

## Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) - Die Sichtweise der Nutzer

Caroline Hoffmann (1), Alex Primas (2), Achim Geissler (1), Heinrich Huber (2)  
Kontaktperson: Caroline Hoffmann, Hofackerstrasse 30, 4132 Muttenz,  
[Caroline.Hoffmann@fhnw.ch](mailto:Caroline.Hoffmann@fhnw.ch), [www.fhnw.ch](http://www.fhnw.ch)

(1) Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau; (2) Hochschule Luzern  
Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie

### Zusammenfassung

In der Schweiz erfolgen rund 70 % der Erneuerungen an Wohngebäuden in Etappen. Werden bei einer Erneuerung nur die Fenster ausgetauscht, verbessert sich in der Regel die Luftdichtigkeit des Gebäudes. Gibt es im Gebäude thermische Schwachstellen, so kann es nach dem Fensterersatz zu Feuchteschäden (Schimmel) kommen. Wenn keine Lüftungsanlage eingebaut wird, besteht die Möglichkeit, durch den Einbau von Fensterlüftern gezielt eine gewisse Grundlüftung sicherzustellen. Fensterlüfter sind Lüftungselemente, die in das Fenster integriert sind oder im direkten Zusammenhang mit dem Fenster stehen. Das Projekt konzentriert sich auf Mehrfamilienhäuser mit passiven Fensterlüftern (ohne Ventilator) im Zusammenhang mit einer permanenten oder zeitgesteuerten Bedarfslüftung über Abluftventilatoren in Küche und Bad.

Es werden acht sanierte und vier neu errichtete Mehrfamilienhaustypen untersucht. Ein weiterer Gebäudetyp besteht aus sanierten Gebäudeteilen und Neubauten. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, wie sich eingebaute Fensterlüfter in der Praxis bewähren. Dies wird über Begehungen der Gebäude, eine Nutzerbefragung und Messungen in ausgewählten Wohnungen realisiert. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Gebäudebegehungen und die Nutzerbefragungen. Mit der Befragung liegen Antworten von 270 Nutzern aus 28 Gebäuden vor, die mit Fensterlüftern und einer Abluftanlage ausgestattet sind. Der Fragebogen bezieht sich auf den Winter und umfasst Fragen zu wohnungsbezogenen Merkmalen, zum Informationsfluss, zu Zufriedenheitsparametern, zum Lüftungsverhalten im Winter sowie zum thermischen Komfort, der Innenraumluftqualität und dem akustischen Komfort.

Aus den Befragungsergebnissen lassen sich Hinweise zur Gebäudeplanung ableiten, beispielsweise wird aufgezeigt, dass sich die Betriebsweise der Abluftanlage (intermittierend oder permanent) nur wenig auf die Zufriedenheit der Nutzer auswirkt. In Kombination mit Fensterlüftern treten mit einer Wärmeverteilung über Radiatoren weniger Zugerscheinungen auf, als bei Fussbodenheizungen. Bezüglich der Art der Fensterlüfter bestätigt sich die Annahme, dass Falzlüfter (zusammen mit Radiatoren) im Vergleich zu Fensterlüftern oberhalb des Fensters weniger Zugerscheinungen hervorrufen. Verstellbare Fensterlüfter und nicht verstellbare Fensterlüfter werden ähnlich bewertet, allerdings kann gezeigt werden, dass verstellbare Fensterlüfter nicht abgeklebt werden. Eine Nutzerinformation hilft dabei, längeres Lüften tagsüber zu vermeiden.

# 1. Ausgangslage

In der Schweiz erfolgen rund 70 % der Erneuerungen an Wohngebäuden in Etappen [1]. Werden bei einer Erneuerung nur die Fenster ausgetauscht, verbessert sich in der Regel die Luftdichtigkeit des Gebäudes. Gibt es im Gebäude thermische Schwachstellen, was bei Bestandsgebäuden häufig der Fall ist, so kann es nach dem Fensterersatz zu Feuchteschäden (Schimmel) kommen. Dieses Risiko besteht besonders bei Wohnbauten, da bei diesen die internen Feuchtelasten höher sind als z. B. bei Verwaltungsgebäuden. Dabei tritt der Schimmelpilzbefall deutlich häufiger in Etagenwohnungen als in Einfamilienhäusern auf (ohne Angaben zur Eigentumsstruktur). Innerhalb der Wohnung sind Nachtaufenthaltsräume wie Schlaf- und Kinderzimmer am häufigsten von den Schäden betroffen [2]. Wenn keine Lüftungsanlage eingebaut wird, besteht die Möglichkeit, durch den Einbau von Fensterlüftern gezielt eine gewisse Grundlüftung sicherzustellen. Fensterlüfter sind Lüftungselemente, die in das Fenster integriert sind oder im direkten Zusammenhang mit dem Fenster stehen. Das Projekt konzentriert sich auf passive Fensterlüfter, d.h. solche ohne Ventilator.

