alle Datenpunkte außerhalb der Whiskers werden dann als Ausreißer separat dargestellt.

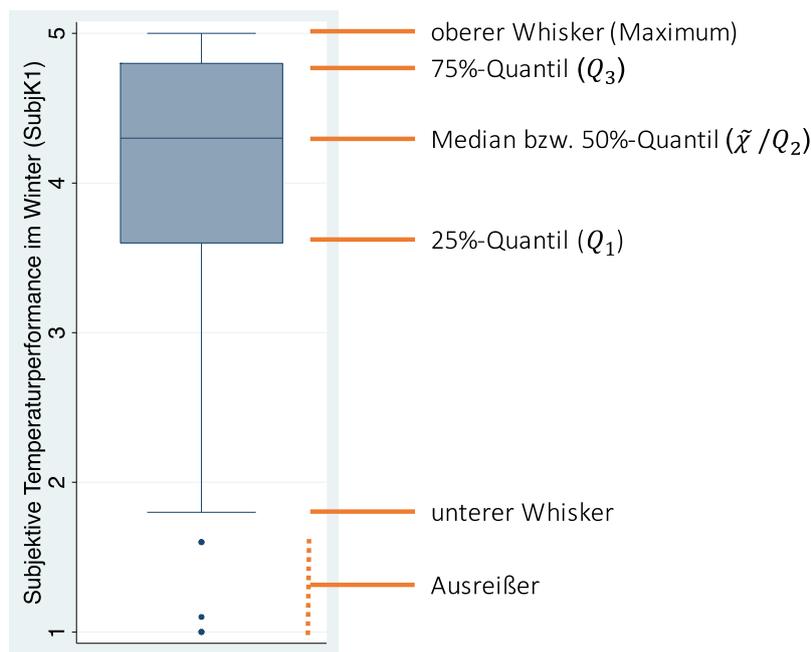


Abbildung 7-28: Beispiel für eine Boxplot zur Darstellung der subjektiven Gebäudeperformance

### 7.3.1. Auswertung des Gesamtdatensatzes

Betrachten wir zunächst die Verteilung der subjektiven Gebäudeperformance über sämtliche Fälle und alle Gebäude hinweg.

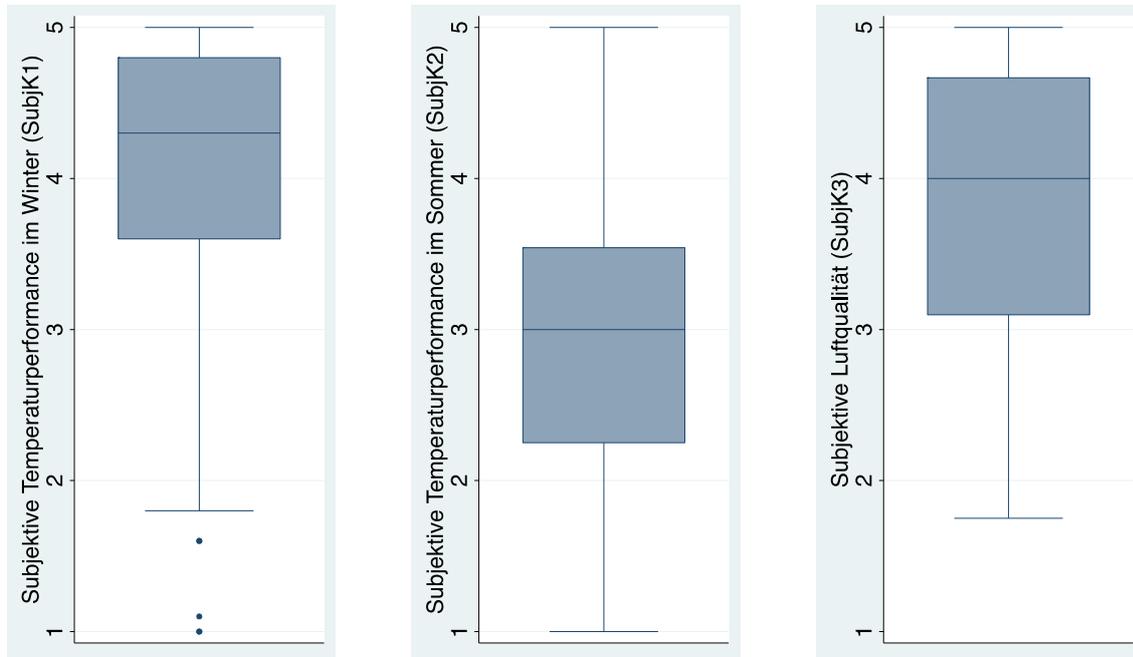


Abbildung 7-29: Verteilung der drei Parameter subjektiver Gebäudeperformance (Temperatur im Winter, Temperatur im Sommer, Luftqualität) für sämtliche Gebäude

Aus den Diagrammen ist erkennbar, dass die untersuchten Gebäude bei der **winterlichen Temperaturperformance** am besten abschneiden. Die überwiegende Mehrheit der Befragten bewertet die Temperaturperformance im Winter als positiv ( $Q_1 = 3,6$ ). Der Median liegt mit 4,3 sehr deutlich im positiven Bereich.

Bei der **sommerlichen Temperaturperformance** fällt die Bewertung deutlich negativer aus. Hier liegt der Median bei 3,0, so dass die eine Hälfte der Befragten die sommerliche Temperaturperformance als (eher) positiv, die andere Hälfte als (eher) negativ bewertet.

Die **Luftqualität** wird tendenziell eher positiv bewertet. Hier liegt der Median bei 4,0 und die überwiegende Mehrheit der Befragten bewertet die Luftqualität als positiv ( $Q_1 = 3,1$ ).

Diese Ergebnisse zeigen, dass einige der untersuchten Gebäuden aus Perspektive der Nutzer insbesondere bezogen auf den sommerlichen Wärmeschutz Verbesserungspotential besitzen, während die subjektiven Bewertungen der Luftqualität und noch mehr die der winterlichen Temperaturperformance durchaus positiv ausfallen.

Ein Vergleich der Streuungsmaße ergibt nur geringe Abweichungen für die drei Performanceindizes. Die Standardabweichungen liegen bei 1,02 ( $\overline{SubJ_{k1}}$ ), 0,91 ( $\overline{SubJ_{k2}}$ ) bzw. 0,89 ( $\overline{SubJ_{k3}}$ ). Diese relativ große Streuung lässt vermuten, dass es zwischen den Gebäuden zu starken Schwankungen in der subjektiven Performancebewertung kommt.

### 7.3.2. Vergleich der Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18

Um die Unterschiede zwischen den Gebäuden zu untersuchen, werden im Folgenden die Ergebnisse auf Ebene der Gebäude differenziert dargestellt. Da eine statistische Auswertung der Streuungs- und Lagemaße eine gewisse Fallzahl erfordert, können lediglich 5 Gebäude genauer analysiert werden, solche mit einer Fallzahl größer 8.

Im Anschluss an diese Analyse auf Gebäudeebene werden verschiedene Gebäudemerkmale als Unterscheidungsmerkmal herangezogen und nach einem Zusammenhang mit der subjektiven Gebäudeperformance gesucht. Es werden die folgenden Merkmale betrachtet: Baujahr bzw. Jahr der Sanierung, Hüllqualität, Heizsystem, Lüftungssystem und Sonnenschutz. Hierbei liegen nicht für jedes Gebäude sämtliche Informationen zu den Merkmalen vor, weshalb die Anzahl der Fälle zwischen den einzelnen Analysen variiert.

Betrachten wir zunächst die **subjektive Temperaturperformance im Winter**. Hier sind deutliche Unterschiede zwischen den Gebäuden erkennbar. Das Gebäude 4 schneidet mit Abstand am schlechtesten ab. Hier bewertet die große Mehrheit der Befragten die Temperaturperformance im Winter als negativ. Der Median liegt nur knapp über 2. Auch das Gebäude 16 scheint im Winter nur begrenzt angenehme Temperaturen zu ermöglichen. Hier liegen die Werte im Mittelfeld der Bewertungsskala. Positiv schneiden die Gebäude 5, 14 und 18 ab, bei denen fast ausschließlich positive Bewertungen abgegeben wurden.

Die Interpretation der Streuungsmaße ist auf Grund der geringen Fallzahl problematisch und kann lediglich bei den Gebäuden 4 (n = 12), 5 (n = 16) und 18 (n = 16) unter Vorbehalt durchgeführt werden. Es fällt auf, dass die Streuung im Gebäude 4 am größten ist, hier die Wahrnehmung zwischen den Bewohnern also stärker variiert als in den beiden anderen Gebäuden.

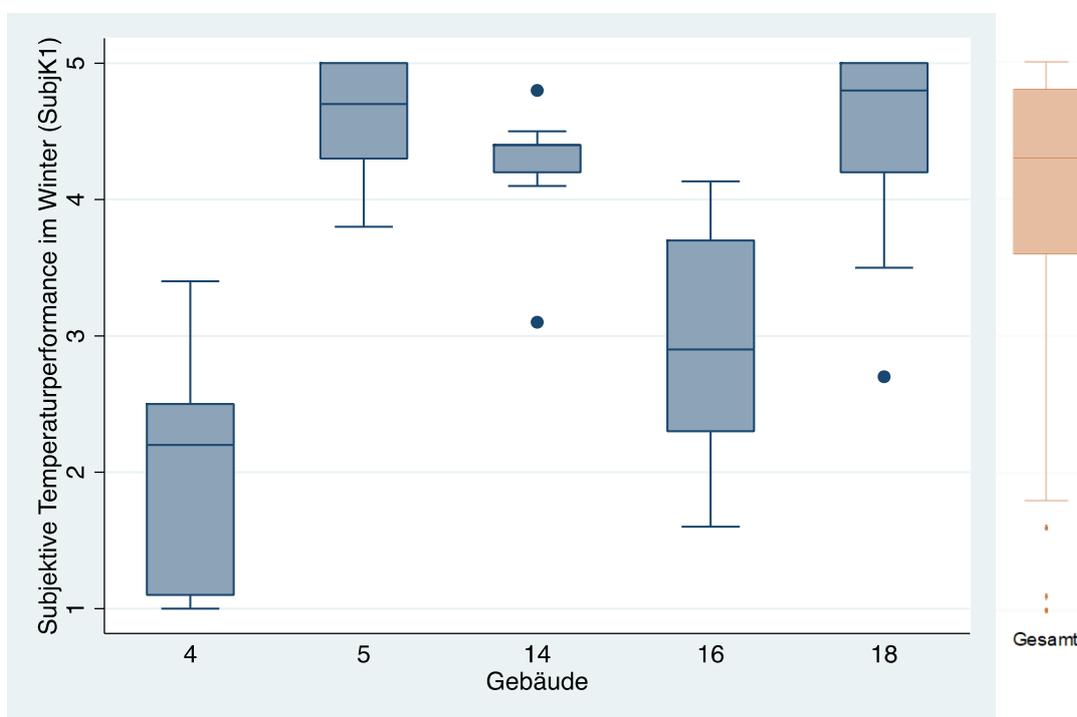


Abbildung 7-30: Subjektive Temperaturperformance im Winter für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18

Bei der **subjektiven Temperaturperformance im Sommer** variieren die Ergebnisse zwischen den Gebäuden weniger stark – die Mehrheit der Gebäude liegt im Mittelfeld. Auffällig ist, dass in dem Gebäude 16 keiner der Befragten die Temperaturperformance im Sommer als positiv bewertete. Der Median liegt hier nur knapp über 2. Am besten schneidet das Gebäude 18 ab, bei dem die Mehrheit der Befragten eine positive Bewertung abgab.

Vergleichen wir die Streuung bei den Gebäuden 4, 5 und 18 dann unterscheidet sich diese im Sommer nicht maßgeblich von der im Winter.

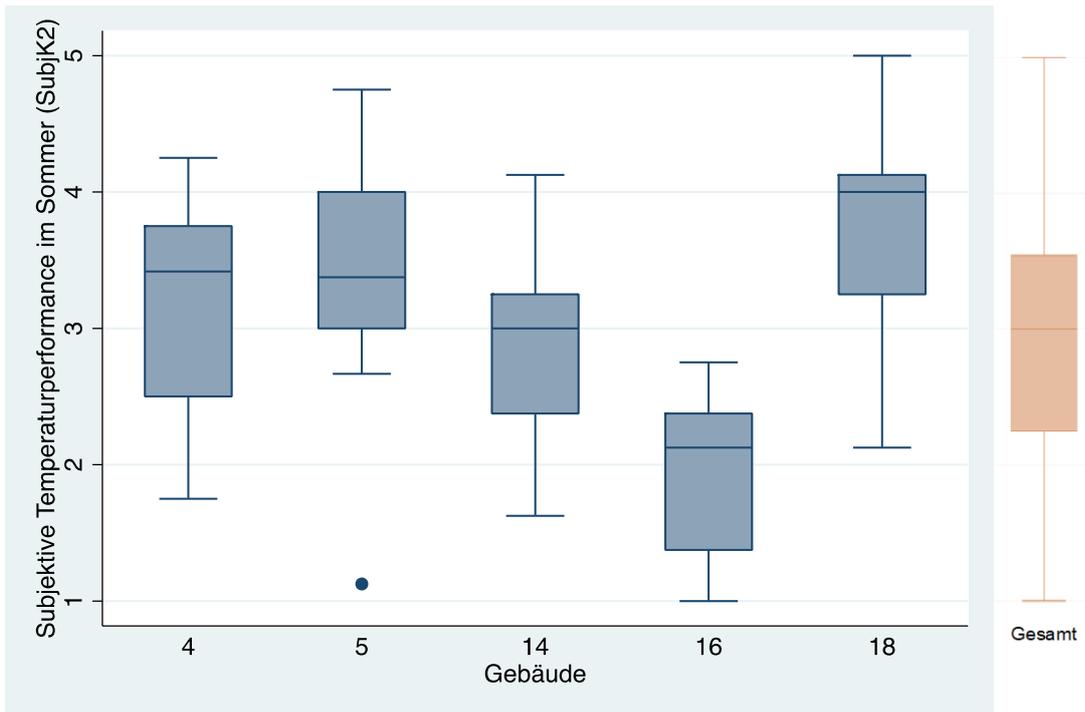


Abbildung 7-31: Subjektive Temperaturperformance im Sommer für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18

Die **subjektive Luftqualität** wird zwischen den Gebäuden und innerhalb dieser wiederum sehr unterschiedlich wahrgenommen. Während die Gebäude 5, 14 und 18 gut abschneiden und die Luftqualität von den Bewohnern fast ausschließlich als positiv bewertet wurde (bei geringer Streuung), fällt das Urteil der Bewohner in den Gebäuden 4 und 16 deutlich schlechter aus. Hier liegt die Bewertung nur im Mittelfeld (Median = 2,9 bzw. 3,0).

Allerdings ist auffällig, dass bei dem Gebäude 4 die Varianz innerhalb der Bewohnerschaft sehr ausgeprägt ist. Das Streuungsmaß zeigt an, dass es trotz der eher negativen Beurteilung durch die Mehrheit der Bewohner auch sehr zufriedene Nutzer zu geben scheint, die die sommerliche Temperaturperformance als sehr positiv beurteilen.

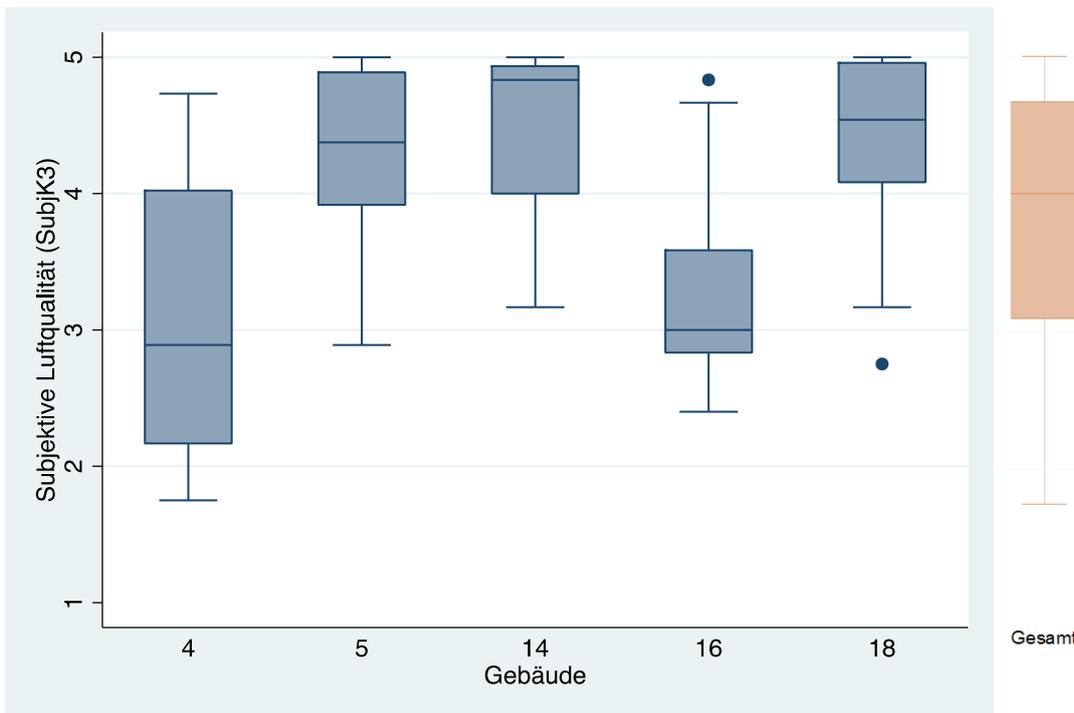


Abbildung 7-32: Subjektive Luftqualität für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18

### 7.3.3. Subjektive Temperaturperformance im Winter nach Gebäudemerkmale

Bei der Analyse nach Gebäudemerkmale beschränkt sich der verwendete Datensatz nicht auf die fünf oben genannten Gebäude, sondern umfasst sämtliche Befragungsteilnehmer.

Zunächst betrachten wir das **Baujahr bzw. das Jahr der energetischen Sanierung**. Um eine ausreichende Gruppengröße sicherzustellen, wurden drei Altersklassen gebildet mit  $n > 20$ . Das Diagramm zeigt, dass es einen Einfluss des Alters auf die subjektive winterliche Temperaturperformance zu geben scheint. Allerdings anders als womöglich erwartet: je neuer das Gebäude bzw. deren energetische Sanierung, desto unzufriedener sind die Bewohner mit der Temperaturperformance im Winter. Während in der Gruppe der Gebäude mit einem Baujahr / Sanierungsjahr zwischen 2000 und 2003 ( $n = 26$ ) mit einer einzigen Ausnahme sämtliche Befragten eine positive Bewertung abgaben und ein Median von 4,8 die große Zufriedenheit widerspiegelt, fällt in der Gruppe der 2013er bis 2016er Gebäude ( $n = 39$ ) die Bewertung deutlich schlechter aus. Hier reicht die Spanne von sehr unzufriedenen bis sehr

zufriedenen Bewohnern, wobei ein relativ großer Anteil der Befragten eine negative Bewertung abgab. Das 25%-Quantil liegt mit 2,4 im negativen Bereich und der Median schafft es auch nur auf 3,7, liegt also im guten Mittelmaß.

Auffällig ist hierbei jedoch die große Streuung in der Gruppe der Gebäude mit einem Baujahr / Sanierungsjahr zwischen 2013 und 2016. Das deutet darauf hin, dass in den jüngeren Gebäuden die winterliche Gebäudeperformance stärker variiert als bei den älteren. Möglicherweise sind gerade bei den jüngeren Gebäuden einige noch nicht richtig eingeregelt, was die negativen Ergebnisse erklären könnte.

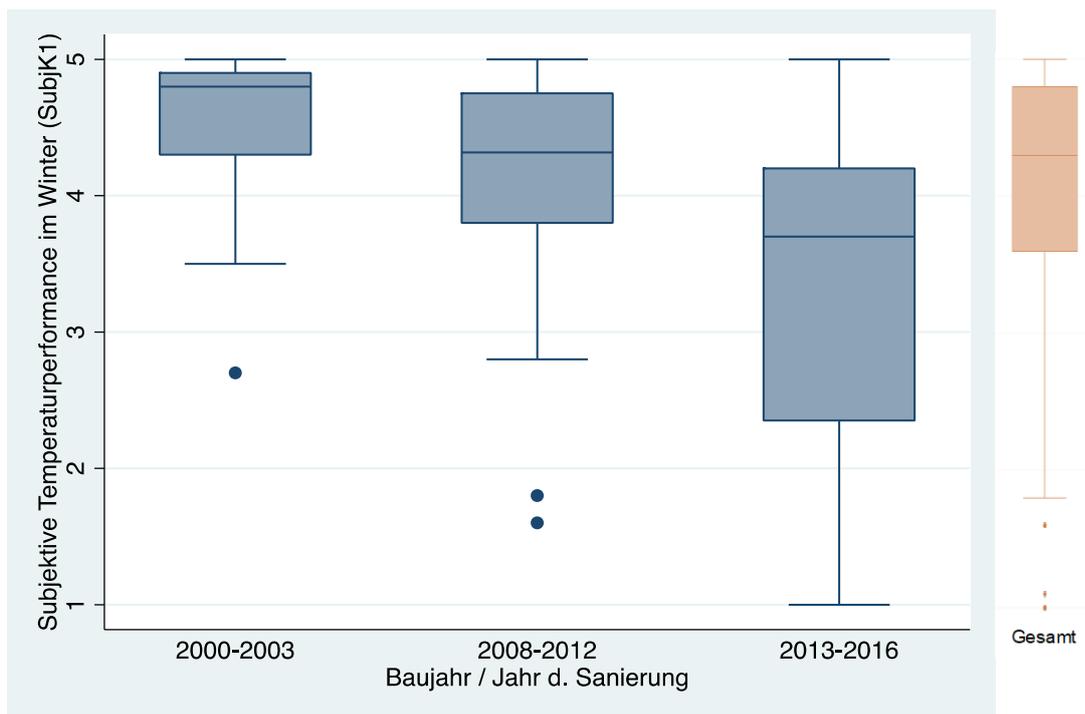


Abbildung 7-33: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude

Da der Index  $Subj_{k1}$  sich aus insgesamt fünf Items zusammensetzt, von denen einige sich stärker der Regulierbarkeit widmen, ließe sich einwenden, dass das schlechte Abschneiden der jüngeren Gebäude bei der winterlichen Temperaturperformance lediglich ein Steuerungsproblem beschreibt, nicht jedoch die tatsächliche Temperaturwahrnehmung. Schließlich beziehen sich einige der Items eher auf die Funktionalität der Heizung als auf die tatsächlich erreichten Temperaturen. Dass dem nicht so ist, zeigt das folgende Diagramm, bei dem lediglich die Verteilung für das Item „**Es ist schwierig meine Wohnung im Winter warm zu halten.**“ ( $I_{3\ k1}$ ) dargestellt wird. Auch hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den drei Gebäudegruppen erkennbar.