Im Vergleich zu einer unkontrollierten Lüftung über gekippte Fenster sind die Lüftungswärmeverluste über die Fensterlüfter geringer. Vor allen Dingen aber ist der Luftwechsel nutzerunabhängig und zuverlässiger, als dies z. B. bei entfernten Fensterdichtungen der Fall ist. Das Energiesparpotential in der etappierten Sanierung liegt also im Aufzeigen einer Alternative zum offenen Kippfenster. Die Höhe der konkreten Einsparung hängt von der Dauer der Lüftung über das Kippfenster ab. Als Abschätzung kann von einer Einsparung von maximal 15 % ausgegangen werden (Basis des Vergleichs in [3] ist eine Fensterlüftung und eine Abluftanlage mit zentraler Bedarfssteuerung, das Einsparungspotential liegt hier bei 20 %). Werden Produkte mit einem akzeptablen U-Wert eingesetzt, so sind die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehülle gering. Unter der Prämisse, dass die etappierte Erneuerung Stand der Baupraxis ist, stellen Fensterlüfter ein adäquates Mittel dar, die Etappierung bauschadensfrei zu ermöglichen.

Bei der Suche nach Messobjekten zeigte es sich, dass auch zunehmend bei Neubauten Fensterlüfter eingesetzt werden. Im Projekt werden daher auch Neubauten berücksichtigt.

## 1.1 Projekt

In einem Vorgängerprojekt [4] wurden mittels thermischer Simulationen die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Fensterlüftern in Wohngebäuden in der Schweiz ermittelt und in einer Marktstudie gängige Produkte charakterisiert. Ausgehend von dieser theoretischen Grundlage richtet sich der Fokus des vorliegenden Projektes auf realisierte Objekte. Im Rahmen des Projektes werden insgesamt 13 Wohngebäudetypen mit eingebauten passiven Fensterlüftern untersucht (siehe Tabelle 1). Insgesamt werden im Projekt vier Neubauten und acht sanierte Mehrfamilienhäuser untersucht. Ein Gebäude (ZH\_5) besteht aus sanierten Gebäudeteilen und Neubauten. Bei den Sanierungen handelt es sich bei sechs Gebäuden um eine Totalsanierung (Austausch Fenster und Dämmung der Aussenwand). Bei zwei Gebäuden (ZH\_4, ZH\_2) wurden nur die Fenster ausgetauscht. Die Lüftungskonzepte aller Gebäude basieren auf einer Kombination von Fensterlüftern und einer zeitgesteuerten oder permanenten Bedarfslüftung über Abluftventilatoren in Küche und Bad. Bei fünf Gebäuden (ZH\_2, ZH\_4, ZH\_5, DT-1 und DT\_3) nutzt der Verdampfer einer Wärmepumpe die Wärme aus der Abluft, um so einen besseren Wirkungsgrad zu erzielen.

Ziel des Projektes ist es herauszufinden, wie sich eingebaute Fensterlüfter in der Praxis bewähren. Dies soll mit der Klärung der folgenden Fragen erreicht werden.

- Wie wurde das Wohnungslüftungssystem dimensioniert? (Auswertung Planungskonzept)
- In welchen Räumen wurden Fensterlüfter eingesetzt (Auswertung Planungskonzept/Begehung)
- Sind die Wohnungen schimmelfrei? (Befragung Nutzer/Begehung)
- Gibt es Komfortprobleme im Bereich der Fensterlüfter? (Befragung Nutzer, ev. Messung)
- Wie ist das Lüftungsverhalten der Bewohner mit Fensterlüftern? (Befragung Nutzer, Messung)
- Welcher Luftwechsel ist mit den Fensterlüftern zu erreichen? (Messung)

Das Projekt umfasst in einer ersten, im Sommer 2018 abgeschlossenen Phase die Auswertung des Planungskonzeptes, die Bewohnerbefragungen und Begehungen der Gebäude. In einer zweiten Phase werden in vier Gebäuden jeweils in 2 Wohnungen ab Herbst 2018 Messungen

vorgenommen. Beim Gebäude ZH\_2 ist die Sanierung erst ab Herbst 2018 abgeschlossen, sodass die Begehung während der Bauphase stattfand und die Befragung im Januar 2019 erfolgt.