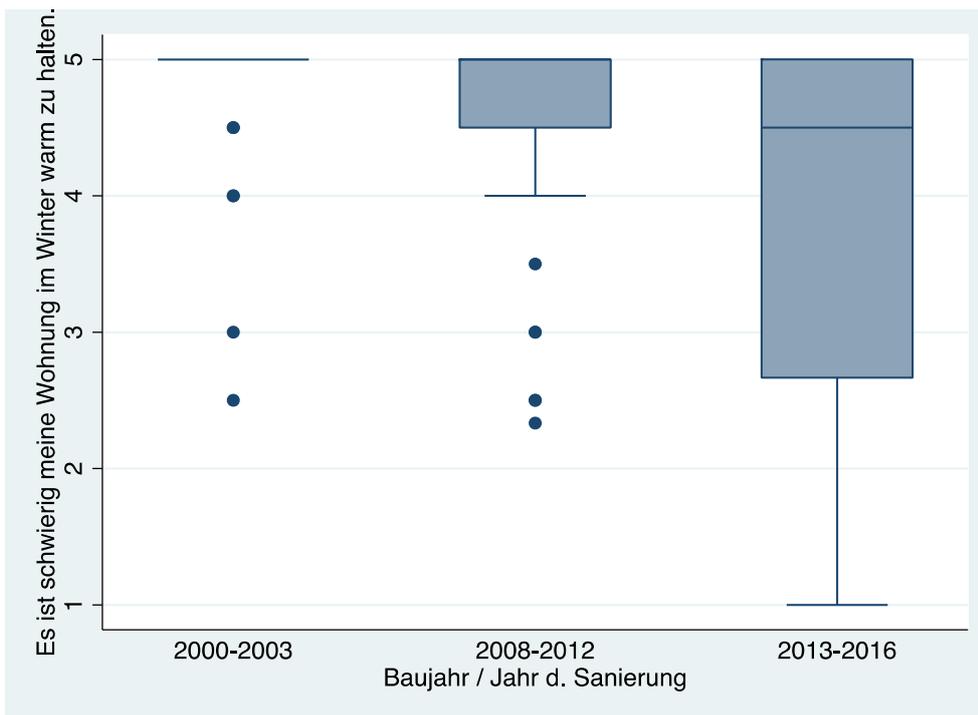


Abbildung 7-34: Verteilung des Items „Es ist schwierig, meine Wohnung im Winter warm zu halten“ differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude

Für dieses Ergebnis gibt es mindestens zwei Erklärungsansätze:

Die jüngeren Gebäude liefern tatsächlich eine schlechtere Temperaturperformance im Winter, verursacht durch eine unzureichende Gebäudehülle, ein zu schwach dimensioniertes Heizsystem, eine falsche Bedienung durch die Nutzer und/oder eine fehlerhaft eingestellte Gebäudetechnik.

Die subjektive Bewertung kann als eine Funktion zwischen Nutzererwartung und objektiver Performance verstanden werden. Je größer sich die Differenz zwischen den beiden Werten darstellt, desto zufriedener bzw. unzufriedener sind die Bewohner. Es wäre möglich, dass gerade in den neueren Gebäuden die Erwartungen der Bewohner deutlich höher sind, was bei gleicher objektiver Performance zu einer negativeren Bewertung führt.

Wird die subjektive Temperaturperformance im Winter nach der **Hüllqualität** der Gebäude differenziert, dann scheint sich das Ergebnis zum Alter der Gebäude zu bestätigen. Je bes-

ser die Gebäudehülle, desto schlechter fällt tendenziell die subjektive Bewertung der Bewohner aus. Für die Gruppeneinteilung wurde dabei auf eine Nachkommastelle gerundet und es wurden die am schlechtesten isolierten Gebäude zusammengefasst, um pro Gruppe mindestens  $n > 8$  sicherzustellen.

Es überrascht, dass die Bewohner von Gebäuden mit einer Hüllqualität schlechter als 0,3 die Temperaturperformance im Winter ohne Ausnahme als positiv bewerten. Hier liegen die 25%-Quantile mit 4,0, 4,3 und 4,1 deutlich im oberen Bereich. Bei den Gebäuden mit einer besseren Gebäudehülle weist das Ergebnis mehr Varianz auf, hier kommt es zu kritischeren Bewertungen und ein nicht unerheblicher Anteil der Befragten ist unzufrieden mit der winterlichen Temperaturperformance.

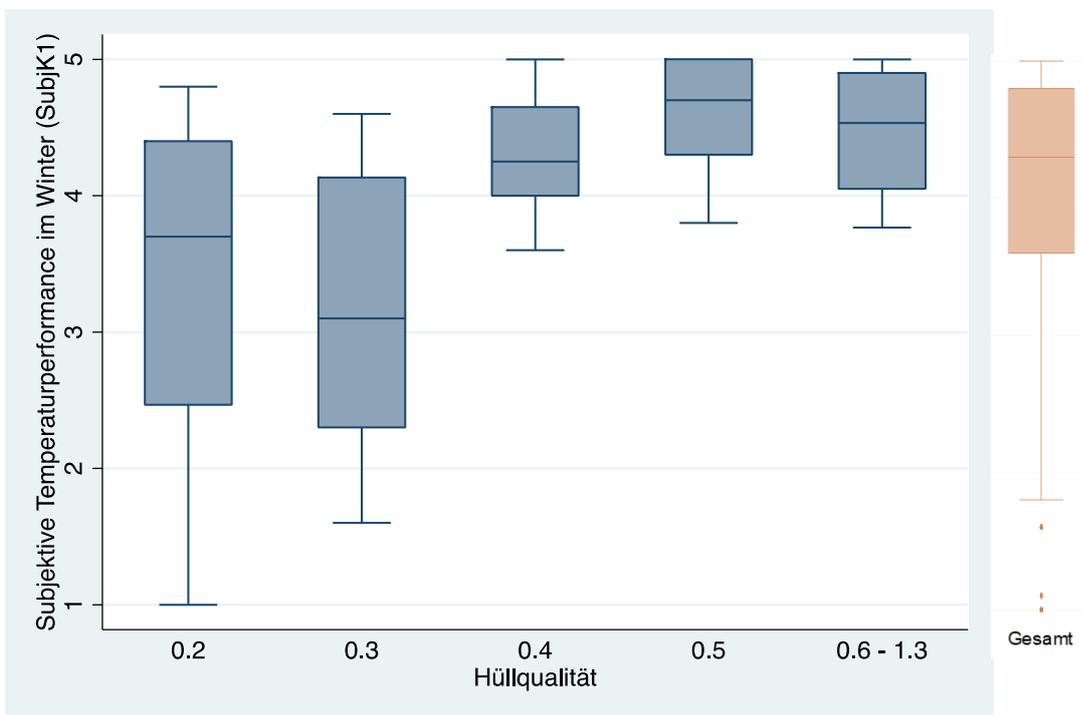


Abbildung 7-35: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude

Grundsätzlich kann das schlechte Abschneiden des Gebäudes 4 bei der subjektiven Temperaturperformance im Winter die Analysen der Gebäudemerkmale verzerren, insbesondere dort, wo es bei einem Merkmal einen Großteil der Fälle stellt. Eine Verallgemeinerung über den Einzelfall hinaus ist schwierig bzw. nicht möglich. Die Ergebnisse sollten daher lediglich als Hinweis dafür gelten, dass weitere Analysen in diese Richtung notwendig sind. Für den Einfluss der Gebäudehülle muss in diesem Zusammenhang ergänzt werden, dass unter Ausschluss des Gebäudes 4 die Bewertung innerhalb der Gruppe mit einer Hüllqualität von 0,2 deutlich besser ausfällt als oben dargestellt ( $Q_1 = 3,7$  und Median = 4,2).

Ein Vergleich der **Heizsysteme** zeigt, dass es nur einen geringen Unterschied für die Wahrnehmung der winterlichen Temperaturperformance zu machen scheint, ob eine Fußbodenheizung oder Heizkörper eingebaut wurden. Die subjektive Bewertung fällt in beiden Fällen relativ positiv aus. Lediglich bei der Verwendung von Konvektoren verschlechtert sich die Bewertung erheblich, hier ist die deutliche Mehrheit der Befragten mit der winterlichen Temperaturperformance unzufrieden ( $Q_3 = 2,5$ ). Hierbei ist jedoch wichtig zu berücksichtigen, dass das lediglich das Gebäude 4 über Konvektoren als Heizsystem verfügt.

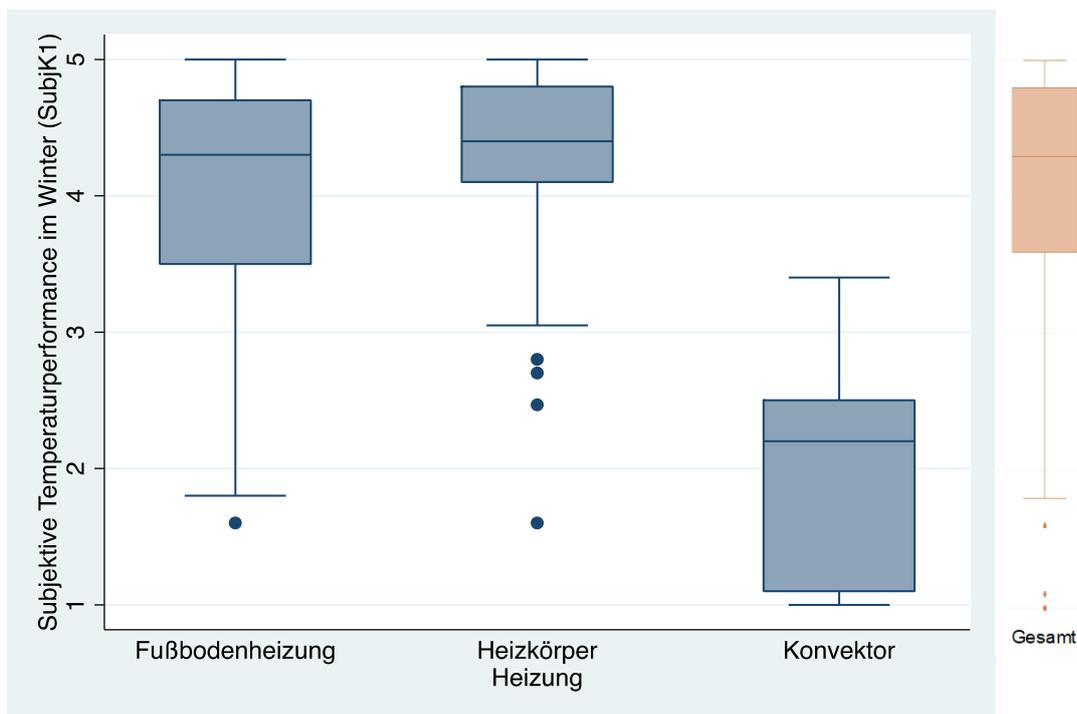


Abbildung 7-36: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Heizsystem für sämtliche Gebäude

Bei einem Vergleich der **Lüftungssysteme** zeigen sich insbesondere zwei Dinge. Zum einen scheint die klassische Fensterlüftung bei der subjektiven Wahrnehmung der winterlichen Temperaturperformance nicht schlechter abzuschneiden als durch Mechanik unterstützte Lüftungssysteme. Bei grundsätzlich recht hoher Zufriedenheit sind die Bewohner von Gebäuden mit mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung tendenziell sogar unzufriedener ( $Q_1 = 3,5$  und Median = 4,2) als bei Gebäuden, die ganz ohne mechanische Lüftung auskommen ( $Q_1 = 4,2$  und Median = 4,5). Zum anderen gibt es innerhalb der Gruppe von Gebäuden mit mechanischer Lüftung eine große Varianz bei einer Standardabweichung von 1,12. Es gibt also durchaus Gebäude mit mechanischer Lüftung und Wärmerückgewinnung, bei denen die Bewohner die subjektive Temperaturperformance im Winter als positiv bewerteten

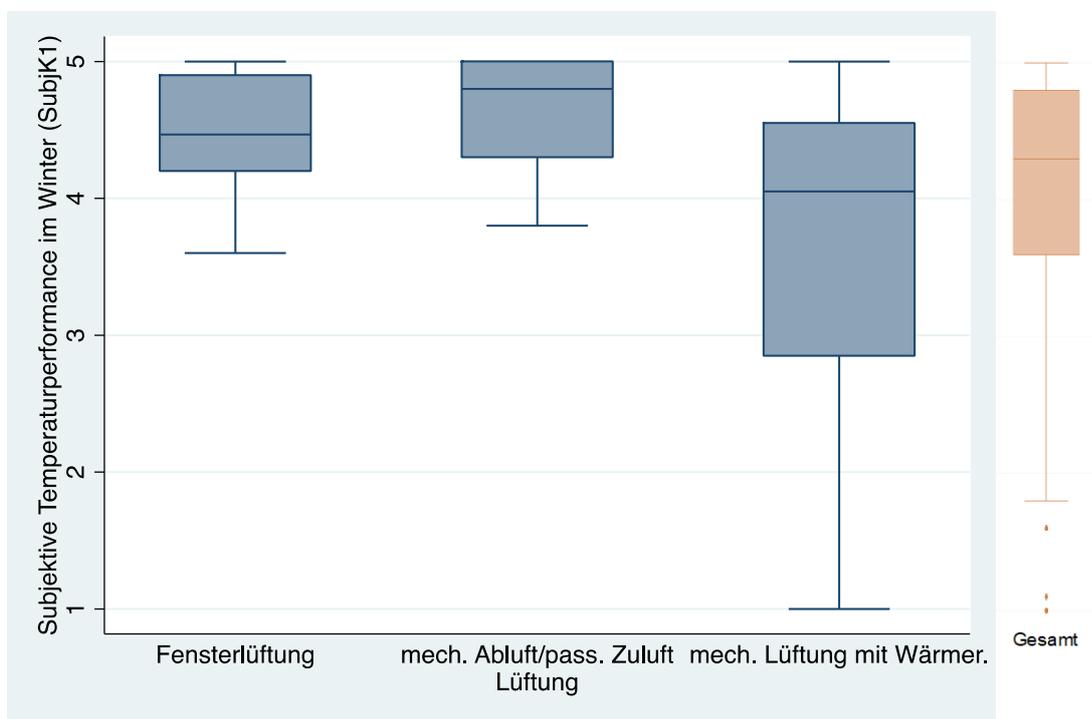


Abbildung 7-37: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude

### 7.3.4. Subjektive Temperaturperformance im Sommer nach Gebäudemerkmale

Wie schon weiter oben festgestellt, fällt die subjektive Gebäudebewertung im Sommer negativer aus als im Winter. Die Mehrheit der befragten erzielte hier lediglich mittlere Werte. Bei einer Betrachtung des Gebäudemerkmals **Baujahr bzw. Jahr der energetischen Sanierung**, wiederholt sie die Tendenz, dass modernere Gebäude schlechter abschneiden als ältere. Während der Median in der ältesten Gebäudegruppe mit leicht im positiven Bereich liegt und bei der der mittelalten der Median genau 3 beträgt, bewertet die Mehrheit der Befragten in der jüngsten Gebäudegruppe die winterlichen Temperaturen eher als negativ ( $Q_3 = 3,3$ ).

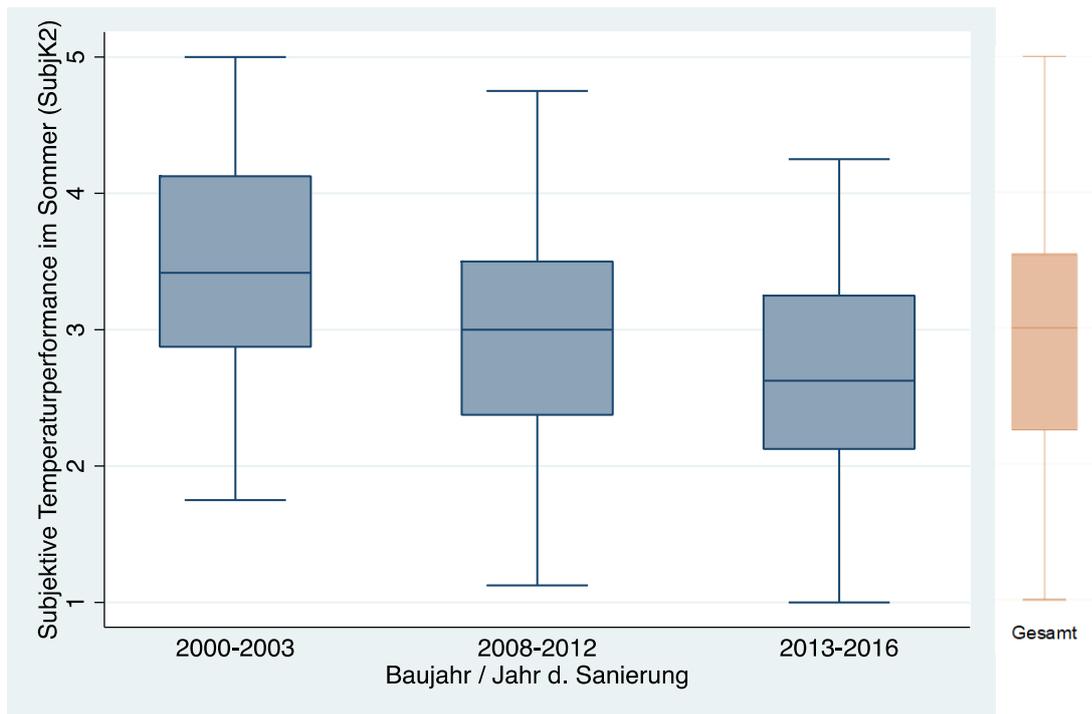


Abbildung 7-38: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude

Ein Vergleich der **Hüllqualität** zeigt, dass sich der Zusammenhang zwischen Gebäudealter und sommerlicher Temperaturperformance nicht (nur) über die Gebäudehülle erklären lässt. Anders als im Winter scheint es hier keinen linearen Zusammenhang zu geben. Sowohl die Gebäudegruppen mit hoher Hüllqualität, als auch die mit niedriger bewegen sich im Mittelfeld bei der subjektiven Temperaturbewertung im Sommer (Median zwischen 2,3 und 3,4). Auffällig ist, dass es gerade bei den schlechter gedämmten Gebäuden mehr Ausreißer als im Winter gibt. Ursache hierfür können Ausrichtung oder auch Fensteranteil sein.

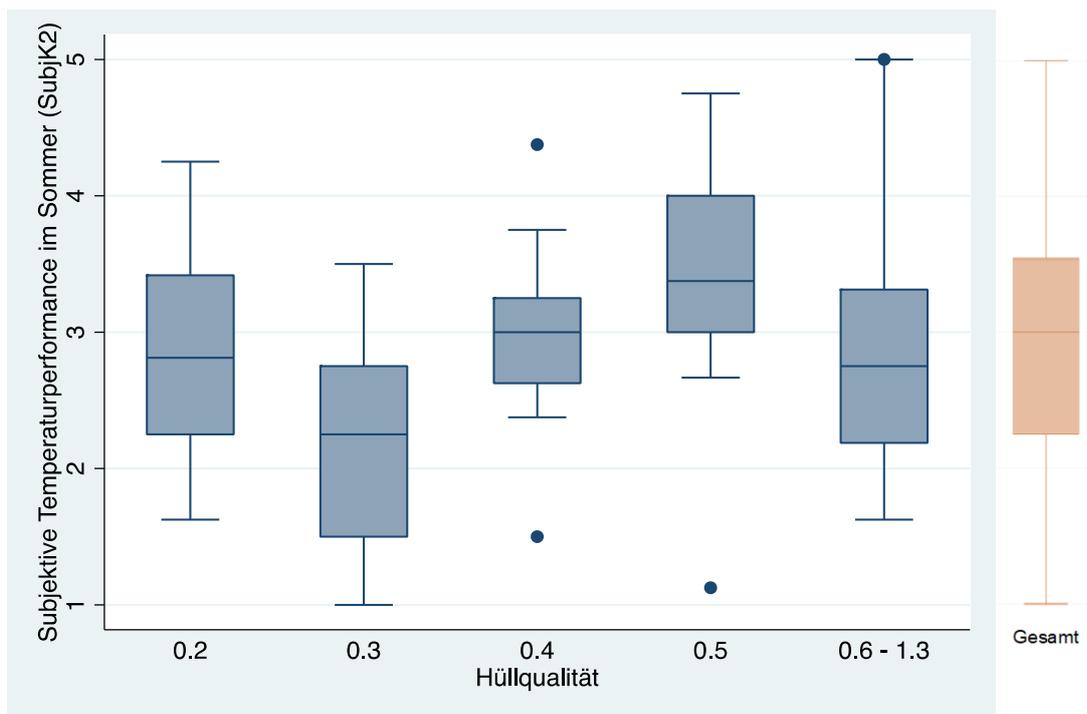


Abbildung 7-39: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude

Die tendenziell eher mittelmäßige Bewertung der sommerlichen Temperaturperformance setzt sich auch bei einem Vergleich der **Lüftungssysteme** fort. Hier scheint es keinen großen Unterschied zu machen, ob ein Gebäude mechanisch gelüftet wird oder manuell über die Fenster. In allen drei Gebäudegruppen liegen sowohl das 25%- als auch das 75%-Quantil zwischen den Werten 2 und 4. Dass kein Einfluss des Lüftungssystems auf die sommerliche Gebäudeperformance beobachtet werden kann ist nachvollziehbar, da im Sommer häufig die mechanische Lüftung durch manuelle Fensterlüftung ersetzt wird. Gleichwohl ist zu beobachten, dass es innerhalb der drei Gruppen deutlich mehr Varianz als im Winter gibt. Die Bewertungen reichen fast überall von ganz negativ bis ganz positiv. Das deutet darauf hin, dass andere Faktoren als das Lüftungssystem den sommerlichen Wärmeschutz beeinflussen.

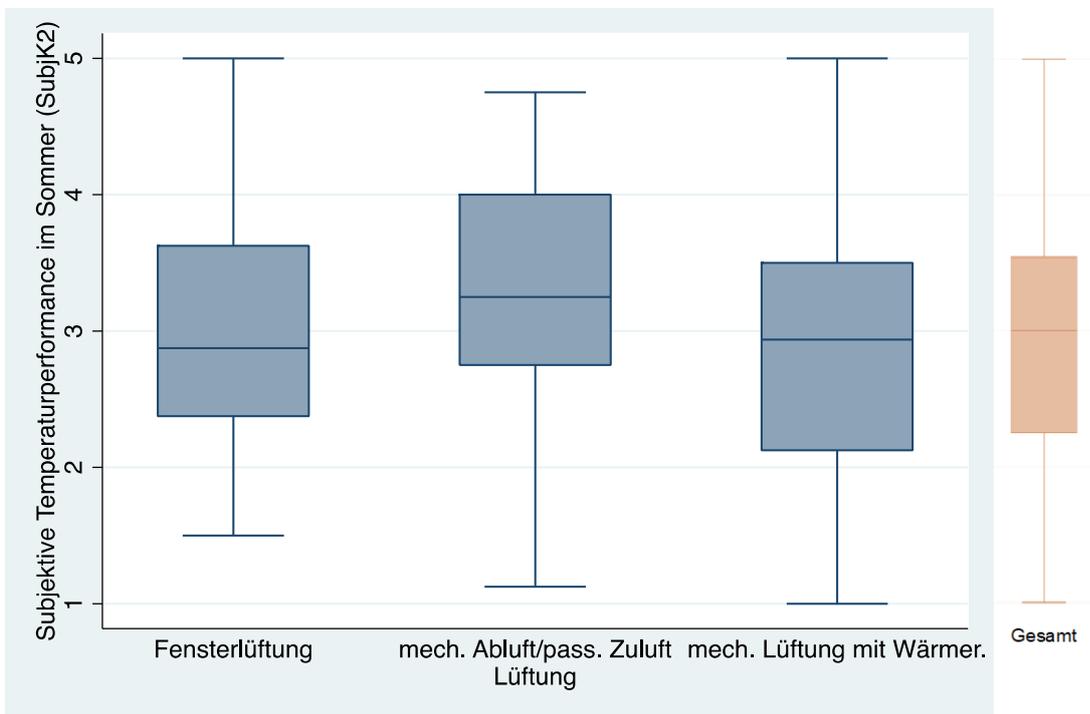


Abbildung 7-40: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude

Interessant und wenig intuitiv sind die Ergebnisse zum Einfluss des **Sonnenschutzes**. Wenngleich die meisten Bewertungen sich wieder im Mittelfeld bewegen, schneidet die Gebäudegruppe mit vorhandenem Sonnenschutz am schlechtesten ab (Median = 2,4 und  $Q_3 = 3,1$ ). Das schlechtere Abschneiden der Gebäude mit Sonnenschutz kann daher herrühren, dass der Sonnenschutz nicht die Ursache, sondern die Folge einer Überhitzung ist. Er wurde also bereits installiert, ist aber ggf. unzureichend. In jedem Fall haben wir es hier nicht mit einem Kausalzusammenhang zu tun, in dem Sinne, dass der Sonnenschutz ursächlich für die Überhitzung verantwortlich ist.

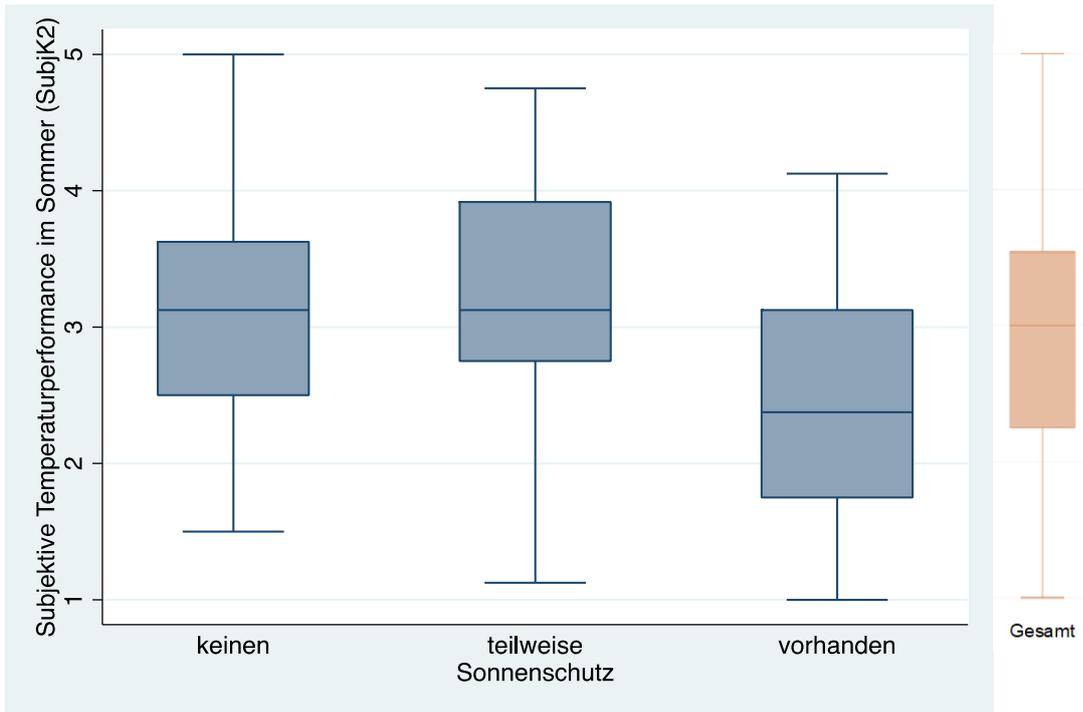


Abbildung 7-41: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach dem Vorhandensein eines Sonnenschutzes für sämtliche Gebäude

### 7.3.5. Subjektive Luftqualität nach Gebäudemerkmalen

Schließlich werden nun noch die Ergebnisse zur subjektiven Luftqualität nach Gebäudemerkmalen differenziert. Bei dem **Baujahr bzw. Jahr der energetischen Sanierung** setzt sich das schlechtere Abschneiden der neueren Gebäude fort. Während in der Gruppe der älteren Gebäude (2000 - 2003) fast sämtliche Befragten die Luftqualität als positiv bewerteten ( $Q_1 = 3,9$  und Median = 4,5), liegt das Ergebnis bei den jüngeren Gebäuden (2013 - 2016) lediglich im mittleren Bereich ( $Q_1 = 2,8$  und Median = 3,6). Gleichwohl ist auch hier die Mehrheit der Befragten eher zufrieden mit der Luftqualität.

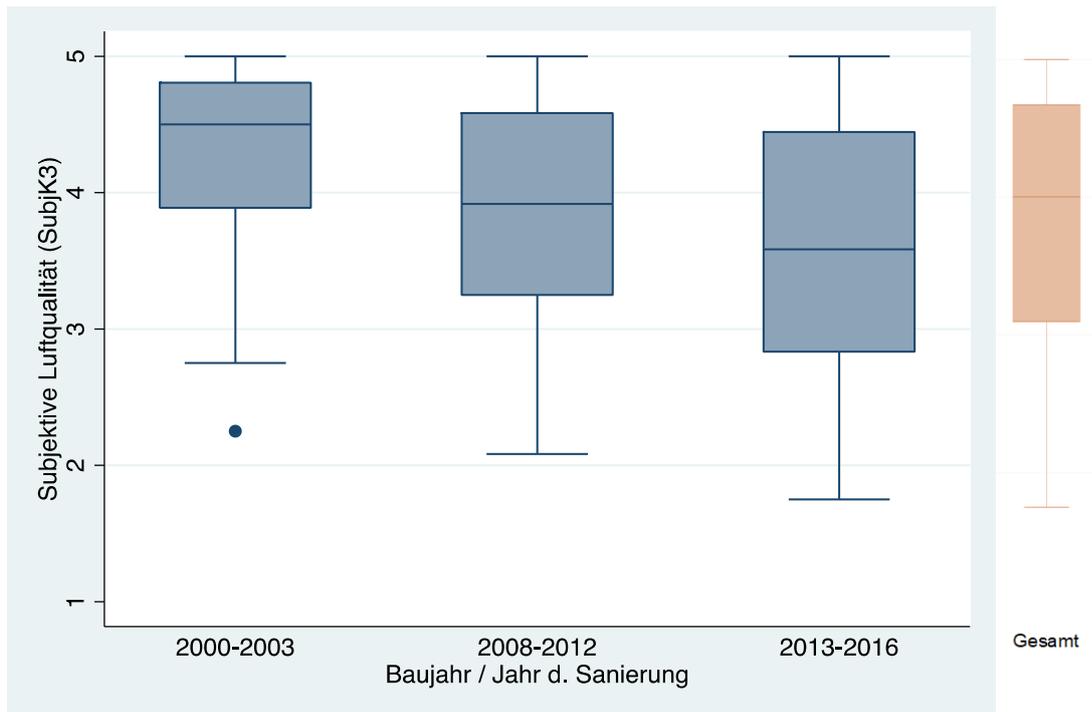


Abbildung 7-42: Subjektive Luftqualität differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude

Wie zu erwarten, scheint die **Hüllqualität** keinen Einfluss auf die subjektive Luftqualität zu haben. Zwar variieren die Bewertungen zwischen den verschiedenen Qualitätsgruppen, jedoch ist hier kein linearer Zusammenhang erkennbar, was in diesem Fall eine kausale Beziehung sehr unwahrscheinlich macht.

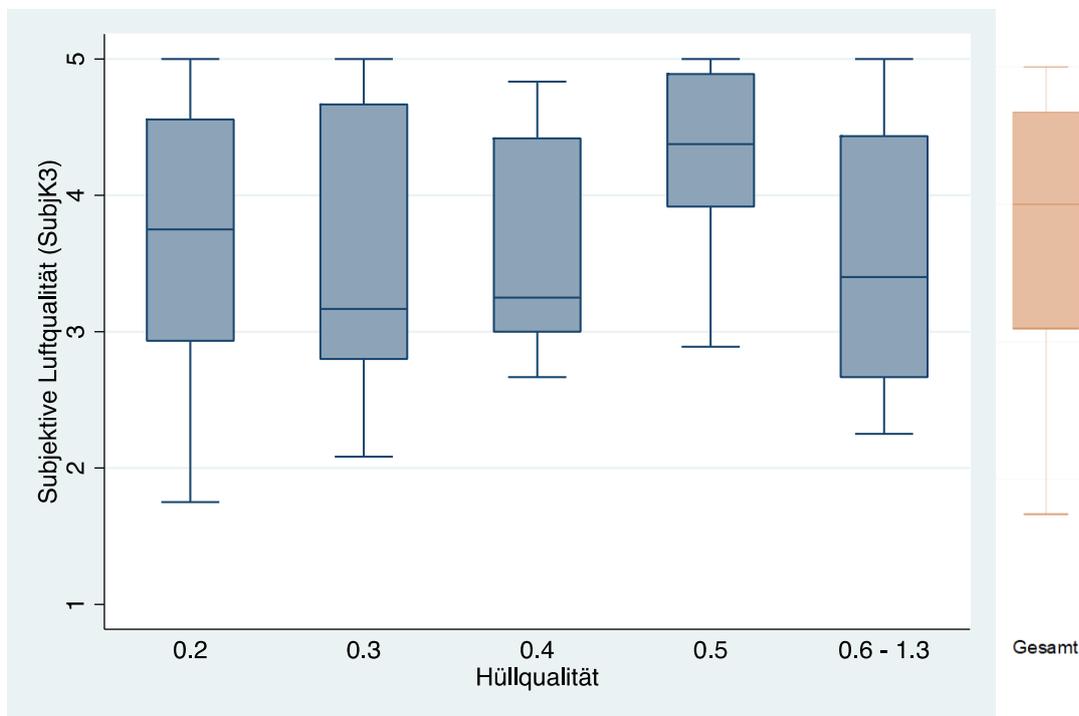


Abbildung 7-43: Subjektive Luftqualität differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude

Ein Vergleich der **Heizsysteme** zeigt, dass es nur einen geringen Unterschied für die Wahrnehmung der Luftqualität zu machen scheint, ob eine Fußbodenheizung oder Heizkörper eingebaut wurden. Die subjektive Bewertung liegt in beiden Gruppen nahe beieinander und fällt relativ positiv aus (Median = 4,0 bzw. 4,1). Lediglich bei den Gebäuden mit Konvektoren verschlechtert sich die Bewertung etwas, so dass hier Hälfte der Befragten mit der Luftqualität (eher) unzufrieden ist (Median = 2,9). Hierbei ist jedoch erneut wichtig zu berücksichtigen, dass das lediglich das Gebäude 4 über Konvektoren als Heizsystem verfügt.

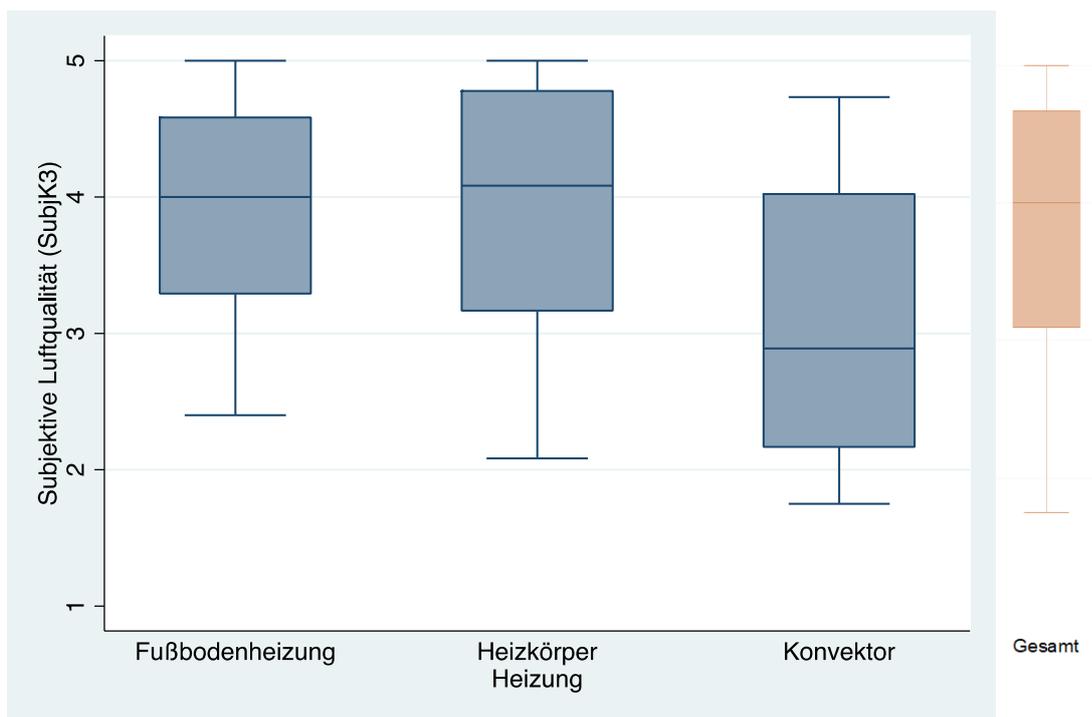


Abbildung 7-44: Subjektive Luftqualität differenziert nach Heizsystem für sämtliche Gebäude

Anders als bei der Temperaturperformance scheint ein mechanisches **Lüftungssystem** die Luftqualität gegenüber der manuellen Fensterlüftung tendenziell eher zu verbessern, wobei die Unterschiede nur marginal sind. Sowohl bei der Fensterlüftung als auch bei der mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung bewertet die Mehrheit der Befragten die Luftqualität als (eher) positiv ( $Q_1 = 3,0$  in beiden Fällen). In letzterer Gruppe liegt der Median mit 3,9 jedoch leicht höher, im Vergleich zur Fensterlüftung mit einem Median von 3,5).

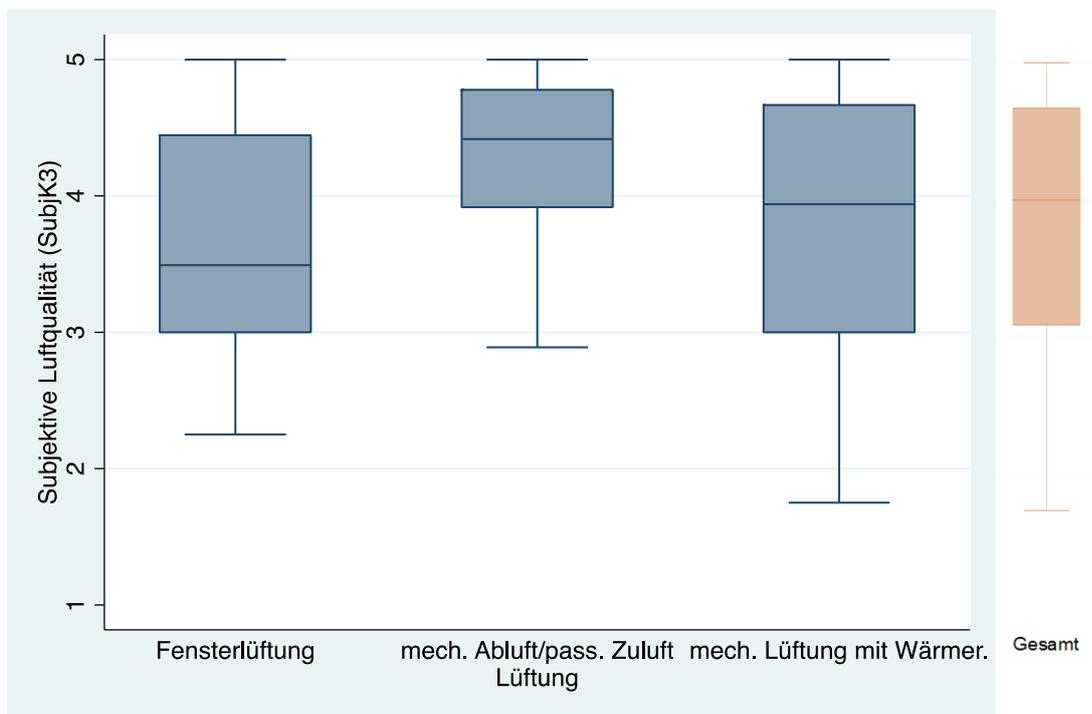


Abbildung 7-45: Subjektive Luftqualität differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude

Der **Sonnenschutz** scheint keinen Einfluss auf die Luftqualität zu haben.

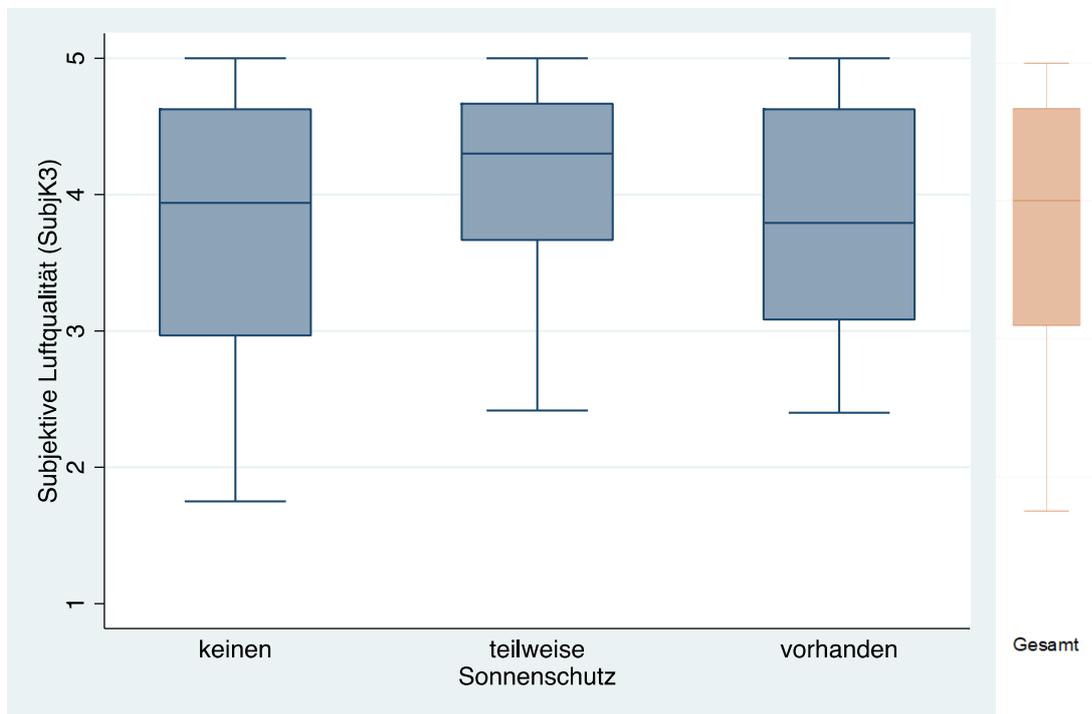


Abbildung 7-46: Subjektive Luftqualität differenziert nach dem Vorhandensein eines Sonnenschutzes für sämtliche Gebäude

### 7.3.6. Vergleich der subjektiven Gebäudeperformance nach Raumklima-Gruppen

Abschließend wird die subjektive Gebäudeperformance differenziert nach den tatsächlichen Raumklimawerten. Dafür wurden sämtliche Gebäude für die gemessenen Winter- und Sommertemperaturen und die Luftqualität entsprechend der Tabelle 9-1 in drei Gruppen eingeteilt: „im gewünschten Bereich“ (1), „abweichend“ (2) und „stark abweichend“ (3).

Bei der **winterlichen Temperaturperformance** ist auffällig, dass eine leichte Abweichung der gemessenen Temperaturen von dem gewünschten Bereich nicht zu einer schlechteren subjektiven Bewertung der Performance führt. Auch hier bewertet die große Mehrheit der Befragten die winterlichen Temperaturen als positiv ( $Q_1 = 4,3$ ). Erst wenn die gemessenen Temperaturen im Winter stark vom gewünschten Bereich abweichen (Gruppe 3) fällt die subjektive Gebäudeperformance deutlich negativ aus (Median = 2,5).