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Auswertungen der Bewohnerbefragungen und die Gebäudebegehungen.

**Tabelle 1:** *Untersuchte Gebäudetypen*  
*Verwendete Abkürzungen: MFH = Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, N = Neubau, T = Totalsanierung, F = Fensterersatz, FeLü = Fensterlüfter, ALD = Aussenluftdurchlasselement, AE = Aufsatzelement, FL = Falzlüfter, BR = Blendrahmen, N = Nein, J = ja*

Kürzel	Anzahl, Gebäudetyp und Standort	N / T / F	Anzahl Whg.	FeLü/ ALD	Produkt	Verstellbar?
ZH_1_1 bis ZH_1_9	9 MFH Zürich	N	278	FeLü (AE oberh. BR)	Anjos, L 30 S	N
WT	1 MFH Winterthur	N	10	FeLü (AE integriert i. BR)	Invisivent EVO AKD, Renson	J
ZH_2	1 MFH Zürich	F	10	FeLü (AE integriert i. BR)	Trivent ZEF-S	J
ZH_3	1 MFH Zürich	N	14	FeLü (AE integriert i. BR)	Sonoslot –P475, Renson	J
ZH_4	1 MFH Zürich	F	4	FeLü (AE integriert i. BE)	Aerex AL_db_450	J
GS	2 MFH Gasel	T	22	FeLü, FL	Ego Kiefer Secco ohne Filter	N
SD	2 MFH Studen	T	30	FeLü, FL	Regelair "Forte"	J
ZH_5	2 MFH Zürich	N/ T	26	FeLü, AE, oberh. BR	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2	N
BB	3 MFH Biberstein	N	22	FeLü (AE integriert i. BR)	ALD Aerex AL-dB-450-40	J
DT_1	2 HH Dietikon	T	78	FeLü (AE integriert i. BR) / ALD (Wand)	Helios ALEFS 45 / Helios ZTV-100	N / J
DT_2	1 MFH Dietikon	T	35	FeLü (AE integriert i. BR)	Helios ALEFS 45	N
DT_3	2 HH Dietikon	T	32	FeLü (AE integriert i. BR)	Helios ALEFS 45	N
HO	1 MFH Horw	T	12	ALD (Wand)	Helios ALD ZLA 100	J

## 2. Vorgehen

### 2.2 Gebäudeauswahl

Die Gebäude werden im Rahmen des Projektes über Kontakte zu Haustechnikplanern, Architekten, Wohnbaugenossenschaften und Behörden ausgewählt. Für die Mieter entsteht durch die Gebäudebegehungen, die Befragung und die Messungen im Gebäude ein spürbarer Aufwand. Hierdurch handelt es sich bei den nun berücksichtigten Gebäuden um eine selektive Stichprobe, die eher engagierte Gebäudebesitzer, Verwaltungen und Mieter begünstigt. Von insgesamt 13 analysierten Gebäudetypen gehören neun einer Genossenschaft.

### 2.3 Gebäudebegehungen

Die Begehungen umfassen zwei bis drei Wohnungen pro Gebäudetyp und finden im Zeitraum 26.02 bis 26.03.2018 statt. Es wird das grundsätzliche Lüftungsprinzip festgestellt (in welchen

Räumen gibt es Fensterlüfter / Überströmelemente etc.), untersucht ob an den Fensterlüftern Manipulationen vorgenommen wurden (z. B. abgeklebt) und ob in der Wohnung Schimmel auftritt.