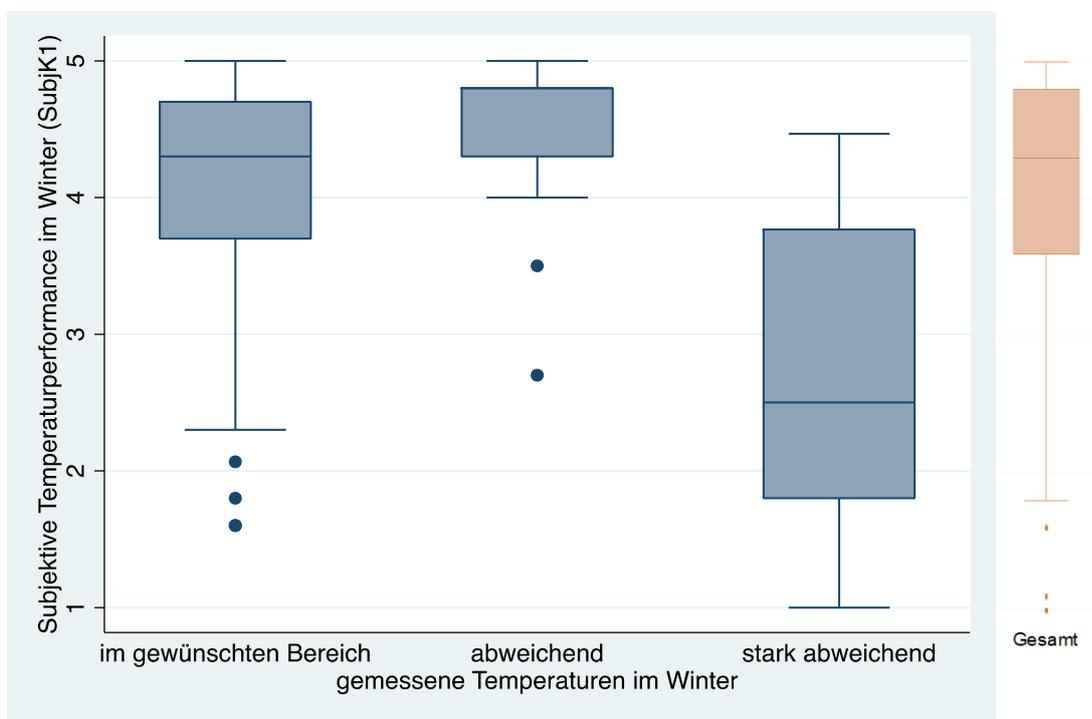


Abbildung 7-47: Beziehung zwischen der subjektiven Temperaturperformance im Winter und der gemessenen Temperaturen im Winter für sämtliche Gebäude

Da in keinem der Gebäude die gemessenen Temperaturen im Sommer stark vom gewünschten Bereich abweichen, können bei der **sommerlichen Gebäudeperformance** nur zwei Gruppen verglichen werden. In diesen beiden Gruppen variieren die Werte der subjektiven Temperaturperformance im Sommer jedoch kaum. Ob die sommerlichen Temperaturen im gewünschten Bereich liegen oder davon leicht abweichen, scheint nur geringen Einfluss auf die Bewertung durch die Bewohner zu haben. Diese bewerten die sommerliche Temperaturperformance in beiden Gruppen als eher mittelmäßig bis schlecht (Median = 3,0 bzw. 2,75), also auch dort, wo die gemessenen Werte im gewünschten Bereich liegen.

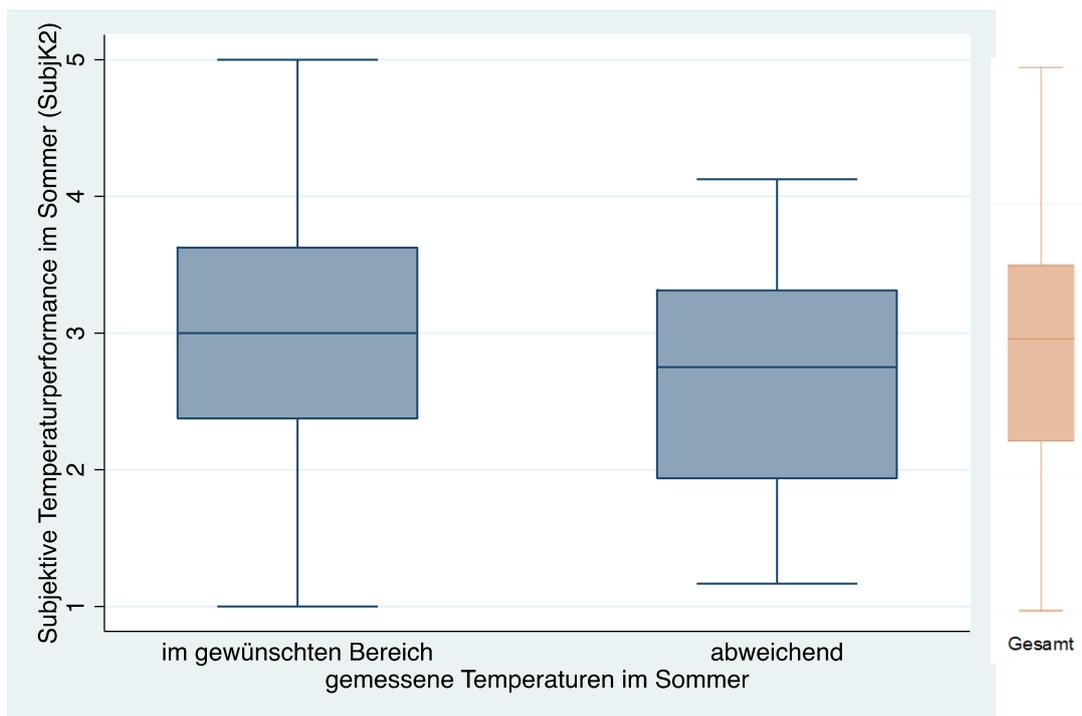


Abbildung 7-48: Beziehung zwischen der subjektiven Temperaturperformance im Sommer und der gemessenen Temperaturen im Sommer für sämtliche Gebäude

Bei der **Luftqualität** zeigt sich ein schwacher linearer Zusammenhang. Je stärker die gemessenen Werte von dem gewünschten Bereich abweichen, desto schlechter auch die subjektive Luftqualität. Allerdings sind die Unterschiede gering und bewertet in allen drei Gruppen eine deutliche Mehrheit die Luftqualität positiv ( $Q_1 = 3,6$  bzw.  $3,2$  bzw.  $3,0$ ). Unabhängig von der tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration bewerten die Bewohner die Luft also als recht gut.

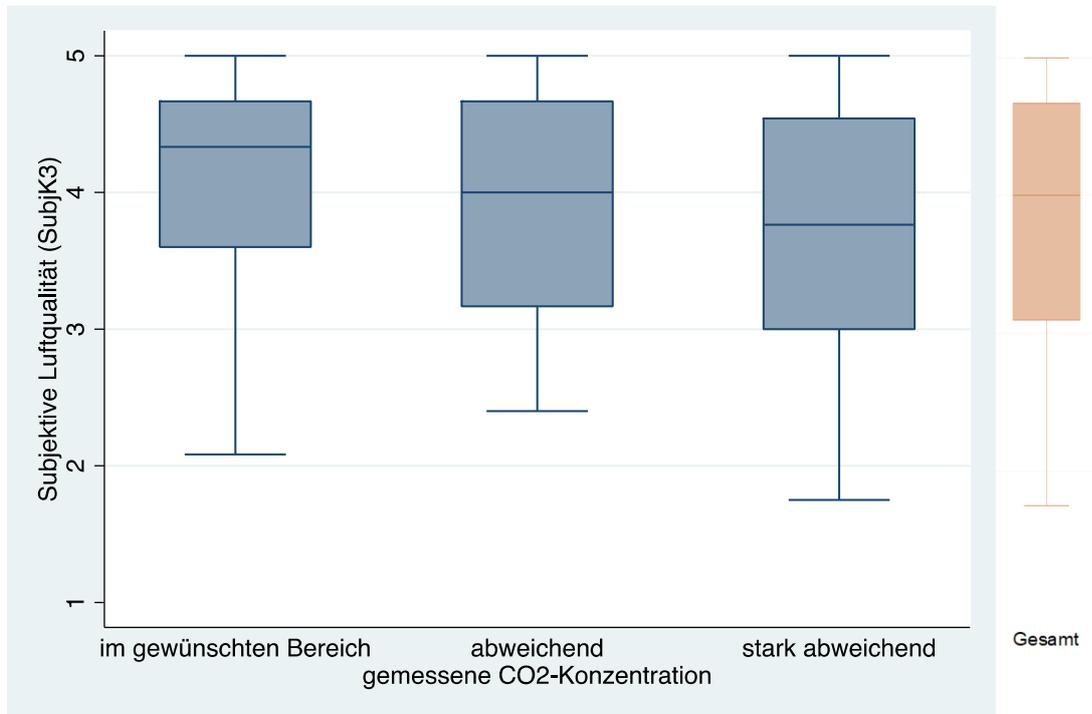


Abbildung 7-49: Beziehung zwischen der subjektiven Luftqualität und der gemessenen Luftqualität für sämtliche Gebäude

## 8. DISKUSSION DER ERGEBNISSE / VERGLEICH DER DIMENSIONEN

In diesem Abschnitt soll der Vergleich der Ergebnisse zwischen den Dimensionen der Studie diskutiert werden. Aufgrund der schlechten Datenlage im Bereich der Gebäudedaten (siehe dazu „Dimension 1: Planung und Simulation“) und die Tatsache, dass es sich bei den Komfortwerten um Eingangsparameter der vorliegenden EnEV-Berechnungen handelt, die notwendig für alle Gebäude gleich (oder sehr ähnlich) sind, muss sich diese Auswertung auf einen Vergleich des gemessenen, objektiven Innenraumklimas mit dem empfundenen, subjektiven Wohnkomfort (Wellbeing) beschränken.

In der folgenden Tabelle werden die gemessenen Werte und die empfundenen Eindrücke gegenübergestellt. Die Bewertung der gemessenen Werte erfolgte aufgrund der Normwerte. Die Bewertung der subjektiven Daten wurde den Angaben der Teilnehmer entnommen.

Während sich auf Grund der teilweise zu geringen Teilnehmerzahl pro Gebäude (siehe dazu oben „Dimension 3: Befragung,“) lediglich fünf der insgesamt 19 Gebäude direkt miteinander vergleichen lassen, basiert die Analyse zu den Gebäudemerkmalen auf dem Gesamtdaten-

satz, also allen 19 Gebäuden. Dafür wurden die Gebäude jeweils pro Merkmal in Gruppen zusammengefasst und ausgewertet.

Tabelle 8-1: gemessene Raumklimawerte

**Raumtemperatur im Winter**

	im gewünschten Bereich	=	20-22°C
	abweichend	=	Abweichung um ein °C
	stark abweichend	=	weitere Abweichung

**Raumtemperatur im Sommer**

	im gewünschten Bereich	=	22-24°C
	abweichend	=	Abweichung um ein °C
	stark abweichend	=	weitere Abweichung

**CO<sub>2</sub>-Konzentration**

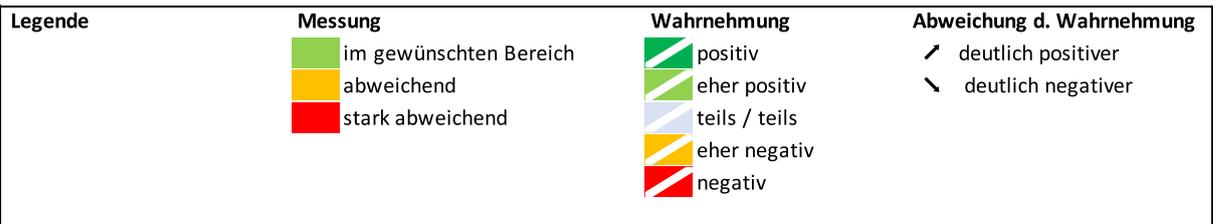
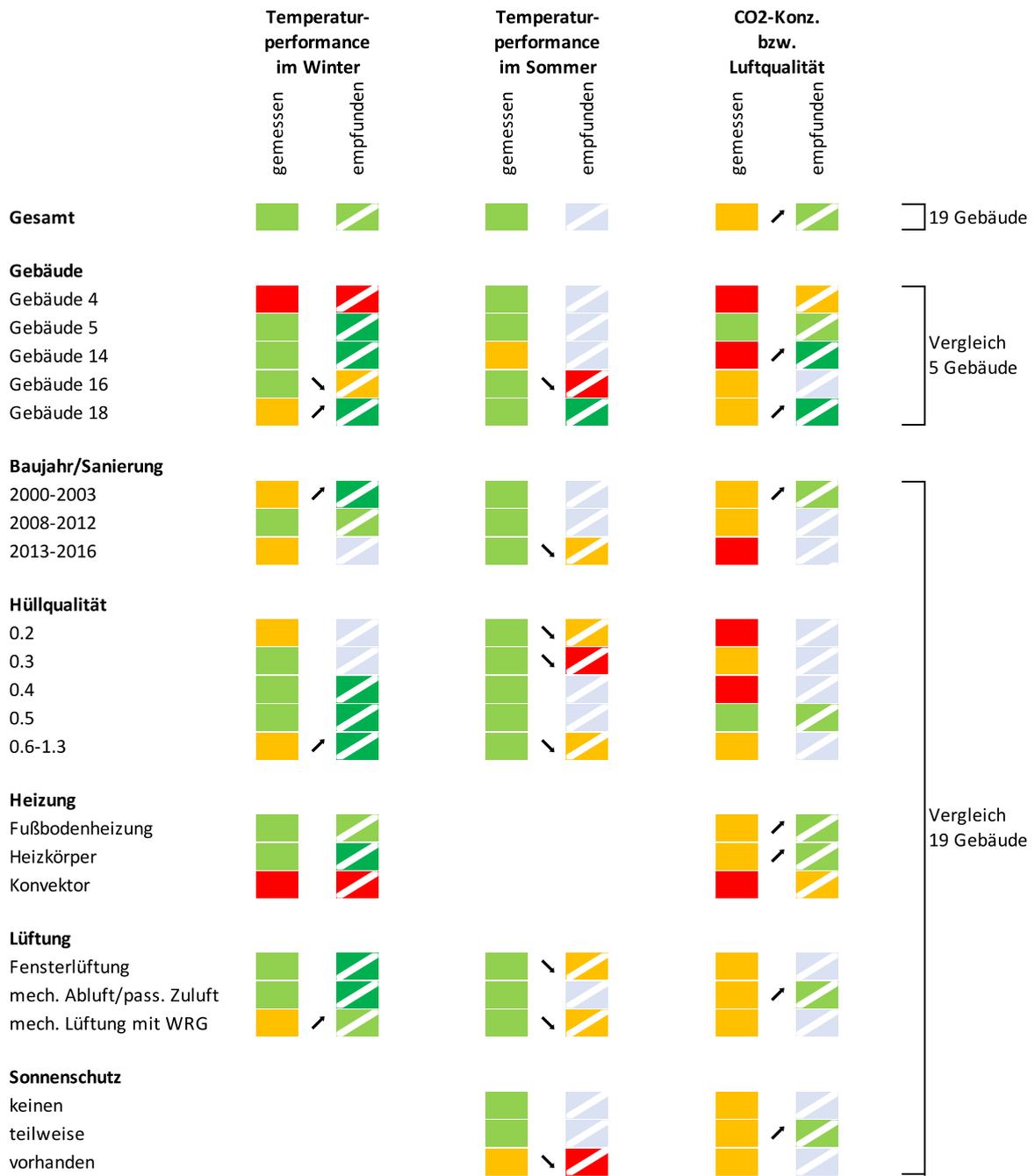
	im gewünschten Bereich	=	Zeit mit Werten >1000ppm: >5%
	abweichend	=	Zeit mit Werten >1000ppm: >10%
	stark abweichend	=	Zeit mit Werten >1000ppm: >15%

Tabelle 8-2: subjektive Gebäudeperformance

**winterliche Temperaturperformance, sommerliche Temperaturperformance, Luftqualität**

	positiv	=	$Q_1 \geq 4$
	eher positiv	=	$Q_1 < 4$ UND Median $\geq 4$
	teils / teils	=	Median $\geq 3$ UND Median $< 4$
	eher negativ	=	$Q_1 > 2$ UND Median $< 3$
	negativ	=	$Q_1 < 2$ UND Median $< 3$

Tabelle 8-3: Vergleich der Gebäude untereinander



## 8.1. Vergleich „Temperatur im Winter“, gemessen und empfunden

Bei einem direkten Vergleich der fünf Gebäude fällt auf, dass die Empfindung der winterlichen Temperaturen eine gute Passung zu den gemessenen Werten aufzeigt.

Auffällig ist die Abweichung bei dem Gebäude 16 auf dem Riedberg, das schlechter beurteilt wird, als die gemessenen Werte es nahelegen. Dies wurde bereits mit der höheren Erwartung der Bewohner an das modernste der Gebäude und die geringere Gewöhnungszeit seit Fertigstellung 2015 zu erklären versucht.

Die Abweichung bei Gebäuden älteren Baujahrs ließe sich mit dem Gewöhnungseffekt erklären.

Die Auswertung nach der Hüllqualität ergibt kein schlüssiges Muster: Sowohl die Gebäude mit dem besten als auch die Gebäude mit den schlechtesten Dämmwert der Gebäudehülle (Transmissionswärmeverlust ( $H_t'$ )) weichen in der Messung von den Soll-Temperaturen ab. Nur die Gebäude mittlerer Güte bleiben im gewünschten Bereich. Die Bewohner beurteilen trotzdem die schlechter gedämmten Gebäude positiver als die besser gedämmten.

Heizkörper und Fußbodenheizung schneiden gleichermaßen in Messung und Wahrnehmung gut ab. Einzig die Konvektorenheizung, bei der es sich auch um einen Heizkörper handelt, der aber mit höheren Temperaturen arbeitet, erreicht nicht die Sollwerte, was auch negativ beurteilt wird.

## 8.2. Vergleich „Temperatur im Sommer“, gemessen und empfunden

Die sommerlichen Temperaturen der ausgewerteten Gebäude fallen fast durchgehend in den Sollbereich. Allein ein Gebäude in der Auswertung (Gebäude 14) zeigt Übertemperaturen.

Die Bewohner scheinen gegenüber den sommerlichen Temperaturen weitgehend indifferent. Ausnahmen bilden zwei Gebäude: Bei Gebäude 16, Frankfurt Riedberg, wird der sommerliche Temperatur-Komfort deutlich negativ bewertet, obwohl die Messwerte im grünen Bereich lagen. Auch hier würden wir in einem Erklärungsversuch auf die gesteigerte Erwartungshaltung und die fehlende Gewöhnung abstellen wollen.

Das Baualter hat geringen Einfluss auf den sommerlichen Komfort, auch wenn insgesamt eine ausgeprägtere Neigung der neueren Gebäude zur Überhitzung und eine negative Beurteilung zu erkennen ist.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen zwar, dass das Vorhandensein eines Sonnenschutzes sich negativ auf die Überhitzung im Sommer auswirkt. Die Studie geht aber davon aus, dass hier die Begrifflichkeiten in den Fragebögen nicht ausreichend geklärt wurden, weil auch ein Rollladen wie ein Sonnenschutz wirken kann, dieser von den Befragten aber nicht als solcher erkannt oder benannt wurde. Zudem stellt sich die Frage, ob der Sonnenschutz nicht eine Maßnahme gegen Überhitzung darstellt, die also auch als Indiz für eine problematische Situation dienen kann.

Bei dem Vergleich der gemessenen und empfundenen sommerlichen Temperaturen ist auffällig, dass der subjektive Komfort in den allermeisten Fällen hinter dem gemessenen zurückbleibt. Dies ließe sich u.a. dadurch erklären, dass möglicherweise die in der Norm festgeschriebenen Werte das Komfortbedürfnis der Bewohner nicht angemessen widerspiegeln.

Auch die fehlende Möglichkeit, Überhitzung z.B. durch eine Anpassung der Kleidung zu kompensieren, wie es im Winter leichter möglich ist, kann eine Erklärung für dieses Ergebnis sein.

### **8.3. Vergleich „Luftqualität“, gemessen und empfunden**

Die Ergebnisse zur „Luftqualität“ sind in vieler Hinsicht besonders interessant, aber auch schwierig zu interpretieren.

Zunächst fällt auf, dass die Gebäude fast alle – mit einer Ausnahme in Gebäude 5 – eine abweichende oder stark abweichende Luftqualität aufweisen. An dieser Messung scheinen auch die teilweise installierten Lüftungsanlagen nichts zu ändern.

In der Studie wurde nicht erfasst, wie die Bewohner die Wohnungen belüften. So gibt es zahlreiche Empfehlungen für die gesunde Wohnraumlüftung – z.B. zweimal Stoßlüften für 15 Minuten – die allerdings nicht in der Studie erfasst wurden.

Im Gegensatz zu den Messungen, die die Gebäude überwiegend in einem kritischen Bereich zeigen, sind die Bewohner mit der Luftqualität überwiegend zufrieden oder äußern sich klar weder in die eine noch in die andere Richtung. Eine recht gute Passung zwischen den negativen Messwerten und der vergleichsweise negativen Einschätzung der Befragten findet sich allein bei dem Gebäude 4 in Berlin.

Aus der Alltagserfahrung weiß man, dass eine unzureichende Luftqualität bei längerem Aufenthalt kaum noch wahrgenommen wird. Der olfaktorische Sinn ist beim Menschen so ausgebildet, dass bei schnelleren Veränderungen (z.B. Betreten eines Raums mit geringer Luftqualität) diese deutlich wahrgenommen wird. Beim längeren Aufenthalt insbesondere in der eigenen Wohnung, werden Gerüche kaum noch wahrgenommen.

In Hinblick auf die Messergebnisse noch wichtiger ist die Tatsache, dass der in den Messgeräten angezeigte Indikator für die Luftqualität – die Kohlendioxid-Konzentration in der Innenluft (CO<sub>2</sub>) – selbst geruchslos ist und auch in höchsten Konzentrationen nicht direkt wahrgenommen werden kann. Es gibt zwar zahlreiche Untersuchungen zu indirekten Effekten zu hoher Kohlendioxid-Konzentration in der Innenluft auf die Konzentrationsfähigkeit und Arbeitsleistung. Aber diese Effekte, die durchaus auch eine körperliche Dimension haben (Müdigkeit, Kopfschmerzen, Kreislaufprobleme), so ist fraglich, ob diese Effekte in den untersuchten Wohnungen eintreten und bei den Befragten – sofern sie aufgetreten wären – mit der Luftqualität in Verbindung gebracht würden.

### **8.4. Multi-Faktoren-Auswertung**

Die Studie beschränkt ihre Auswertungen auf die Betrachtung von jeweils zwei Faktoren, die verglichen und interpretiert werden. Für eine genauere Analyse von Faktoren, Korrelationen und Abhängigkeiten wäre es erforderlich eine Sensitivitäts-Analyse zu machen, bei der die Zusammenhänge zwischen allen erfassten Merkmalen der Gebäude und der Technik, Daten über die Bewohner, Aufenthaltsdauer in den Wohnungen und Wetterdaten in einen Zusammenhang gebracht werden können. In einer solchen Analyse könnten die Einflussfaktoren in ihrer Wirkung bewertet werden (stabilisierend, kritisch, puffernd oder empfindlich...) und dann die entscheidenden Faktoren in ihren Abhängigkeiten beschrieben.

Eine solche Multi-Faktorenanalyse ist im Rahmen der vorliegenden Studie aufgrund der Gebäudeauswahl und begrenzten Fallzahl nicht möglich, könnte aber bei Ausdehnung der Datenbasis aus der angewendeten Methodik entwickelt werden.

## **9. GESAMTAUSWERTUNG UND FAZIT**

### **9.1. Methodisches Fazit**

#### **9.1.1. Fallzahl**

Die Studie war anfangs als eine Fallstudie von 3 Gebäuden konzipiert. In diesen drei Gebäuden sollten insgesamt ca. 20 Wohneinheiten mit einer großen Genauigkeit untersucht werden. Für diese Gebäude lagen aufgrund vorangegangener Forschungsarbeit (z.B. Begleitforschung zum Netzwerk Effizienzhaus Plus des BBSR) oder der größeren Planungstiefe umfangreiche Informationen vor, die insbesondere für die erste Dimension der vorliegenden Studie (Planung) hätten genutzt werden können. So gab es neben den Sollwerten für die Auslegung der Temperaturen auch dynamische Simulationen, die eine genauere Prognose des geplanten Verhaltens der Gebäude zugelassen hätte.

Von den Gutachtern des Fördermittelgebers kam der berechtigte Einwand, dass die Fallzahl der geplanten Studie so gering sei, dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse einer solchen Einzelfall-Betrachtung nicht zulässig sei. Deswegen wurde eine Erhöhung der Fallzahl auf insgesamt 300 Fälle gefordert. Hier ergab sich das Problem, dass der Aufwand für die Erhöhung der Fallzahl den Aufwand für die Messung, Befragung und die Auswertung erheblich erhöht hätte, was mit den beantragten Mitteln nicht zu leisten gewesen wäre.

Die Studie wurde schließlich so umstrukturiert und in dieser Form auch durchgeführt, dass eine erheblich höhere Fallzahl von 100 Wohnungen untersucht wurden, bei den einzelnen Wohnungen jedoch die Detailtiefe geringer gehalten wurde.

#### **9.1.2. Auswahl der Beispiel-Gebäude**

Dem Antragstenor folgend wurden in der vorliegenden Studie nur Gebäude neueren Datums oder solche untersucht, die in den zurückliegenden 18 Jahren (seit 2000) grundhaft saniert wurden. Daraus ergab sich, dass alle untersuchten Gebäude eine – mit dem gesamten Gebäudebestand in Deutschland verglichen – gleichartige Qualität der Gebäudehülle und Haustechnik aufweisen. Auch wenn die Gebäude natürlich recht unterschiedlich konstruiert und ausgestattet sind, so gelingt es doch vermutlich den meisten neueren oder sanierten Gebäuden in Deutschland, die seit Jahren hohen gesetzlichen Mindestanforderungen an Komfort und Energie-Verbrauch zu erfüllen. Aus dieser Einengung des Untersuchungsraums ergab sich, dass die Gebäude in der Studie sich in Hinblick auf den Wohnkomfort ähnlicher sind, als innerhalb einer Auswahl von Gebäuden, die den gesamten Wohnungsbestand repräsentiert. Diese Einschränkung hat zu weniger starken Ausschlägen sowohl in Hinblick auf die gemessenen Komfortparameter als auch auf das subjektive Empfinden der Bewohner ge-

führt. Erklären lässt sich diese Betrachtung aus der Anwendbarkeit der Ergebnisse für die Planung von neuen Gebäuden und Modernisierungen. So sind die Ergebnisse in dieser Hinsicht aussagekräftiger als es die Betrachtung von älteren Baualterklassen gewesen wäre. Dennoch bleibt in Hinblick auf die Entwicklung einer vergleichenden Untersuchungsmethodik der drei betrachteten Dimension fraglich, ob nicht ältere Gebäude, die stärkere Abweichungen (Varianz) von Soll-Werten aufweisen auch stärkere Unterschiede bei der Beurteilung der Bewohner und damit ein klareres Bild von den Präferenzen und schlecht tolerierbaren Aspekten ergeben hätte.

Ein anderer Ansatz wäre Gebäude in Hinblick auf bestimmte Merkmale auszuwählen und diese gezielt zu vergleichen (z.B. EnEV-Gebäude und Passivhäuser oder Gebäude mit kontrollierter Wohnungsbe- und entlüftung gegenüber solchen mit freier Fensterlüftung). Ein solcher Ansatz würde gestatten eine Reihe von kleinen Studien durchzuführen zu Einzelaspekten, die dann in einem zweiten Schritt zu einer übergreifenden Studie zusammengeführt werden könnten. Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass die Zusammenhänge zwischen den Faktoren nicht untersucht werden können (siehe dazu unter: Multi-Faktoren-Auswertung).

## 9.2. Methodik der Messung und Auswertung

Die Studie diene in erster Linie der Entwicklung einer übertragbaren Untersuchungsmethode, mit der die drei relevanten Dimensionen erfasst, verglichen und bewertet werden können:

- Dimension 1: Planung, Simulation
- Dimension 2: Physikalische Messung
- Dimension 3: Befragung, Nutzerzufriedenheit

Deswegen werden im Folgenden vor allem die methodischen Fragen diskutiert und Vorschläge für die Verbesserung der angewendeten Untersuchungsmethode beschrieben.

### 9.2.1. Dimension 1: Planung und Simulation

Für die untersuchten Gebäude lagen der Forschung nur unvollständige Daten über die Planung vor. In den meisten, aber auch nicht in allen Fällen, wurden EnEV-Nachweise vorgelegt, wobei diese teilweise unvollständig waren, z.B. in Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz. In anderen Fällen gab es einen Nachweis mit dem Passivhaus-Projektierungspaket PHPP. Insgesamt wurden 19 Gebäude in der Studie erfasst, von denen 6 aufgrund fehlender Energieberechnung nicht weiter analysiert werden konnten.

Eine Vergleich der Gebäude untereinander sowie eine Querauswertung der simulierten oder geplanten Gebäudeperformance war aufgrund der fehlenden oder nicht vergleichbarer Daten nicht möglich.

Hier zeigt sich ein wesentliches Problem der Studie: Die Wohnungsbaugesellschaften, die die Gebäude betreiben, haben der Untersuchung zugestimmt, sind aber nicht intrinsisch motiviert, alles für den Erfolg der Studie zu tun. Um Dritte zur Teilnahme an der Studie zu gewinnen, musste ihr Zeitaufwand so gering wie möglich gehalten werden sowie der gewohnte Ablauf des Unternehmens nicht gestört werden. Zudem waren in vielen Fällen auch die benötigten Daten nicht (mehr) vorhanden. Bei der Auswahl der Gebäude wurde nicht zuletzt aufgrund der Hoffnung auf eine breitere Verfügbarkeit von Gebäudedaten auf Gebäude neueren Baujahrs oder solche, die umfassenden saniert worden sind, abgestellt. Dennoch waren

viele Datensätze, Energieberechnungen oder Konstruktionsdaten nicht vorhanden. Grundsätzlich wäre auch eine genauere Bestandsaufnahme der Gebäudesubstanz denkbar, die aber auch einen erheblichen Aufwand für die Forschung bedeutet, indem die Bauteilaufbauten aller Hüllbauteile und die Haustechnik vor Ort zu ermitteln sind.

Es würde sich deswegen für die Verbesserung der Methode empfehlen, dass nur Gebäude untersucht werden, für die vollständige Datensätze über die Gebäudehülle und die Haustechnik vorhanden sind. So war die Datenlage bei den Gebäuden von Genossenschaften und Baugruppen erheblich besser. Hier besteht aufgrund der übersichtlicheren Organisation und der stärkeren Identifikation der Betreiber mit den Gebäuden (insbesondere bei den Baugruppen) eine höhere Kooperationsbereitschaft.

Einige der untersuchten Gebäude waren im Eigentum von zwei Wohnungsbaugesellschaften (Vonovia und Nassauische Heimstätte). Beide Gesellschaften haben durch ihr Engagement und die vorbildliche Zusammenarbeit ein selbstloses Interesse an der Förderung der Wissenschaft bewiesen. Es gibt aber auch Vermieter, die eine größere Transparenz über die Performance ihrer Gebäude und / oder eine bewusster Auseinandersetzung der Mieter mit den Fragen des Wohnkomforts, wie sie durch eine Befragung initiiert werden könnte, scheuen. Durch eine genauere Erfassung und Diskussion der Gebäudeperformance könnten Probleme sicht- oder nachweisbar werden, die sich bei einem unbeobachteten Betrieb nicht beschreiben oder belegen ließen. Deswegen würde sich empfehlen, bei einer breiter angelegten Studie die entstehenden Daten über die Gebäude so zu anonymisieren, dass auch die Mieter keine Möglichkeit haben, die Datensätze einzusehen. Bei der hier eingesetzten Messtechnik ist dies nicht der Fall, weil diese kontinuierlich Daten erzeugt, die auch für die Bewohner sichtbar werden. Ferner müsste eine Studie die Interessen der Wohnungswirtschaft in so geeigneter Form berücksichtigen, dass diese aus eigenem Antrieb die Daten zur Verfügung stellt.

Basierend auf den möglichst vollständigen Gebäudedaten, sollte in einer Studie eine einheitliche Simulation des Verhaltens der Gebäude erarbeitet werden. Sinnvoll scheint hier – aus der Erfahrung mit dem heterogenen Datenbestand der Studie heraus, dass auch die EnEV-Berechnung für alle untersuchten Gebäude mit einer einheitlichen Software und Berechnungsmethode durchgeführt wird. Hier ist zu bedenken, dass Gebäude unterschiedlichen Baujahrs unter Umständen mit einer anderen Fassung der EnEV nachgewiesen wurden, die sich nicht nur in den Grenzwerten, sondern auch den Rechenmethoden unterscheiden. Die Sanierungen unterliegen noch einmal anderen Rechenverfahren, so dass ein Vergleich der EnEV-Ergebnisse nur eingeschränkt sinnvoll ist.

Ferner müssten alle zu untersuchenden Gebäude über die EnEV-Nachweise hinaus, mit einer dynamischen Simulation in Hinblick auf den zu erwartenden (geplanten) Wohnkomfort untersucht werden. Dieser hohe Aufwand ist deshalb notwendig, weil die EnEV-Auswertung ihrem Wesen nach Aussagen über den unterschiedlichen Energie- und Ressourcenverbrauch der Gebäude bei gleichen Zielwerten macht. Die untersuchungsgegenständlichen Komfort-Parameter sind also Eingangparameter der EnEV, die für alle Gebäude gleich sind. Die Abweichungen (Ergebnisse) zeigen sich also nur im Energie-Verbrauch. Das geeignete Mittel für eine Prognose des Wohnkomforts sind also dynamische Simulationen. Dabei müssten die Eingangparameter, so wie die zu untersuchenden (kritischen) Räume soweit über alle untersuchten Gebäude vereinheitlicht werden, dass eine möglichst repräsentative

Abbildung aller Wohnungen entsteht. So verhalten sich die Zimmer mit unterschiedlichen Größen, Orientierungen, Nutzungen und Fensterflächen auch innerhalb eines Gebäudes unterschiedlich, was in der Auswahl der zu simulierenden Zimmer, aber auch bei der folgenden Auswertung berücksichtigt werden müsste.

### 9.2.2. Dimension 2: Physikalische Messung

Die eingesetzte Messtechnik ist nicht für den wissenschaftlichen Einsatz konzipiert. Vielmehr handelt es sich um Endverbraucher-Geräte, deren Einsatz für die Studie sich aus drei Gründen empfahl: Die Kosten für die Anschaffung solcher einfacher Geräte war deutlich niedriger als die einer genaueren Messtechnik. Dies war vor dem Hinblick der vergrößerten Anzahl von zu untersuchenden Wohnungen ein wichtiges Auswahlkriterium. Außerdem bieten die Geräte eine vergleichsweise komfortable und leistungsfähige Internet-Schnittstelle, die von dem Programmierer angegangen werden konnte, um die Messdaten vom Server der Geräte abzunehmen. Auch hier ist es schwierig, aus der Studie heraus eine belastbare Aussage zu der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Geräte zu machen, weil keine Zweitgeräte für Vergleichsmessungen eingesetzt werden konnten. Die Messtechnik und Erfahrungen aus anderen Monitoring-Projekten der Antragstellerin legen die Vermutung nahe, dass Temperaturen und die Luftfeuchte auch bei günstigen Geräten mit einer ausreichenden Genauigkeit erfasst werden. Technisch anspruchsvoller ist die Messung von CO<sub>2</sub>. Hier greifen die NETATMO-Geräte auf eine Kalibrierungsroutine zurück, um Messfehler zu kompensieren. Die Geräte messen keinen absoluten Wert für die CO<sub>2</sub>-Konzentration, sondern berechnen einen relativen Wert, der sich auf den geringsten Wert der vergangenen Messperiode von einer Woche bezieht, in der Annahme, dass mindestens einmal pro Woche die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Innenraum durch vollständiges Lüften, dem der Außenluft angeglichen wird. Bei anderem Lüftungsverhalten der Bewohner ergeben sich erhebliche Messfehler.

Die Messtechnik über den gesamten Messzeitraum von einem Jahr funktionsfähig zu halten, war eine besondere Herausforderung. Zwar wurden Ausfälle, die sich zum Beispiel auf den Batteriestand der Geräte zurückführen lassen, automatisch erfasst und gemeldet. Anschließend musste aber durch Ansprache und die Mitwirkung der Bewohner die Funktionsfähigkeit wieder hergestellt werden, was sich in manchen Fällen schwierig gestaltete.

Die größte Messungengenauigkeit ergab sich durch den Aufstellort der Geräte. So wurden in allen Wohnungen zwei Geräte installiert, die im Normalfall das Wohnzimmer und ein Schlafzimmer überwachen sollten. Es gab aber auch Wohnungen mit deutlich mehr Zimmern, deren bauliche Gegebenheiten und Nutzung sich unterschieden. Diese Unterschiede wurden in der Messung nicht abgebildet.

Die Sensoren wurden bei der Installation von den Forschern aufgebaut und in Betrieb genommen. Dadurch war eine fachgerechte Inbetriebnahme gesichert. Nicht gesichert war jedoch, was danach mit den Geräten geschah. Die meisten Teilnehmer haben die Geräte vermutlich am Aufstellort belassen. Es ist aber nicht auszuschließen und auch in Einzelfällen beobachtet worden, dass die Geräte umgestellt worden, was die Messung verändert.

In Hinblick auf die wünschenswerte große Anzahl von beforschten Wohnungen, sollte versucht werden, mit den verfügbaren günstigen Geräten mit Internet-Anbindung belastbare Forschung durchzuführen. In dieser Technologie, vielleicht in Verbindung mit internet-

basierten Befragungen ließen sich mit überschaubarem Aufwand große Anzahlen von Wohnungen beforschen.

Zentral für den Erfolg einer solchen Untersuchung ist, dass die Anzahl und vor allem der Anteil der beforschten Wohneinheiten pro Gebäude gesteigert werden kann. Nur wenn eine Mehrheit der Wohnungen im Gebäude untersucht wird, können Messfehler, individuelle Bedienung und Präferenzen geeignet gegeneinander gestellt werden, um ein Gesamtbild des Gebäudes zu erzeugen. Die Problematik der geringen Bereitschaft zur Teilnahme könnte durch eine längere Rekrutierungsphase, Auswahl der Gebäude und Teilnehmer, sowie durch eine Incentivierung der potentiellen Teilnehmer verbessert werden.

Diskutiert wurde im Projektteam, ob die Beschränkung der Messung auf einen Raum pro Wohnung sinnvoll sein kann, damit die Messung ein eindeutiges Ergebnis pro Wohnung zeigt. Dem kann entgegengehalten werden, dass hier das Risiko besteht, dass diese eine Messung nicht repräsentativ für die gesamte Wohnung ist und es deswegen sinnvoller wäre, alle Aufenthaltsräume zu überwachen. Zwischen den einzelnen Räumen dürfen keine Mittelwerte gebildet werden, weil nicht die Mittelwerte, sondern vor allem die Extreme für die Auswertung interessant sind. An dieser Stelle wird deutlich, dass schon die sinnvolle und ausreichend genau Beschreibung einer Wohnung mit mehreren Räumen methodisch und technisch eine anspruchsvolle Aufgabe ist.

Diskutiert werden muss auch, ob die eingesetzte Messtechnik zu ungenau für den Einsatz war. So führten vereinfachte Messung und Daten-Aggregation in den Geräten zu Messfehlern und unplausiblen Datensätzen. Hier ist zu bedenken, dass eine Messtechnik, die genauer arbeitet und robuster gegen Anwendungsfehler (Aufstellort, Stromversorgung) ist, auch erheblich teurer ist. Die Abwägung an dieser Stelle mit gleicher finanzieller Ausstattung wäre, eine Verringerung der Anzahl der gemessenen Wohneinheiten, gegen eine höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messung.

### **9.2.3. Dimension 3: Befragung**

Bei der Gewinnung von Daten lag die große Schwierigkeit bei der Motivation der Teilnehmer. Für die Bewohner der beforschten Wohnungen war der Anreiz, an der Studie teilzunehmen, gering. Es wurde erklärt, dass der wissenschaftliche Fortschritt, dem diese Studie dient, auch zu einer Verbesserung der Lebensumstände der Menschen beitragen kann. Ohne monetären Anreiz blieb die Teilnehmerzahl gering. Diese geringe Bereitschaft zur Teilnahme der Bewohner der einzelnen Wohnungen, war im Verlauf der Forschungsarbeit vor allem deshalb kritisch, weil die Akquise der Wohnungsbaugesellschaften und Gebäude für die Teilnahme ohnehin zeitaufwendig war und somit eine Ausweitung der Studie nach dem sich abzeichnete, wie die Teilnehmerzahlen sind, nicht mehr möglich war. So hatte das Projekt durch die methodischen Abstimmungen nach Antragsstellung und die Akquise von geeigneten Partnern schon zu Beginn der Messungen und Befragungen bereits mehrere Monate Verzug. Im Ergebnis war die Zahl der teilnehmenden Wohneinheiten in den meisten der untersuchten Gebäude so gering, dass diese nur unvollständig in die Auswertung mit einbezogen werden konnten. Von den insgesamt 19 beforschten Gebäuden konnten allein bei 5 Gebäuden durch eine ausreichende Fallzahl an Teilnehmern der Studie eine umfangreiche Analyse durchgeführt werden. Die Ausfälle der anderen Gebäude sind insbesondere deshalb

bedauerlich, weil der Aufwand für die Messung und die Befragung entstand, die gesammelten Daten aber nur begrenzte Aussagekraft haben.

Bei der Befragung der Teilnehmer ließe sich der Aufwand verringern, indem der Fragebogen kürzer gehalten wird und sich insgesamt auf weniger Aspekte konzentriert wird (s.u. Forschungsfrage).

Sinnvoll wäre es auch, bei einem gekürzten Fragebogen deutlich mehr Erhebungspunkte einzuführen. Eines der deutlichsten Ergebnisse der Studie war, dass sich die beste Korrelation zwischen den Ergebnissen der Befragung und der Messung auf einen Zeitraum von sieben Tagen ergab. D.h. Aussagen, die sich auf einen längeren Zeitraum beziehen werden, aufgrund der Gedächtnis- und Abstraktionsleistung der Befragten und der zunehmenden Varianz der Bedingungen im Befragungszeitraum zunehmend ungenau. Deswegen wäre es sinnvoll, im Lauf eines Jahres mehrfach repräsentative Wochen auszuwählen, zu denen die Teilnehmer befragt werden.

— Daraus folgt, dass wir empfehlen, weniger Gebäude zu untersuchen, aber innerhalb dieser Gebäude eine viel höhere Ausschöpfung zu realisieren. Damit ließen sich dann auch Vergleiche von Untergruppen (Familien, Singles, Alter, Geschlecht) oder Eigenheiten der Wohnungen (Wohnungsgrößen, Orientierung) anstellen, die sowohl innerhalb der Gebäude als auch in der gesamten Studie die Eigenheiten der Gebäude und die Wünsche und Gewohnheiten der Bewohner klarer ablesbar machen würde.

== Aus der Innensicht der Studie lässt sich keine Aussage darüber machen, wie stark die Selbstselektion der Teilnehmer die Ergebnisse der Studie beeinflusst. Es darf vermutet werden, dass durch die freiwillige Teilnahme, in Verbindung mit dem hohen Zeitaufwand und dem fehlenden Anreizen, nur bestimmte Personenkreise an einer derartigen Studie teilnehmen. Ob und wie dieser Effekt die Ergebnisse beeinflusst, ist aus der Studie nicht herzuleiten.

Auffällig ist jedoch, dass die Teilnahmebereitschaft bei Bewohnern von Baugruppen und Genossenschaften deutlich höher ausfällt, als die bei den nicht-genossenschaftlichen Wohnungsbaugesellschaften. Hier liegt die Vermutung nahe, dass die besondere Organisationsform zu einer erhöhten Identifikation der Bewohner mit dem Gebäude und der Wohnung führt. Insbesondere bei den Baugruppen, die auch an der Planung und der Finanzierung der Häuser (in unterschiedlichem Umfang) beteiligt waren, sehen sich die Bewohner in einer besonderen Verantwortung und / oder sind stolz über die Ergebnisse des partizipatorischen Projekts Auskunft zu geben. Die einzige Ausnahme in Hinblick auf eine überdurchschnittliche Beteiligung bildet das vorgenannte Gebäude der nassauischen Heimstätte am Riedberg, welches mit 41% Teilnahme (7 von 17 WE) in der Spitzengruppe liegt. Auch hier ist zu vermuten, dass die Mieter sich bewusst für ein hoch-effizientes modernes Gebäude entschieden haben und schon zuvor oder im Prozess der Auseinandersetzung mit der neuen Wohnung für die forschungsgegenständlichen Fragen sensibilisiert wurden. So sind im Riedberg, wie bei allen Gebäuden des Netzwerk Effizienzhaus-Plus, in den Wohnungen Displays montiert, die den Energieverbrauch anzeigen und die Idee einer weiteren Messung weniger fernliegend erscheinen lassen.

Methodisch ist es schwierig, dieses Grundproblem zu lösen, dass sich in vielen sozialwissenschaftlichen Studien findet. Die Teilnahme an Messungen und Befragungen muss aus

rechtlichen Gründen freiwillig bleiben und würde unter wie auch immer geartetem Zwang auch zu unscharfen Ergebnissen führen. Da es aus gebäudetechnischer und baukonstruktiver Sicht unerheblich ist, in welcher Organisationsform die Gebäude errichtet und betrieben wurden, empfiehlt sich aus den Erfahrungen der vorliegenden Studie klar die Auswahl von genossenschaftlichen Projekten und Baugruppen.