## 2.4 Durchführung Nutzerbefragungen

Die Fragebögen werden im Rahmen der Gebäudebegehungen in Papierform verteilt, die Bewohner haben jeweils 4 Wochen Zeit, den Fragebogen zu beantworten und portofrei an das IEBau zurückzusenden. Optional kann die Befragung auch online ausgefüllt werden. Bei den Gebäuden ZH\_1\_1 bis ZH\_1\_9 kann die Befragung in eine von der Verwaltung durchgeführte Erhebung integriert werden. Diese Erhebung findet vom 24.04. bis zum 24.05.2018 statt. Der Beantwortungszeitraum für alle Fragebögen liegt somit zwischen dem 26.02. und dem 24.05.2018.

## 2.5 Aufbau des Fragebogens und statistische Methoden zur Auswertung

Der Fragebogen umfasst 19 Fragen und bezieht sich auf den Winter (siehe Tabelle 2). Eine anonyme Teilnahme an der Befragung ist möglich. Fragen, die die Bewohner um eine Bewertung bitten, werden im Fragebogen über eine Ratingskala mit fünf Merkmalsausprägungen beantwortet (Likert-Skala). Bezogen auf die Zufriedenheit ist dies zum Beispiel «unzufrieden», «etwas unzufrieden», «mittelmässig», «etwas zufrieden» und «zufrieden». In Tabelle 2 betrifft dies die Fragenkomplexe 2, 3, und 5. Bei der statistischen Auswertung werden diese Antworten in der Regel als ordinalskaliert behandelt. Als Lagemassen werden bei ordinalskalierten Daten Modus, Median und Perzentile verwendet (Erklärung siehe Abbildung 3). Unter der Bedingungen, dass die Abstände zwischen den Antworten als gleich gross interpretiert werden können, kann die Likert-Skala mit mindestens fünf Merkmalsausprägungen auch als quasi-metrisch, also intervallskaliert behandelt werden [5]. Damit ist grundsätzlich eine breitere Auswahl von statistischen Methoden zulässig. Bei den Lagemassen können hier z. B. auch der Mittelwert und die Streuung verwendet werden. Wo die Daten den genannten Anforderungen gerecht werden, werden sie als intervallskaliert behandelt.

Tabelle 2 Struktur des Fragebogens. Verwendete Abkürzungen: fA = freiwillige Angabe

<b>1. Wohnungsbezogene Merkmale</b>	Anzahl Zimmer (fA)
	Anzahl Personen in Wohnung (fA)
	Stockwerk
	Anzahl Jahre in Wohnung
	Schimmelpilz
<b>2. Informationsfluss</b>	Über Fensterlüfter und Abluftanlage
	Lüftungsverhalten mit Fensterlüftern und Abluftanlage
<b>3. Zufriedenheitsparameter</b>	Wohlbefinden bei Beantwortung der Fragen
	Mit Wohnung allgemein
	Mit Fensterlüftern
<b>4. Lüftungsverhalten im Winter</b>	Häufigkeit / Art manuelle Lüftung
	Einstellung Fensterlüfter
<b>5. Thermischer Komfort, Innenraumluftqualität und akustischer Komfort im Winter</b>	Luftfeuchte
	Temperatur
	Innenraumluftqualität
	Zugluft
	Geräusche von aussen oder Abluftanlage

Bei anderen Fragen, z. B. nach den wohnungsbezogenen Merkmalen werden Zeiträume (6-10 Minuten, 10-20 Minuten) oder Räume (Schlafzimmer, Wohnzimmer) als Antwortmöglichkeit gegeben. Die Daten sind damit nominalskaliert. Bezogen auf die Tabelle 2 betrifft dies die Fragenkomplexe 1 und 4.

Als Zusammenhangsmass wird der Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b ( $\tau_b$ ) verwendet. Er gilt ab dem Ordinalskalenniveau. Vereinfacht ausgedrückt wird hierbei überprüft, ob zwischen zwei Merkmalen ein Zusammenhang besteht und ob sich diese eher gleichgerichtet (positiv) oder entgegengesetzt (negativ) verhalten. Die Bewertung der Korrelationen ( $> 0$  bis  $0.2 =$  «sehr schwache Korrelation»,  $>0.2$  bis  $0.4 =$  «schwache Korrelation») wird gemäss [6] vorgenommen. Beim Signifikanztest wird die Hypothese getestet, dass beide Variablen in der Grundgesamtheit nicht miteinander korreliert sind (zweiseitiger Signifikanztest). Liegt der Signifikanzwert bei  $0.000\%$ , so bedeutet dies, dass die Variablen mit einer Wahrscheinlichkeit von  $0\%$  in der Grundgesamtheit unkorreliert sind. Es kann also davon ausgegangen werden, dass auch in der Grundgesamtheit eine Korrelation zwischen den Variablen besteht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit (=Signifikanz) wird auf dem  $5\%$ -Niveau mit einem «\*» als signifikant gekennzeichnet, auf dem  $1\%$ -Niveau als hochsignifikant mit «\*\*». Auch wenn statistisch ein Zusammenhang nachgewiesen wird, ist damit noch keine kausale Wirkungsbeziehung bewiesen.