#### **9.2.4. Wohndauer und Gewöhnungseffekt**

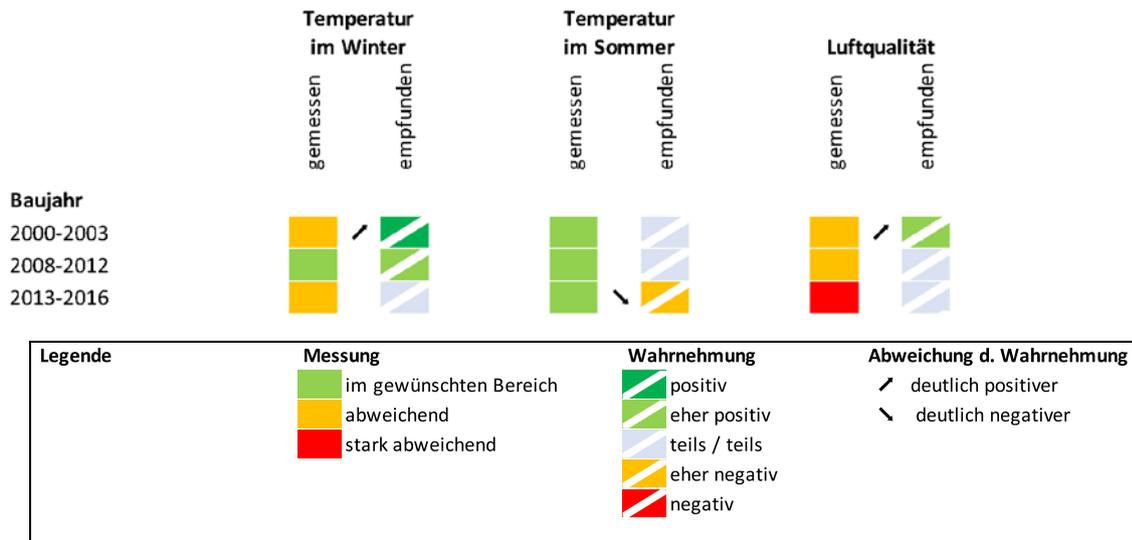
Ein weiterer Aspekt, der bei der Auswahl der Gebäude und Wohnungen in einer Studie stärker berücksichtigt werden könnte, ist die Wohndauer der Bewohner, die an der Studie teilnehmen. So korreliert eine lange Wohndauer grundsätzlich mit einer hohen Wohnzufriedenheit. Dabei sind drei Effekte wirksam: Zum einen findet eine Selektion statt, indem die Bewohner, die mit dem Wohnkomfort einer Wohnung eher unzufrieden sind, die Wohnung wechseln und somit in einer Messung nicht auftauchen. Zweitens erlernen die Bewohner einen besseren Umgang mit der Wohnung und der Bausubstanz. So sind die Bedienung, Nutzung und Wartung (z.B. Lüftungsanlagen) von hoch ausgestatteten modernen Wohngebäuden nicht immer selbst erklärend. In den Phasen nach dem Bezug, vor allem aber auch in der Einsteuerungsphase nach der Fertigstellung und Inbetriebnahme der Gebäude kommt es häufig zu Mängeln, Steuerungsproblemen und Bedienfehlern, die zu einem unzureichenden Komfort führen. Diese Effekte lassen nach dem ersten oder zweiten Betriebsjahr und bei mehr Erfahrung der Bewohner nach, wodurch die Gebäude näher am ihrem Optimum arbeiten. Drittens und vermutlich am wichtigsten ist die Gewöhnung der Bewohner an das Wohnumfeld. So werden Abweichungen, Veränderungen oder Störungen von dem Gewohnten in einem neuen Wohnumfeld deutlich empfunden und registriert. Im Laufe der Zeit findet jedoch eine Gewöhnung an die neuen Umstände statt, die diese weniger störend erscheinen lassen. So lässt sich erklären, dass Menschen auch in weit schwierigeren Wohnsituationen leben und gelebt haben, ohne diese als störend zu registrieren. Für weitere Studien empfiehlt sich also, die Fertigstellung der Gebäude oder Modernisierung und den Einzug der Bewohner zu erfassen. Um vergleichbare Befragungsdaten zu erhalten, könnte man auf eine Auswahl von Gebäuden zielen, die schon einige Betriebsjahre durchlaufen haben. Auch wäre eine Auswahl von Bewohnern mit einer längeren Wohnerschaft in Hinblick auf die Langfristigkeit des Wohnens sinnvoll.

Überlagert werden die genannten Aspekte durch die Erwartung der Bewohner. So erscheint es in der vorliegenden Studie wahrscheinlich, dass die negative Beurteilung des Gebäudes am Riedberg in Frankfurt durch die Bewohner, die deutlich hinter den gemessenen Werten zurückbleibt, auch dadurch zu erklären ist, dass die Erwartung an einen hochwertigen Neubau, ein Modellvorhaben des BBSR aus dem Netzwerk Effizienzhaus-Plus, deutlich höher sind, als an einen sanierten Altbau aus den 60er Jahren. Diese Diskrepanz zwischen den Messwerten und den Ergebnissen der Befragung ist durch die vergleichsweise kurze Gewöhnungsphase (und Anlaufphase der Haustechnik) seit der Inbetriebnahme in 2015 zu erklären.

Bei dem Gebäude 18 „Wohnsinn 1“ in Darmstadt ist vermutlich der spiegelbildliche Effekt zu erkennen. So ist es das mit Abstand älteste Gebäude in der Studie, dessen Bewohner aufgrund der Organisation als Baugruppe selten bis gar nicht gewechselt haben. Die Bewohner beurteilen das Gebäude in Hinblick auf den winterlichen Temperaturkomfort und die Raum-

Luftqualität, überwiegend deutlich besser als es die Messwerte dies vermuten lassen würden. Diese beiden Fallstudien legen die Vermutung nahe, dass der Gewöhnung für den empfundenen Wohnkomfort eine entscheidende Rolle zukommt. Im Umkehrschluss muss dieses Merkmal bei der Auswahl der Gebäude und Teilnehmer eine zentrale Rolle spielen und als Eingangsparameter in der Auswertung sorgfältig abgebildet werden.

Der Gewöhnungseffekt zeigt sich auch in der Querauswertung der Beispiele über alle untersuchten Parameter:



Das Innenraumklima in den drei älteren Gebäuden wird subjektiv insgesamt besser beurteilt als es die gemessenen Werte nahelegen. Bei den Gebäuden mit einer mittleren Eingewöhnungszeit zwischen 10 Jahren und 5 Jahren, findet sich eine bessere Übereinstimmung.

### 9.2.5. Einfluss von Bewohnermerkmalen und Nutzertypen

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss unterschiedlicher Gebäudemerkmale auf das subjektive Komfortempfinden und klammert den Einfluss personenbezogener Variablen in der Analyse aus. Das ist auf Grund der Auswahl der Untersuchungsobjekte und der gegebenen Fallzahl methodisch notwendig und steht im Einklang mit dem Forschungsziel. Die Untersuchungsobjekte bilden die Gebäude und nicht deren Bewohner. Zukünftig erscheint es aber durchaus sinnvoll, die Wechselwirkung zwischen Gebäude- und Personenmerkmalen näher zu beleuchten. Hierbei ließen sich verschiedene Bewohnergruppen und Nutzertypen unterscheiden, um zu untersuchen, wie diese im Zusammenspiel mit verschiedenen Gebäudecharakteristika harmonieren. Diesbezüglich wurden bereits wichtige Vorarbeiten geleistet, auf denen eine solche Untersuchung aufbauen könnte. Zu nennen wäre hier insbesondere die Studie NutzTech des Zentralverbands Sanitär Heizung Klima (2014) zu einer an den Nutzerbedürfnissen ausgerichteten Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik im Wohnungsbau. Diese konnte mit Hilfe einer Clusteranalyse drei Nutzergruppen extrahieren: Komfort-Gruppe, Eco-Gruppe und Öko-Gruppe. Für die Zuordnung von Bewohnern zu einer dieser Gruppen würden sich insbesondere die Merkmale Alter, Wohnkonzept und Wunsch- Raumtemperatur eignen. Eine Zusammenführung der Methoden aus der vorliegenden Studie mit

den Instrumenten solcher nutzergruppenorientierter Bedarfsanalysen erscheint vielversprechend.

## 10. ÜBERTRAGBARKEIT UND TRANSFER

Abschließend soll diskutiert werden, wie sich die Ergebnisse der Untersuchung und die entwickelte Methode auf andere Projekte übertragen ließe.

### 10.1. Forschungsfrage

Die Erfassung, Auswertung und der Vergleich der genannten drei Dimensionen – Planung, physikalische Messung und Befragung - bei 100 Wohneinheiten, war eine methodische Herausforderung. Die Studie hat auch die Schwierigkeiten dieser umfassenden Datenerhebung deutlich gemacht. Sinnvoll scheint es deswegen, bei einer Studie mit einem so beschränkten Umfang, wie die vorliegende, die Forschungsfrage stärker einzugrenzen. Der ergiebigste Teil der Untersuchung, war der Vergleich der gemessenen physikalischen Daten mit den Befragungsdaten. Dieser interessante Vergleich von objektiven, gemessenen Werten mit dem subjektiven Empfinden der Menschen ist die zentrale Forschungsfrage, die durch die Ergebnisse in Teilen beantwortet werden kann. Da die Studie aber vor allem einen methodischen Zweck verfolgt – nämlich die Entwicklung und Operationalisierung einer entsprechenden Mess- und Befragungsmethode – sollten diese methodischen Ansätze so weiterentwickelt werden, dass diese Methodik sich auf eine Vielzahl von Gebäuden anwenden lässt.

### 10.2. Übertragbarkeit und Transfer

Die entwickelte Methodik der Messung von physikalischen Daten und dem Vergleich dieser Messwerte mit dem Empfinden der Nutzer ließe sich aus den Ergebnissen des Projekts mit geringem Aufwand auf eine große Anzahl an Gebäuden oder Wohnungen übertragen. Die notwendigen Kategorien wurden gebildet und die Parameter soweit beschrieben, dass ein Einsatz in der Breite mit geringen Anpassungen möglich wäre. Die Auswertung dieser beiden Datensätze (objektiver und subjektiver Wohnkomfort) wäre mit der vorliegenden Methodik möglich. Diese Auswertung wird dadurch begünstigt, dass sich die Kategorien und Messpunkte in den beiden Dimensionen, sowie die Mess- / Befragungszeiträume leicht und sehr genau miteinander in Korrelation bringen lassen. Eine solche Studie könnte durch die automatische Erfassung von Mess- und Befragungsdaten auch an einer großen Anzahl an Wohneinheiten durchgeführt werden. Bei einer entsprechend großen Fallzahl ( $n > 1000$ ) und Streuung der Objekte und demographischen Daten, die allerdings in der Studie erfasst und ausgewertet werden, würde einen viel besseren Einblick in die Wohnpraxis und Wohnwünsche der Menschen geben.

Die Schwierigkeiten der Erfassung und Bewertung der Bausubstanz bleiben. Hier könnte eine größere Präzision durch eine genauere, dynamische Simulation der Gebäude erreicht werden, die aber auch eine gute Kenntnis von Bausubstanz und Technik voraussetzt.

Alternativ wäre eine vereinfachte Methodik vorzustellen, die die Gebäude in bestimmte Typen einteilt (Gebäudetypologie, Baualtersklassen, unsaniert, saniert, Neubau). Eine so ver-

einfache Einordnung sollte auch den Teilnehmern der Studie möglich sein, die in den Gebäuden leben.

### 10.3. Ausblick

Eingeschränkt wird die Durchführung einer Breiten-Untersuchung, die zu repräsentativen Abbildung des Wohnungsbestandes in Deutschland führen würde, durch die oben genannten Faktoren:

- Finanzielle Aufwand für die Messtechnik, Infrastruktur und Auswertung
- Motivation und Zuverlässigkeit der Teilnehmer
- Akquise der teilnehmenden Wohnungen oder Eigentümer.

Ohne eine substantielle finanzielle Ausstattung ließe sich ein großmaßstäbliches Projekt nur schwer umsetzen. Zu prüfen wäre, ob eine Zusammenarbeit mit den Herstellern der Endgeräte möglich ist. Denkbar wäre zum Beispiel, dass die Nutzer der Endgeräte bei der Installation und Einrichtung des Internet-Backends, eine Nachricht erhalten, mit der sie um die Zustimmung gebeten werden, dass die gemessenen Daten in anonymisierter Form zu Forschungszwecken genutzt werden. Dann könnten zu einem späteren Zeitpunkt bei den Teilnehmern automatisierte Befragungen durchgeführt werden. Wenn in Zusammenarbeit mit einem Hersteller Tausende von Endkunden angefragt würden, die ein solches Gerät erwerben, so könnte sich so eine Studie mit einer großen, repräsentativen Fallzahl ergeben.

In Hinblick auf den Datenschutz bestehen jedoch durchaus Bedenken gegen eine solche Auswertung von Nutzerdaten. So ließe sich aus den Daten das Verhalten der Mieter nicht nur auf die Nutzung der Wohnungen, sondern auch das Verhalten insgesamt recht genau nachbilden. Die Messwerte zu der Raumluftqualität können zum Beispiel interpretiert werden, um zu beschreiben, ob und wo in der Wohnung (bei entsprechend vielen Messgeräten in unterschiedlichen Zimmern) sich die Menschen aufhalten. Diese Information ist aus wissenschaftlicher Sicht sehr wertvoll. Die allgemeine Zunahme der Wohnfläche pro Kopf spricht dafür, dass die einzelnen Zimmer weniger intensiv genutzt werden. Darüber gibt es aber keine systematische Erhebung von Daten. Die Sorge um den Datenschutz ist auch einer der Gründe der Schwierigkeiten Teilnehmer für die Studie zu gewinnen.

Würde nach Kauf oder bei der Nutzung der Geräte eine wissenschaftliche Auswertung der Daten in anonymisierter Form vorgenommen, so könnten die Nutzer durch eine entsprechende Benachrichtigung und Bitte um Zustimmung informiert werden. Hier muss man sich vergegenwärtigen, dass eine solche Auswertung nicht dazu missbraucht würde, um das Verhalten einzelner Nutzer zu erkennen. Im Gegensatz dazu stimmen die allermeisten Menschen heute bei der Nutzung von Online-Händlern, Email-Providern oder auch nur Suchmaschinen regelmäßig und wiederholt einer Erfassung, Speicherung und Verwendung ihrer Daten für kommerzielle und anderen Zwecken zu. Hier werden dann gesammelte Daten gezielt eingesetzt, um das Verhalten (vor allem das Konsumverhalten, aber m.E. auch die politische Meinungsbildung) zu beeinflussen. Es wäre also durchaus denkbar, dass die Nutzer aus dem Bewusstsein der allgegenwärtigen Datenerfassung heraus auch der wissenschaftlichen Auswertung zustimmen, die durchaus einem allgemeinen und übergeordneten Zweck dient.

Das Problem mit der Incentivierung der Teilnehmer wird vor allem für den sozialwissenschaftlichen Teil der Forschung relevant. Die Befragung (offline oder online) ist notwendig, um subjektive Einschätzungen zu sammeln. Hier ist eine Mitwirkung der Teilnehmer erforderlich. In Hinblick auf den Zeitaufwand, den die Teilnahme an einer Studie mit sich bringt, wäre es sinnvoll, eine Aufwandsentschädigung zu bezahlen. Solche monetäre Incentivierung ist bei anderen Studien im Bereich von Medizin oder Psychologie durchaus üblich. Eine solche Aufwandsentschädigung würde die Gewinnung von Teilnehmern erhöhen. Es ist nicht zu befürchten, dass diese Form der Incentivierung die Ergebnisse verfälscht, weil die Studie kein Ziel oder Interesse verfolgt, sondern eine neutrale wissenschaftliche Betrachtung ist.

Wesentlich für die Mitwirkung von Eigentümern und Bewohnern ist die Anonymisierung der Daten. Dadurch wird sichergestellt, dass zum einen die erhobenen Daten, die Rückschlüsse auf das Verhalten zulassen, nicht missbraucht werden. Auch kann im Sinne der Eigentümer und Vermieter dafür gesorgt werden, dass ein Bewusstsein bei den Mietern für Probleme entsteht, die zuvor gar nicht oder zumindest nicht kritisch wahrgenommen wurden. So ist vorstellbar, dass die Vermieter bei Gebäuden, deren Performance hinter den Mindestanforderungen zurückbleiben, kein Interesse daran haben, ihren Mietern eine Möglichkeit an die Hand zu geben, diese Performance durchgehend zu dokumentieren. Auch hier sollte für eine ausschließliche Nutzung der Daten in einer anonymisierten Form für die Querauswertung gesorgt werden.

## 11. QUELLEN UND LITERATURVERZEICHNIS

Voss, K.; Herkel, S.; Kalz, D.; Lützkendorf, T.; Maas, A.; Wagner, A.: Performance von Gebäuden. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016

Wagnitz, Matthias (2014): Ausrichtung der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik an den Bedürfnissen der Nutzer im Wohnungsbau unter Zugrundelegung von Wohnkonzepten. Stuttgart

Wegener, B. (Hg.) 1982. Social Attitudes and Psychophysical Measurement. Hillsdale: Erlbaum.

Wegener, B. 2013. Die Psychophysik des Wohnens. Pp. 43-46 in M. Hegger, C. Fafflok, J. Hegger & I. Passig (Eds.), Aktivhaus. Das Grundlagenwerk. Vom Passivhaus zum Energieplushaus. Munich: Callwey.

Wegener, B., M. Fedkenheuer & P. Scheller 2014. The Psychophysics of Well-being. Sociopsychological Monitoring and Benchmark Measurement in Energy-efficient Housing. World Sustainable Building Conference 2014, Barcelona.

## 12. TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Tabelle 5-1: Gebäudesteckbriefe.....	8
Tabelle 5-2 ausgewählte Bewohnermerkmale (nur Teilnehmer) differenziert nach Gebäuden .....	27
Tabelle 5-3: CO <sub>2</sub> -Konzentration Grenzwert .....	28
Tabelle 5-4: Komfortbereich – Temperatur und Feuchtigkeit .....	29
Tabelle 5-5: Modell thermischer Behaglichkeit – Fanger Modell .....	30
Tabelle 5-6: adaptives Komfortmodell - Temperatur .....	31
Tabelle 5-7: Übersicht der Variablen .....	35
Tabelle 5-8: Übersicht der Variablen .....	36
Tabelle 6-1: Übersicht der Befragungszeitpunkte und -rückläufe.....	45
Tabelle 7-1: Zusammenstellung der Innenraumlufttemperaturen im Wohnzimmer der 19 untersuchten Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) und im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017), 10%-Perzentile, Median und 90%-Perzentile der Raumlufttemperaturen.....	54
Tabelle 7-2: Korrelation R <sup>2</sup> Auswertung des gesamten Datensatzes für die Trendlinien in Abbildungen 7-15 bis 7-17., Gruppen 1 und 2 wurde auf Grund geringer Fallzahlen zusammengefasst. ....	64
Tabelle 7-3: Vergleichende Auswertung für durchschnittliche Außentemperaturen am Tag .	69
Tabelle 8-1: gemessene Raumklimawerte.....	96
Tabelle 8-2: subjektive Gebäudeperformance .....	96
Tabelle 8-3: Vergleich der Gebäude untereinander .....	97

Abbildung 6-1: NETATMO Messgeräte .....	37
Abbildung 6-2: von NETATMO generierte Messdatenansicht.....	38
Abbildung 7-1: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen Innenraumlufthtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016).....	53
Abbildung 7-2: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen Innenraumlufthtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017).....	53
Abbildung 7-3: Einordnung der Innenraumlufthtemperaturen im Wohnzimmer der 19 untersuchten Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) und im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017), 10%-Perzentile, Median (grün) und 90%-Perzentile der Raumlufthtemperaturen, blau: Winter kühl/Sommer kühl, rot: Winter warm/Sommer warm. Gebäude 4 und 5 sind markiert.....	55
Abbildung 7-4: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu den Gebäudeenergiestandards der untersuchten Gebäude .....	55
Abbildung 7-5: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu HT'-Werten der Gebäudehülle der untersuchten Gebäude.....	56
Abbildung 7-6: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu den Systemen der Wärmeübergabe der untersuchten Gebäude.....	56
Abbildung 7-7: wie Abbildung 7-3, mit der zusätzlichen Information zu den Fensterflächenanteilen der untersuchten Gebäude .....	57
Abbildung 7-8: Summenhäufigkeit von gemessenen Innenraumtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für fünf Gebäude (4, 5, 14, 16,18) im Sommer (01.06.2016 – 31.08.2016).....	58
Abbildung 7-9: Summenhäufigkeit von gemessenen Innenraumtemperaturen im Wohnzimmer innerhalb von 1K-Temperaturintervallen zwischen 15°C und 32°C, dargestellt für fünf Gebäude (4, 5, 14, 16,18) im Winter (01.12.2016 – 28.02.2017).....	58
Abbildung 7-10: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016).....	59
Abbildung 7-11: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02.2017).....	60
Abbildung 7-12: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Schlafzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016).....	60
Abbildung 7-13: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Schlafzimmer unterhalb 1000ppm, zwischen 1000ppm und 2000ppm und über 2000ppm, dargestellt für jede der teilnehmenden Wohnungen in jedem der 19 Gebäude im Winter (01.12.2016 - 28.02. 2017).....	61

Abbildung 7-14: Prozentualer Zeitanteil von gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wohnzimmer unterhalb 1000ppm in jedem der 19 Gebäude im Sommer (01.06.2016 - 31.08.2016) im Verhältnis zum Winter (01.12.2016 - 28.02.2017) mit Zuordnung der Lüftungstechnik.....62

Abbildung 7-15: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur am Tag der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl/kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation R<sup>2</sup> siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.....63

Abbildung 7-16: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur in dem 3-Tages Zeitraum vor der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, „kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation R<sup>2</sup> siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.....63

Abbildung 7-17: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur in dem 7-Tages Zeitraum vor der Befragung und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („heiß“, „warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, „kalt“). Dargestellt sind Trendlinien (Korrelation R<sup>2</sup> siehe Tabelle) Auswertung des gesamten Datensatzes.....64

Abbildung 7-18: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 4 .....65

Abbildung 7-19: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5 .....66

Abbildung 7-20: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 14 .....66

Abbildung 7-21: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 16 .....67

Abbildung 7-22: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der durchschnittlichen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 18 .....67

Abbildung 7-23: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der minimalen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5 .....68