Bei der Auswertung werden die in Tabelle 1 genannten Gebäudekennungen verwendet. Pro Kennung können dies mehrere Einzelgebäude sein. Wenn die Gebäude von der technischen Ausstattung, der Bauweise und der Ausrichtung identisch sind, wird eine gemeinsame Kennung verwendet und die Gebäudegruppe als «Gebäudetyp» bezeichnet.

Bei der Nutzerbefragung ist insbesondere die Frage nach der Zufriedenheit der Nutzer mit den Fensterlüftern wichtig. Da Fensterlüfter und das Lüftungskonzept untrennbar verbunden sind, wird im Fragebogen die folgende Frage gestellt «Wenn Sie die Wahl hätten, würden Sie wieder in eine Wohnung mit einer Abluftanlage und Fensterlüftern ziehen?». In den Auswertungen wird diese Frage als «Zufriedenheit mit Fensterlüftern» bezeichnet.

Im Text werden in der Regel die folgenden Angaben gemacht:

- Mittelwert und die eingrenzenden Voten, z. B.:  $\bar{x} = 4.54$  ( $4 =$  «etwas zufrieden»,  $5 =$  «zufrieden»).
- Die Standardabweichung, z. B.:  $s = 0.84$
- Anzahl der abgegebenen Voten zu dieser Frage, z. B.  $N = 213$ . Da nicht alle Nutzer jede Frage beantwortet haben, unterscheidet sich die Gesamtanzahl von Frage zu Frage.

### 3. Resultate

#### 3.1 Rücklauf und Datenbereinigung

Insgesamt werden 570 Fragebögen verteilt und davon 270 beantwortet. Zwischen den Gebäudetypen unterscheiden sich die Rücklaufquoten mit minimal  $1\%$  (DT\_2) und maximal  $68\%$ . Der Mittelwert der Rücklaufquoten liegt bei  $42\%$ .

Bei den Gebäudetypen ZH\_4 und DT\_2 wird jeweils nur ein Fragebogen retourniert. Da die Auswertungen dieser Veröffentlichung meist die gesamte Stichprobe umfassen, werden diese Gebäude berücksichtigt. Von gebäudeweisen Auswertungen sind diese Gebäude ausgenommen (Abschnitt 3.6). Es gibt keine ungültigen Fragebögen im Rücklauf. Mit Ausnahme der Abschnitte 3.2 und 3.4 («Planung Lüftungssystem») wird der Gebäudetyp HO ( $N = 6$ ) von der Auswertung ausgenommen, da er ausschliesslich über Aussenluftdurchlasselemente verfügt. Da sich bis Herbst 2018 ein Gebäude noch im Umbau befindet, werden mit HO also insgesamt 12 Gebäudetypen berücksichtigt, ohne HO 11 Gebäudetypen.

#### 3.2 Soziodemografische Merkmale (12 Gebäudetypen)

Im Mittel leben die Bewohner seit  $3 \pm 1$  Jahren im Gebäude ( $N = 258$ ,  $s = 1.0$ ). Der Modus liegt bei 3 Jahren. Die Anzahl der bewohnten Zimmer liegt im Mittel bei  $4 \pm 2$  ( $N = 251$ ,  $s = 1.9$ ), Modus und Median liegen hier bei 3.5 Räumen. Im Mittel leben 3 Personen in der Wohnung ( $N = 257$ ,  $s = 2.5$ ). Modus und Median liegen bei 2 Personen. Die meisten Bewohner leben auf dem 4. OG ( $D = 4$ ,  $N = 258$ ,  $s = 2.2$ ). Das höchste Gebäude hat 13 Stockwerke. Von 258 Befragten leben  $90\%$  im Bereich EG bis 5. OG.