Abbildung 7-24: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w) in Bezug zur durchschnittlichen Außenlufttemperatur und der maximalen Innenraumlufttemperatur am Tag der Befragung. Gruppiert nach der Temperaturwahrnehmung („warm“, „eher warm“, „neutral“, „eher kühl“, „kühl“, die Gruppierungen „kalt“ und „heiß“ sind wegen geringer Fallzahlen nicht eingetragen). Dargestellt sind Trendlinien und eine Einordnung in Anlehnung an das adaptive Komfortmodell (siehe Tabelle 5-6 in Abschnitt 5.2) für das Gebäude 5 .....69

Abbildung 7-25: Beziehung zwischen der Temperaturwahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 5w „Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumtemperatur im Wohnbereich?“) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.....71

Abbildung 7-26: Beziehung zwischen der Feuchtewahrnehmung im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 12w „Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumluft im Wohnbereich?“) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.....71

Abbildung 7-27: Beziehung zwischen der Wahrnehmung der Luftqualität im Wohnzimmer (Fragebogen Frage 13w „Und wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Luftqualität im Wohnbereich?) in Bezug zu gemessenen mittleren Raumklimadaten für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18.....72

Abbildung 7-28: Beispiel für eine Boxplot zur Darstellung der subjektiven Gebäudeperformance .....73

Abbildung 7-29: Verteilung der drei Parameter subjektiver Gebäudeperformance (Temperatur im Winter, Temperatur im Sommer, Luftqualität) für sämtliche Gebäude .....74

Abbildung 7-30: Subjektive Temperaturperformance im Winter für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18 .....76

Abbildung 7-31: Subjektive Temperaturperformance im Sommer für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18 .....77

Abbildung 7-32: Subjektive Luftqualität für die Gebäude 4, 5, 14, 16 und 18 .....78

Abbildung 7-33: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude .....79

Abbildung 7-34: Verteilung des Items „Es ist schwierig, meine Wohnung im Winter warm zu halten“ differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude .....80

Abbildung 7-35: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude .....81

Abbildung 7-36: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Heizsystem für sämtliche Gebäude .....82

Abbildung 7-37: Subjektive Temperaturperformance im Winter differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude.....83

Abbildung 7-38: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude .....84

Abbildung 7-39: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude .....85

Abbildung 7-40: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude.....86

Abbildung 7-41: Subjektive Temperaturperformance im Sommer differenziert nach dem Vorhandensein eines Sonnenschutzes für sämtliche Gebäude .....87

Abbildung 7-42: Subjektive Luftqualität differenziert nach Baujahr/Jahr der Sanierung für sämtliche Gebäude .....88

Abbildung 7-43: Subjektive Luftqualität differenziert nach Hüllqualität für sämtliche Gebäude .....89

Abbildung 7-44: Subjektive Luftqualität differenziert nach Heizsystem für sämtliche Gebäude .....90

Abbildung 7-45: Subjektive Luftqualität differenziert nach Lüftungssystem für sämtliche Gebäude .....91

Abbildung 7-46: Subjektive Luftqualität differenziert nach dem Vorhandensein eines Sonnenschutzes für sämtliche Gebäude .....92

Abbildung 7-47: Beziehung zwischen der subjektiven Temperaturperformance im Winter und der gemessenen Temperaturen im Winter für sämtliche Gebäude .....93

Abbildung 7-48: Beziehung zwischen der subjektiven Temperaturperformance im Sommer und der gemessenen Temperaturen im Sommer für sämtliche Gebäude .....94

Abbildung 7-49: Beziehung zwischen der subjektiven Luftqualität und der gemessenen Luftqualität für sämtliche Gebäude .....95

## **13. ANHANG**

### **13.1. Fragebogen**

---

---

---

## Fragebogen zum Bewohnerkomfort (Konfigurationsstand: September 2016)

### I. NUTZERPROFIL

1)	<b>Sind sie...?</b> weiblich      männlich <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	SC
2)	<b>In welchem Jahr sind Sie geboren?</b> <i>[Dropdownmenü: ohne Checkbox und Label]</i> 1 <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Jahreszahlen von 1900-2010]</span>	SC

### II. WOHNUNGSPROFIL

Wir möchten Sie nun bitten, ein paar Fragen zu Ihrer Wohnung zu beantworten.

1)	<b>Wie viele Quadratmeter beträgt die Wohnfläche Ihrer Wohnung?</b> <input type="checkbox"/> 1    unter 30 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 2    30-39 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 3    40-49 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 4    50-59 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 5    60-69 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 6    70-79 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 7    80-89 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 8    90-99 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 9    100 m <sup>2</sup> oder mehr	SC
2)	<b>Wie groß ist Ihr Wohnzimmer/Wohnbereich (der Raum, in dem das NetAtmo-Gerät steht)?</b> <input type="checkbox"/> 1    unter 10 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 2    10-14 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 3    15-19 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 4    20-24 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 5    25-29 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 6    30 m <sup>2</sup> oder mehr	SC

3)	<b>Wie groß ist Ihr Schlafzimmer/Schlafbereich (der Raum, in dem das NetAtmo-Gerät steht)?</b> <input type="checkbox"/> 1 unter 10 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 2 10-14 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 3 15-19 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 4 20-24 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 5 25-29 m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> 6 30 m <sup>2</sup> oder mehr	SC
4)	<b>In welcher Etage liegt Ihre Wohnung?</b> <i>[Dropdownmenü: mit Suffix]</i> <input type="checkbox"/> 1 Keller/Souterrain <input type="checkbox"/> 2 Erdgeschoss <input type="checkbox"/> 3 <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Ziffern 0-24]. Stock</span>	SC
5)	<b>Seit wann wohnen Sie in Ihrer Wohnung?</b> <i>[ohne Checkbox; mit Suffix; in 0.5 Stundenschritten: 0; 0.5; 1; 1.5; 2 ...]</i> 1 Monat: <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Monaten Januar-Dezember]</span> 2 Jahr: <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Jahreszahlen von 1900-2016]</span>	MC
6)	<b>Besitzt Ihre Wohnung eine Lüftungsanlage?</b> <input type="checkbox"/> 1 Ja, eine Lüftungsanlage zur Belüftung des gesamten Wohnbereichs <input type="checkbox"/> 2 Ja, einen Luftabzug im Bad oder Küche <input type="checkbox"/> 3 Nein	MC
7)	<span style="color: red;">[Filter: (#6) = 1]</span> <b>Können Sie die Lüftungsanlage regulieren?</b> ja                      nein <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	SC
8)	<b>Wie viele Personen wohnen in Ihrer Wohnung, Sie eingeschlossen?</b> <i>[ohne Checkbox]</i> 1 Erwachsene: <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Ziffern 1-5]</span> 2 Personen unter 18 Jahren: <span style="color: red;">[DROPDOWN mit Ziffern 0-5]</span>	MC

### III. FRAGEBOGEN

#### III. 1 Zusammensetzung der Bewohnerschaft

- 3) **Hat sich die Anzahl der Bewohner/innen in Ihrer Wohnung seit der letzten Befragung geändert?** SC
- 1 Nein.
- 2 Ja, es sind mehr Bewohner/innen geworden
- 3 Ja, es sind weniger Bewohner/innen geworden.

- 4) **Bitte erläutern Sie kurz, wie sich die Bewohnerzusammensetzung in Ihrer Wohnung geändert hat.** OP
- \_\_\_\_\_

#### III. 2 Wohnpräferenzen

- 5) **Wie zufrieden bzw. unzufrieden sind Sie mit Ihrer Wohnung insgesamt gesehen?** SC
- sehr zufrieden      zufrieden      eher zufrieden      teils/teils      eher unzufrieden      unzufrieden      sehr unzufrieden
- 1       2       3       4       5       6       7

- 6) **Für das Wohlbefinden im Wohnbereich sind verschiedene Faktoren verantwortlich. Bitte geben Sie nachfolgend an, wie wichtig Ihnen persönlich die verschiedenen Aspekte für ein angenehmes Wohnumfeld sind. Ordnen Sie die einzelnen Aspekte ihrer Wichtigkeit nach, beginnen Sie mit dem wichtigsten.** R
- [RANKING]
- 1 ein warmes Innenraumklima im Winter
- 2 relativ kühle Wohnräume im Sommer
- 3 eine gute Luftqualität in den Räumen
- 4 viel Tageslicht
- 5 eine ruhige Wohnung
- 6 eine leicht zu regulierende Haustechnik
- 7 viel Platz
- 8 ein funktionaler Grundriss
- 9 eine ansprechende Architektur

III. 3 Raumlufttemperatur																																			
7)	<p><b>Erinnern Sie sich nun bitte an die Wohnbedingungen in Ihrer Wohnung in den letzten sieben Tagen.</b></p> <p><b>Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumtemperatur...</b></p> <p><b>im Wohnbereich?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 495 1453 573"> <tr> <td>kalt</td> <td>kühl</td> <td>eher kühl</td> <td>neutral</td> <td>eher warm</td> <td>warm</td> <td>heiß</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>im Schlafbereich?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 651 1453 730"> <tr> <td>kalt</td> <td>kühl</td> <td>eher kühl</td> <td>neutral</td> <td>eher warm</td> <td>warm</td> <td>heiß</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>						kalt	kühl	eher kühl	neutral	eher warm	warm	heiß	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	kalt	kühl	eher kühl	neutral	eher warm	warm	heiß	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	IB + SC
kalt	kühl	eher kühl	neutral	eher warm	warm	heiß																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													
kalt	kühl	eher kühl	neutral	eher warm	warm	heiß																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													
8)	<p><b>Wie häufig haben Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN die Raumtemperatur <u>im Wohnbereich</u> als...</b></p> <p><b>zu warm wahrgenommen?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 909 1453 1021"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>zu kalt wahrgenommen?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 1099 1453 1220"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>						immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	IB + SC
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													
9)	<p><b>Wie häufig haben Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN die Raumtemperatur <u>im Schlafbereich</u> als...</b></p> <p><b>zu warm wahrgenommen?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 1395 1453 1507"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>zu kalt wahrgenommen?</b></p> <table border="0" data-bbox="177 1585 1453 1711"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>						immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	IB + SC
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																													
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																													

10)	<p><b>Wie häufig haben Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN einen unangenehmen Luftzug wahrgenommen...</b></p> <p><b>im Wohnbereich?</b></p> <table border="0"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>im Schlafbereich?</b></p> <table border="0"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	IB + SC
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																								
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																								
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																								
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																								
11)	<p><b>[Filter: (#10) ≠ 7]</b></p> <p><b>Wodurch wurde der Luftzug hervorgerufen?</b></p> <p>Mehrfachnennung möglich.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 1 geöffnete Fenster</li> <li><input type="checkbox"/> 2 undichte Fenster</li> <li><input type="checkbox"/> 3 undichte Türen</li> <li><input type="checkbox"/> 4 Lüftungsanlage</li> <li><input type="checkbox"/> 5 Architektur des Gebäudes (z.B. Kamineffekt)</li> <li><input type="checkbox"/> 6 Sonstiges _____</li> </ul>	MC																												

12)

[Filter: (# = Januar, Februar, März, April, Oktober, November, Dezember)]

IB  
+  
SC

Bitte geben Sie an, inwieweit die folgenden Aussagen auf Ihre Wohnung zutreffen bzw. nicht zutreffen. Beziehen sie sich dabei auf die kalte Jahreszeit und kreuzen Sie bitte in jeder Zeile eine Antwort an.

**Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Die Heizung in meiner Wohnung richtig einzustellen überfordert mich.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich für jeden Raum separat regulieren.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Die Heizung ist störanfällig.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Über einen längeren Zeitraum eine konstante Wohnraumtemperatur zu erhalten ist schwierig.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Kühle Räume lassen sich schnell aufwärmen.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**In meiner Wohnung bekomme ich schnell kalte Füße.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**In der Nähe der Fenster ist es unangenehm kühl.**

trifft zu      trifft eher zu      teils/teils      trifft eher  
nicht zu      trifft nicht  
zu

1       2       3       4       5

**Die Außenwände kühlen im Winter stark ab.**

trifft zu      trifft eher zu      teils/teils      trifft eher  
nicht zu      trifft nicht  
zu

1       2       3       4       5

**ALLGEMEIN**

13) [Filter: (# = Mai, Juni, Juli, August, September)]

IB  
+  
SC

Bitte geben Sie an, inwieweit die folgenden Aussagen auf Ihre Wohnung zutreffen bzw. nicht zutreffen. Beziehen sie sich dabei auf die warme Jahreszeit und kreuzen Sie bitte in jeder Zeile eine Antwort an.

**Die Temperatur in meiner Wohnung lässt sich meinen Bedürfnissen entsprechend regulieren.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Meine Wohnung im Sommer kühl zu halten ist schwierig.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Einige Bereiche meiner Wohnung heizen sich bei warmem Wetter zu schnell auf.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Im Sommer kommt es in meiner Wohnung zu starken Temperaturschwankungen.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Überhitzte Räume lassen sich durch das Öffnen der Fenster schnell runterkühlen.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**In meiner Wohnung kann ich mich vor zu viel Sonne gut schützen.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Bei Hitze lässt sich durch Querlüftung eine angenehme Brise in meiner Wohnung erzeugen.**

trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

III. 4 Raumluftqualität								
14)	<b>Erinnern Sie sich nun bitte an die Raumluft in Ihrer Wohnung in den letzten sieben Tagen.</b> <b>Wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Raumluft...</b>						IB + SC	
<b>im Wohnbereich?</b>								
sehr trocken    trocken    eher trocken    neutral    eher feucht    feucht    sehr feucht <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7								
<b>im Schlafbereich?</b>								
sehr trocken    trocken    eher trocken    neutral    eher feucht    feucht    sehr feucht <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7								
15)	<b>Und wie empfanden Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN tendenziell die Luftqualität...</b>						IB + SC	
<b>im Wohnbereich?</b>								
sehr stickig    stickig    eher stickig    kaum stickig    überhaupt nicht stickig <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5								
<b>im Schlafbereich?</b>								
sehr stickig    stickig    eher stickig    kaum stickig    überhaupt nicht stickig <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5								
16)	<b>Wie häufig haben Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN die Raumluft <u>im Wohnbereich</u> als...</b>						IB + SC	
<b>zu trocken wahrgenommen?</b>								
immer    sehr oft    oft    gelegentlich    selten    sehr selten    nie <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7								
<b>zu feucht wahrgenommen?</b>								
immer    sehr oft    oft    gelegentlich    selten    sehr selten    nie <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7								
<b>zu stickig wahrgenommen?</b>								
immer    sehr oft    oft    gelegentlich    selten    sehr selten    nie <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7								

17)	<p><b>Wie häufig haben Sie IN DEN LETZTEN SIEBEN TAGEN die Raumluft <u>im Schlafbereich</u> als...</b></p> <p><b>zu trocken wahrgenommen?</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>zu feucht wahrgenommen?</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table> <p><b>zu stickig wahrgenommen?</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>immer</td> <td>sehr oft</td> <td>oft</td> <td>gelegentlich</td> <td>selten</td> <td>sehr selten</td> <td>nie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 6</td> <td><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	IB + SC
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																																						
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																																						
immer	sehr oft	oft	gelegentlich	selten	sehr selten	nie																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																																						

**ALLGEMEIN**

18)	<p><b>Bitte geben Sie an, inwieweit die folgenden Aussagen auf Ihre Wohnung zutreffen bzw. nicht zutreffen. Kreuzen Sie bitte in jeder Zeile eine Antwort an.</b></p> <p><b>Meine Wohnung lässt sich problemlos mit Frischluft versorgen.</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>trifft zu</td> <td>trifft eher zu</td> <td>teils/teils</td> <td>trifft eher nicht zu</td> <td>trifft nicht zu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> </tr> </table> <p><b>In meiner Wohnung eine gute Luftqualität sicherzustellen überfordert mich.</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>trifft zu</td> <td>trifft eher zu</td> <td>teils/teils</td> <td>trifft eher nicht zu</td> <td>trifft nicht zu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> </tr> </table> <p><b>Die Räume meiner Wohnung lassen sich leicht lüften.</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>trifft zu</td> <td>trifft eher zu</td> <td>teils/teils</td> <td>trifft eher nicht zu</td> <td>trifft nicht zu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> </tr> </table> <p><b>Die Luft in meiner Wohnung wird schnell stickig.</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>trifft zu</td> <td>trifft eher zu</td> <td>teils/teils</td> <td>trifft eher nicht zu</td> <td>trifft nicht zu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> </tr> </table>	trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	IB + SC
trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5																																						
trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5																																						
trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5																																						
trifft zu	trifft eher zu	teils/teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu																																						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5																																						

**In meiner Wohnung kann ich gut querlüften.**

trifft zu      trifft eher zu      teils/teils      trifft eher  
nicht zu      trifft nicht  
zu

1       2       3       4       5

**Durch das Öffnen der Fenster verbessert sich die Luftqualität in meiner Wohnung schnell.**

trifft zu      trifft eher zu      teils/teils      trifft eher  
nicht zu      trifft nicht  
zu

1       2       3       4       5

**Wenn die Heizung angeschaltet ist, wird die Luft in meiner Wohnung unangenehm trocken.**

trifft zu      trifft eher zu      teils/teils      trifft eher  
nicht zu      trifft nicht  
zu

1       2       3       4       5

### III. 5 Maßnahmen

19) Bitte geben Sie an, wie häufig Sie durchschnittlich in den VERGANGENEN SIEBEN TAGEN die folgenden Maßnahmen ergriffen haben, um Ihr Wohlbefinden im Wohnbereich zu erhöhen?

IB  
+  
SC

#### Heizung hochgestellt

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

#### Heizung runtergestellt

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

#### Fenster geöffnet (tagsüber)

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

#### Fenster geöffnet (nachts)

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

#### zusätzliche Kleidung angezogen

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

#### Kleidung ausgezogen

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

**Sonnenschutz aktiviert (innen)**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Sonnenschutz aktiviert (außen)**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Lüftungsanlage runtergeregelt**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Lüftungsanlage hochgeregelt**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Klimaanlage eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Kühlung der Lüftungsanlage eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Ventilator eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Zusätzlichen Heizlüfter eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
---------------------	---------	-------------------------	-----------	--------------------------------

	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
20)	<b>Bitte geben Sie an, wie häufig Sie durchschnittlich in den VERGANGENEN SIEBEN TAGEN die folgenden Maßnahmen ergriffen haben, um Ihr Wohlbefinden <u>im Schlafbereich</u> zu erhöhen?</b>					IB + SC
	<b>Heizung hochgestellt</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		
	<b>Heizung runtergestellt</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		
	<b>Fenster geöffnet (tagsüber)</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		
	<b>Fenster geöffnet (nachts)</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		
	<b>zusätzliche Kleidung angezogen</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		
	<b>Kleidung ausgezogen</b>					
	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht		
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		

**Sonnenschutz aktiviert (innen)**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Sonnenschutz aktiviert (außen)**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Lüftungsanlage runtergeregelt**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Lüftungsanlage hochgeregelt**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Klimaanlage eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Kühlung der Lüftungsanlage eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Ventilator eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

**Zusätzlichen Heizlüfter eingeschaltet**

mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	Maßnahme nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

III. 6 Lüftungsverhalten		
21)	<p>[Filter: (#19) (Fenster geöffnet (tagsüber)) = 1, 2, 3]</p> <p><b>Wie haben Sie hauptsächlich im Wohnbereich gelüftet?</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1 durch das Kippen der Fenster</p> <p><input type="checkbox"/> 2 durch das vollständige Öffnen der Fenster</p> <p><input type="checkbox"/> 3 sowohl durch das Kippen als auch durch das Öffnen der Fenster</p>	SC
22)	<p>[Filter: (#19) (Fenster geöffnet (tagsüber)) = 1, 2, 3]</p> <p><b>Wie lange haben Sie die Fenster beim Lüften im Wohnbereich durchschnittlich offen gelassen?</b></p> <p>weniger als 10 Minuten    zwischen 10 und 30 Minuten    länger als 30 Minuten</p> <p><input type="checkbox"/> 1                      <input type="checkbox"/> 2                      <input type="checkbox"/> 3</p>	SC
23)	<p>[Filter: (#20) (Fenster geöffnet (tagsüber)) = 1, 2, 3]</p> <p><b>Wie haben Sie hauptsächlich im Schlafbereich gelüftet?</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1 durch das Kippen der Fenster</p> <p><input type="checkbox"/> 2 durch das vollständige Öffnen der Fenster</p> <p><input type="checkbox"/> 3 sowohl durch das Kippen als auch durch das Öffnen der Fenster</p>	SC
24)	<p>[Filter: (#20) (Fenster geöffnet (tagsüber)) = 1, 2, 3]</p> <p><b>Wie lange haben Sie die Fenster beim Lüften im Schlafbereich durchschnittlich offen gelassen?</b></p> <p>weniger als 10 Minuten    zwischen 10 und 30 Minuten    länger als 30 Minuten</p> <p><input type="checkbox"/> 1                      <input type="checkbox"/> 2                      <input type="checkbox"/> 3</p>	SC
25)	<p>[Filter: (# = Januar, Februar, März, April, Oktober, November, Dezember)]</p> <p><b>Drehen Sie die Heizung ab, wenn Sie lüften (sofern eingeschaltet)?</b></p> <p>Ja, immer    Ja, meistens    Ja, gelegentlich    Nein</p> <p><input type="checkbox"/> 1                      <input type="checkbox"/> 2                      <input type="checkbox"/> 3                      <input type="checkbox"/> 4</p>	SC

### III. 7 Gesundheitszustand

26) **Das gesundheitliche Wohlbefinden wird in entscheidender Weise auch durch die Wohnverhältnisse beeinflusst. Wir möchten Sie daher bitten, die folgenden Fragen zum Gesundheitsempfinden zu beantworten, um uns zu helfen, das Zusammenwirken von Wohnverhältnissen und Gesundheit besser zu verstehen.**

IB  
+  
SC

**Wie häufig hatten Sie in den LETZTEN SIEBEN TAGEN eine der folgenden Beschwerden?**

**Verstopfte oder laufende Nase?**

immer      sehr oft      oft      gelegentlich      selten      sehr selten      nie

1       2       3       4       5       6       7

**Trockener oder gereizter Hals?**

immer      sehr oft      oft      gelegentlich      selten      sehr selten      nie

1       2       3       4       5       6       7

**Kopfschmerzen oder Schweregefühl im Kopf?**

immer      sehr oft      oft      gelegentlich      selten      sehr selten      nie

1       2       3       4       5       6       7

**Schlafstörungen?**

immer      sehr oft      oft      gelegentlich      selten      sehr selten      nie

1       2       3       4       5       6       7

27) **Wie häufig fühlten Sie sich in den LETZEN SIEBEN TAGEN voller Energie?**

SC

immer      sehr oft      oft      gelegentlich      selten      sehr selten      nie

1       2       3       4       5       6       7

28) **Wie würden Sie Ihren allgemeinen Gesundheitszustand beurteilen?**

SC

hervorragend      2      3      4      5      6      sehr schlecht  
1      7

1       2       3       4       5       6       7

29) **Wie würden Sie Ihren allgemeinen Gesundheitszustand im Vergleich zu anderen Personen Ihres Alters beurteilen?**

SC

viel besser      2      3      4      5      6      viel schlechter  
1      7

1       2       3       4       5       6       7

30)	<p><b>Sind Sie von einer der folgenden chronischen Atemwegserkrankungen betroffen?</b></p> <p>Mehrfachnennung möglich.</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Asthma</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Chronische Bronchitis</p> <p><input type="checkbox"/> 3 Heuschnupfen</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Allergischer Schnupfen</p> <p><input type="checkbox"/> 5 Nein</p>	MC
-----	--	----

### III. 8 NetAtmo

31)	<p><span style="color: red;">[Filter: # ≠ Juli, August]</span></p> <p><b>Sie haben von uns ein NetAtmo-Gerät bekommen, das Ihnen Informationen zu Ihrem Wohnumfeld sowie Auskunft über das Wetter gibt.</b></p> <p><b>Wie interessiert sind Sie an den aufgezeichneten Daten der NetAtmo-Geräte?</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">gar nicht interessiert</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">sehr interessiert</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 1</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 2</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 3</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 4</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 5</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 6</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 7</td> </tr> </table>	gar nicht interessiert	2	3	4	5	6	sehr interessiert	1						7	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	SC
gar nicht interessiert	2	3	4	5	6	sehr interessiert																	
1						7																	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7																	

32)	<p><span style="color: red;">[Filter: # ≠ Juli, August]</span></p> <p><b>Wie haben Sie sich in den LETZTEN SIEBEN TAGEN über die NetAtmo-Daten zu Ihrem Raumklima informiert?</b></p> <p>Mehrfachnennungen möglich.</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Messstation</p> <p><input type="checkbox"/> 2 App</p> <p><input type="checkbox"/> 3 Website</p> <p><input type="checkbox"/> 4 gar nicht</p>	MC
-----	---	----

33)	<p>[Filter: # ≠ Juli, August] &amp; [Filter: (#32) ≠ 4]</p> <p><b>Wie häufig haben Sie sich in den LETZTEN SIEBEN TAGEN informiert über ...</b></p> <p><b>die Wohnraumtemperatur</b></p> <table data-bbox="177 360 903 479"> <tr> <td>mehrmals täglich</td> <td>täglich</td> <td>seltener als täglich</td> <td>gar nicht</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> </tr> </table> <p><b>den CO2-Gehalt</b></p> <table data-bbox="177 546 903 665"> <tr> <td>mehrmals täglich</td> <td>täglich</td> <td>seltener als täglich</td> <td>gar nicht</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> </tr> </table> <p><b>die Luftfeuchtigkeit</b></p> <table data-bbox="177 732 903 851"> <tr> <td>mehrmals täglich</td> <td>täglich</td> <td>seltener als täglich</td> <td>gar nicht</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> </tr> </table> <p><b>die Akustik</b></p> <table data-bbox="177 916 903 1034"> <tr> <td>mehrmals täglich</td> <td>täglich</td> <td>seltener als täglich</td> <td>gar nicht</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> </tr> </table>	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	IB + SC
mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht																															
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4																															
mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht																															
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4																															
mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht																															
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4																															
mehrmals täglich	täglich	seltener als täglich	gar nicht																															
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4																															
34)	<p>[Filter: # ≠ Juli, August]</p> <p><b>Haben Sie seit der letzten Befragung den Standort einer der beiden NetAtmo-Stationen verändert?</b></p> <table data-bbox="177 1189 1078 1308"> <tr> <td>Nein</td> <td>Ja, beide.</td> <td>Ja, die Hauptstation.</td> <td>Ja, die Nebenstation.</td> <td>Weiß nicht.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> </tr> </table>	Nein	Ja, beide.	Ja, die Hauptstation.	Ja, die Nebenstation.	Weiß nicht.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	SC																						
Nein	Ja, beide.	Ja, die Hauptstation.	Ja, die Nebenstation.	Weiß nicht.																														
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5																														
35)	<p>[Filter: # ≠ Juli, August] &amp; [Filter: (#34) = 2, 3, 4]</p> <p><b>Sie haben angegeben, dass Sie den Standort der NetAtmo-Station(en) verändert haben. Bitte führen Sie das kurz aus:</b></p> <hr/>	OT																																

### III. 9 Aktivitäten

36) **Nun ein paar Fragen zu Ihrer Alltagsgestaltung. Um die Ergebnisse besser einschätzen zu können, ist es wichtig zu wissen, wie viel Zeit Sie sich üblicherweise in der Wohnung aufhalten. Wie viele Stunden wenden Sie AN EINEM DURCHSCHNITTLICHEN WERKTAG für die folgende Tätigkeiten auf?**

MC

*[ohne Checkbox; mit Suffix; in 0.5 Stundenschritten: 0; 0.5; 1; 1.5; 2 ...]*

- 1 Körperpflege (Duschen etc.), Anziehen: [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 2 Mahlzeiten einnehmen: [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 3 Haushaltsführung (z.B. Putzen, Abwaschen, Kochen): [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 4 aktive Betreuung von Kindern (z.B. Spiel, Hausaufgaben): [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 5 Freizeit in ruhiger Position (z.B. Lesen, Fernsehen, Internet): [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 6 Freizeit in aktiver Position (z.B. Gymnastik): [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag
- 7 Erwerbstätigkeit von zuhause/home office: [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag

37) **Was entsprach in den VERGANGENEN SIEBEN TAGEN tagsüber am ehesten Ihrer Bekleidung zuhause?**

MC

- 1 weniger als kurze Hose/Rock mit T-Shirt
- 2 kurze Hose/Rock mit T-Shirt
- 3 lange Hose mit T-Shirt
- 4 lange Hose mit T-Shirt und Pullover
- 5 mehr als lange Hose mit T-Shirt und Pullover (z.B. zusätzlicher Schaal, lange Unterhose)

38)	<p><b>Was entsprach in den VERGANGENEN SIEBEN TAGEN am ehesten Ihrer Fußbekleidung zuhause?</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1 Keine (barfuss)</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Socken/Strümpfe</p> <p><input type="checkbox"/> 3 Hausschuhe</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Straßenschuhe</p>	MC
39)	<p><b>Wie viele Stunden haben Sie in den VERGANGENEN SIEBEN TAGEN durchschnittlich pro Tag draußen an der frischen Luft verbracht?</b></p> <p><i>[ohne Checkbox; mit Suffix; in 0.5 Stundenschritten: 0; 0.5; 1; 1.5; 2 ...]</i></p> <p>1 Werktags: [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag</p> <p>2 Am Wochenende: [DROPDOWN mit Ziffern 0-24] Stunden/Tag</p>	MC
40)	<p><b>An wie vielen der VERGANGENEN SIEBEN TAGE waren Sie sportlich aktiv (Sport, Fahrradfahren etc.)?</b></p> <p><i>[ohne Checkbox; mit Suffix; in 0.5 Stundenschritten: 0; 0.5; 1; 1.5; 2 ...]</i></p> <p>1 Ich war an [DROPDOWN mit Ziffern 0-7] Tagen aktiv</p>	SC
41)	<p><b>Wie wohl fühlen Sie sich aktuell in ihrer Wohnung?</b></p> <p>sehr wohl      wohl      eher wohl      teils/teils      eher unwohl      Unwohl      sehr unwohl</p> <p><input type="checkbox"/> 1      <input type="checkbox"/> 2      <input type="checkbox"/> 3      <input type="checkbox"/> 4      <input type="checkbox"/> 5      <input type="checkbox"/> 6      <input type="checkbox"/> 7</p>	SC
42)	<p><i>[Filter: (#41) = 4, 5, 6, 7]</i></p> <p><b>Bitte erläutern Sie kurz, warum Sie sich in Ihrer Wohnung (teilweise) unwohl fühlen:</b></p> <p>_____</p>	OT
43)	<p><b>Vielen Dank für die Teilnahme. Gibt es noch etwas, das Sie uns mitteilen möchten?</b></p> <p>_____</p>	OT

## 13.2. Einverständniserklärung zur Teilnahme

---

---

---

## EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG

### zur Teilnahme am Forschungsprojekt „Well-Being und Gebäude-Monitoring bei hocheffizienten Wohngebäuden“

Herzlichen Dank, dass Sie sich für eine Teilnahme am Forschungsprojekt entschieden haben.

- Ich erkläre mich bereit, an der Studie teilzunehmen.
- Ich bin detailliert über Inhalt und Zweck der Studie informiert worden.
- Mir ist bekannt, dass nur die vollständige Teilnahme zum Behalt der gestellten NetAtmo-Geräte führt.
- Ich kann die Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen.
- Ich bin damit einverstanden, dass die per Fragebögen und NetAtmo-Station erhobenen Daten von den beteiligten wissenschaftlichen Projektpartnern gespeichert und ausgewertet werden. Eine Weitergabe an Dritte ist ausgeschlossen. Ich bin einverstanden, dass anonyme Informationen in wissenschaftlichen Berichten und auf Konferenzen veröffentlicht werden.
- Ich bin damit einverstanden, dem Forscherteam meine Energieverbrauchsdaten der letzten 3 Jahre und des kommenden Jahres für die Auswertung zur Verfügung zu stellen (*bitte ankreuzen*).
  - Meine Daten dürfen durch das Forscherteam zentral beim Vermieter erfragt werden.
  - Ich stelle meine Angaben selbst zur Verfügung.

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Wohnort/PLZ: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Telefon/: \_\_\_\_\_

E-Mail

Für eventuelle Rückfragen zu Inhalt und Ergebnissen der Studie können Sie sich jederzeit an das Forscherteam - Moritz Fedkenheuer und Karoline Dietel - wenden: **E-Mail:** [forschungsprojekt@aktivplus.de](mailto:forschungsprojekt@aktivplus.de) oder **Tel.:** 01573/2644466

\_\_\_\_\_  
Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

### 13.3. Teilnahmeerklärung

---

---

---

## FORSCHUNGSPROJEKT ZUM BEWOHNERKOMFORT

### Teilnahmevereinbarung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Wellbeing und Gebäude-Monitoring bei hocheffizienten Wohngebäuden“ werden Ihnen von der TU Braunschweig folgende Geräte kostenlos zur Verfügung gestellt:

- NetAtmo Hauptmodul Wohnzimmer
- NetAtmo Nebenmodul Schlafzimmer

Die Geräte stehen Ihnen mindestens 12 Monate zur Verfügung.

Der Nutzer / die Nutzerin haftet für den Verlust und für eine mutwillige Beschädigung der technischen Geräte.

Weiterhin wird die Haftung für eventuelle Schäden seitens der TU Braunschweig, die im Zuge der Nutzung von NetAtmo auftreten, ausgeschlossen.

Nach erfolgreicher Teilnahme an der Studie (vier vollständig ausgefüllte Fragebögen) werden Ihnen die NetAtmo-Geräte überlassen und wird Ihnen zusätzlich die zugehörige Wetter-Station ausgehändigt.

**Ort, Datum:** \_\_\_\_\_

**Teilnehmer/-in:** \_\_\_\_\_

Vorname, Nachname

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift)

**Institution:** TU Braunschweig, Institut für Gebäude- und Solartechnik

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift)

## 13.4. Informationsblatt zur Befragung

—

==

## INFORMATIONEN ZUR BEFRAGUNG ZUM BEWOHNERKOMFORT

### Kommende Befragungen:

Fragebogen 2: \_\_\_\_\_

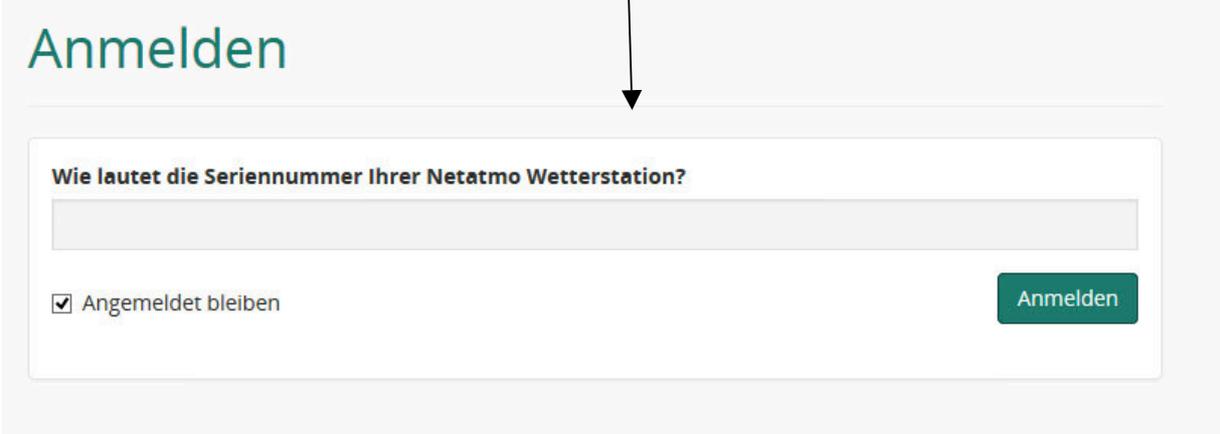
Fragebogen 3: \_\_\_\_\_

Fragebogen 4: \_\_\_\_\_

Wir werden Sie rechtzeitig per E-Mail zu den Befragungen einladen.

Wenn Sie uns darüber hinaus unterstützen möchten, würden wir uns freuen, wenn Sie ein bis zwei Mal im Monat zusätzlich den Fragebogen ausfüllen. Umso mehr Einschätzungen wir von Ihnen erhalten, umso sicherer können wir Aussagen über Wohnkomfort von Mietern und Mieterinnen treffen!

Dazu können Sie sich hier in Ihrem Profil anmelden: <http://befragung.aktivplusev.de/login>



### Ansprechpartner bei Fragen oder Problemen

Moritz Fedkenheuer  
Karoline Dietel

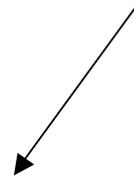
E-Mail: [forschungsprojekt@aktivplusev.de](mailto:forschungsprojekt@aktivplusev.de)

Tel.: 01573 2644466

## Zur Erinnerung

Meine Anmeldedaten für die Messungen des NetAtmo-Gerätes unter <https://auth.netatmo.com/login>

LOGIN



E-Mail

E-Mail

Passwort

Passwort

Eingeloggt bleiben

LOGIN

[Passwort vergessen?](#)

[Anmelden](#)

## 13.5. Haushaltsdaten in CSV-Dokument mit Teilnehmerprofilaten

—

==

## Export der Haushaltsdaten in ein CSV-Dokument mit den Teilnehmerprofildaten

1. Teilnehmer
2. Geschlecht
3. Geburtsjahr
4. Adresse
5. Stockwerk
6. Wohnungsgröße in m<sup>2</sup>
7. Wohnzimmergröße in m<sup>2</sup>
8. Schlafzimmergröße in m<sup>2</sup>
9. Bezogen seit
10. Lüftung vorhanden?
11. Lüftungskontrolle vorhanden?
12. Anzahl Erwachsene
13. Anzahl Kinder
14. Geräte-Seriennummern
15. Bildungsabschluss
16. Qualifikation
17. Lebenssituation
18. Stunden Arbeit
19. Netto Einkommen
20. Apartmentraucher?
21. Rauchen Häufigkeit
22. Email-Adresse

## 13.6. Datenexport pro Gerät, Haushalt und Befragung

---

---

---

Datenexport pro Gerät, Haushalt und Befragung in separaten Dateien mit je drei Tabellenblättern

1. Werte zur Innen- und Außenmessung mit folgenden Daten

1. Geräte Seriennummer
2. Teilnehmer ID
3. Profilname
4. Sitzungsstart (YYYY-MM-DD HH:MI)
5. Zeitstempel (YYYY-MM-DD HH:MI)
6. Wohnen CO2 [ppm] (15min)
7. Wohnen CO2 [ppm] (rm3\_min)
8. Wohnen CO2 [ppm] (rm3\_max)
9. Wohnen CO2 [ppm] (rm3\_avg)
10. Wohnen CO2 [ppm] (rm7\_min)
11. Wohnen CO2 [ppm] (rm7\_max)
12. Wohnen CO2 [ppm] (rm7\_avg)
13. Wohnen CO2 [ppm] geschätzt?
14. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (15min)
15. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_min)
16. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_max)
17. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_avg)
18. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_min)
19. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_max)
20. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_avg)
21. Wohnen Rel. Luftfeuchtigkeit [%]geschätzt?
22. Wohnen Temperatur [°C] (15min)
23. Wohnen Temperatur [°C] (rm3\_min)
24. Wohnen Temperatur [°C] (rm3\_max)
25. Wohnen Temperatur [°C] (rm3\_avg)
26. Wohnen Temperatur [°C] (rm7\_min)
27. Wohnen Temperatur [°C] (rm7\_max)
28. Wohnen Temperatur [°C] (rm7\_avg)
29. Wohnen Temperatur [°C] geschätzt?
30. Schlafen CO2 [ppm] (15min)
31. Schlafen CO2 [ppm] (rm3\_min)
32. Schlafen CO2 [ppm] (rm3\_max)
33. Schlafen CO2 [ppm] (rm3\_avg)
34. Schlafen CO2 [ppm] (rm7\_min)
35. Schlafen CO2 [ppm] (rm7\_max)
36. Schlafen CO2 [ppm] (rm7\_avg)
37. Schlafen CO2 [ppm] geschätzt?
38. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (15min)
39. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_min)
40. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_max)
41. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_avg)
42. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_min)
43. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_max)

44. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_avg)
45. Schlafen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] geschätzt?
46. Schlafen Temperatur [°C] (15min)
47. Schlafen Temperatur [°C] (rm3\_min)
48. Schlafen Temperatur [°C] (rm3\_max)
49. Schlafen Temperatur [°C] (rm3\_avg)
50. Schlafen Temperatur [°C] (rm7\_min)
51. Schlafen Temperatur [°C] (rm7\_max)
52. Schlafen Temperatur [°C] (rm7\_avg)
53. Schlafen Temperatur [°C] geschätzt?
54. Außen Temperatur [°C] (15min)
55. Außen Temperatur [°C] (rm3\_min)
56. Außen Temperatur [°C] (rm3\_max)
57. Außen Temperatur [°C] (rm3\_avg)
58. Außen Temperatur [°C] (rm7\_min)
59. Außen Temperatur [°C] (rm7\_max)
60. Außen Temperatur [°C] (rm7\_avg)
61. Außen Temperatur [°C] geschätzt?
62. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (15min)
63. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_min)
64. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_max)
65. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm3\_avg)
66. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_min)
67. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_max)
68. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] (rm7\_avg)
69. Außen Rel. Luftfeuchtigkeit [%] geschätzt?
70. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (15min)
71. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm3\_min)
72. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm3\_max)
73. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm3\_avg)
74. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm7\_min)
75. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm7\_max)
76. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] (rm7\_avg)
77. Außen Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] geschätzt?
78. Anzahl Tage relative zum Sitzungsstart

## 2. Haushaltsdaten

23. Teilnehmer
24. Geschlecht
25. Geburtsjahr
26. Adresse
27. Stockwerk
28. Wohnungsgröße in m<sup>2</sup>
29. Wohnzimmergröße in m<sup>2</sup>
30. Schlafzimmergröße in m<sup>2</sup>
31. Bezogen seit
32. Lüftung vorhanden?
33. Lüftungskontrolle vorhanden?
34. Anzahl Erwachsene

35. Anzahl Kinder
36. Geräte-Seriennummern
37. Bildungsabschluss
38. Qualifikation
39. Lebenssituation
40. Stunden Arbeit
41. Netto Einkommen
42. Apartmentraucher?
43. Rauchen Häufigkeit
44. Email-Adresse

### 3. Befragungsdaten nach Fragebogen

## 13.7. Struktur des Exports der Messdaten für die Befragungszeitpunkte

—

==

## Struktur des Exports der Messdaten für die Befragungszeitpunkte

1. Sitzungs-ID
2. Teilnehmer ID
3. Datum der Befragung
  
4. Durchschnittstemperatur am Tag der Befragung (Außen)
5. Durchschnittstemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Außen)
6. Durchschnittstemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Außen)
  
7. Durchschnittstemperatur am Tag der Befragung (Wohnen)
8. Durchschnittstemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
9. Durchschnittstemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  
10. Maximaltemperatur am Tag der Befragung (Wohnen)
11. Maximaltemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
12. Maximaltemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  
13. Minimaltemperatur am Tag der Befragung (Wohnen)
14. Minimaltemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
15. Minimaltemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  
16. Bänder von 15°C bis 32°C, mit dem unteren und oberen Band jeweils offen
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Wohnen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Wohnen)
  
17. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Wohnen)
18. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
19. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  
20. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Wohnen)
21. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
22. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
23. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Wohnen)
24. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
25. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Wohnen)
  
26. Anzahl der 1/4h-Messungen mit <999ppm in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Wohnen)
27. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 1000-1999ppm in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Wohnen)

28. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 2000ppm< in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Wohnen)
29. Anzahl der 1/4h-Messungen mit <999ppm in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Wohnen)
30. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 1000-1999ppm in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Wohnen)
31. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 2000ppm< in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Wohnen)
  
32. Durchschnittstemperatur am Tag der Befragung (Schlafen)
33. Durchschnittstemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
34. Durchschnittstemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
35. Maximaltemperatur am Tag der Befragung (Schlafen)
36. Maximaltemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
37. Maximaltemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
38. Minimaltemperatur am Tag der Befragung (Schlafen)
39. Minimaltemperatur an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
40. Minimaltemperatur an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
41. Bänder von 15°C bis 32°C, mit dem unteren und oberen Band jeweils offen
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Schlafen)
  - Anzahl der 1/4h-Messungen mit Temperatur  $t$  in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Schlafen)
  
42. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Schlafen)
43. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
44. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
45. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Schlafen)
46. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
47. Maximaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
48. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt am Tag der Befragung (Schlafen)
49. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 3 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
50. Minimaler CO<sub>2</sub>-Gehalt an 7 Tagen vor der Befragung (Schlafen)
  
51. Anzahl der 1/4h-Messungen mit <999ppm in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Schlafen)
52. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 1000-1999ppm in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Schlafen)

53. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 2000ppm< in dem Zeitraum 01.06.2017-31.08.2017 (Schlafen)
54. Anzahl der 1/4h-Messungen mit <999ppm in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Schlafen)
55. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 1000-1999ppm in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Schlafen)
56. Anzahl der 1/4h-Messungen mit 2000ppm< in dem Zeitraum 01.12.2016-28.02.2017 (Schlafen)