### 3.3 Fragestellungen zum Nutzerverhalten (11 Gebäudetypen)

Insgesamt Lüften die Bewohner wenig über die Fenster. Die meisten Nutzer ( $N = 185$  von 262) lüften ein- bis zweimal pro Tag (Abbildung 1). Dabei beträgt die Dauer der Fensteröffnung in den meisten Fällen ( $N = 157$  von 252) 1 - 5 Minuten. Die zweithäufigste Lüftungsdauer beträgt 5 - 10 Minuten ( $N = 71$ ). Bei den meisten Nutzern ( $N = 220$  von 250) ist das Fenster tagsüber nie länger als 30 Minuten geöffnet. Wenn nachts ein Fenster offen ist, so ist dies bei 82 % ( $N = 50$  von 61) im Schlafzimmer der Fall.

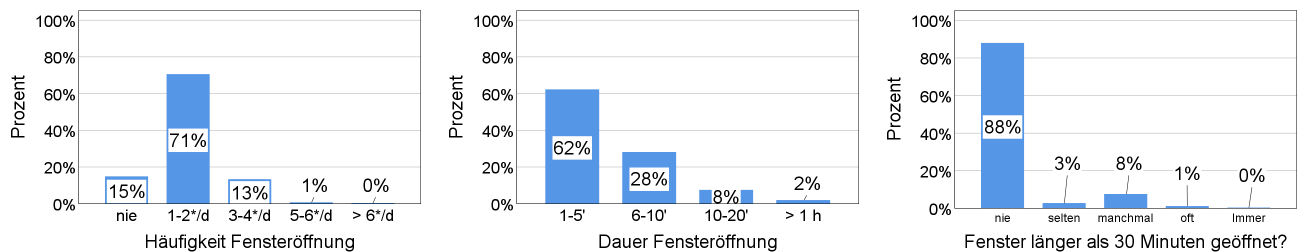


Abbildung 1 Nutzerverhalten bezüglich Fensterlüftung

Kombiniert man die Antworten, so bedeutet dies, dass die meisten Nutzer ein- bis zweimal pro Tag lüften und das Fenster dabei 1 - 5 Minuten geöffnet haben (45 %,  $N = 107$ ). Das sind rechnerisch tagsüber zwischen 2 - 10 Minuten Lüftungszeit. Weniger Nutzer (15 %,  $N = 36$ ) haben eine Lüftungszeit zwischen 6 und 20 Minuten tagsüber. Rund 5 % ( $N = 14$ ) haben tagsüber die Fenster zwischen 3 und 20 Minuten geöffnet. In diesen Gruppen ist bei nur wenigen Nutzer das Schlafzimmerfenster nachts geöffnet. Bei der Gruppe mit 2 - 10 Minuten Lüftungszeit und bei der Gruppe mit 6 - 20 Minuten Lüftungszeit sind dies jeweils 5 % ( $N = 12$ ,  $N = 13$ ). Für diese Gruppen resultieren insgesamt zwischen 8 und 8.5 h Lüftungszeit insgesamt pro Tag.

Es ist nun interessant zu überprüfen, ob Beschwerden der Nutzer, z. B. über Zugluft mit dem Nutzerverhalten zusammenhängen. Jeweils rund 30 % der Nutzer spüren «nie», «manchmal» oder «immer» Zugluft in der Nähe der Fensterlüfter ( $\bar{x} = 2.04$  (2 = «manchmal», 3 = «häufig»),  $s = 1.59$   $N = 212$ ). Um zu überprüfen, ob dies mit dem Lüftungsverhalten zusammenhängt, werden zwei Gruppen gebildet: Die Gruppe «Zugluft ja» verspürt in der Nähe der Fensterlüfter «manchmal», «häufig» oder «immer» Zugluft ( $N = 135$ ), die Gruppe «Zugluft nein» verspürt «nie» oder «selten» Zugluft ( $N = 76$ ). Bezüglich des Lüftungsverhaltens lassen sich nur kleine Unterschiede zwischen beiden Gruppen feststellen (Tabelle 3). Tendenziell lüften die Bewohner, die Luftzug verspüren etwas seltener und kürzer als die Bewohner, die keinen Luftzug verspüren. Es kann keine signifikante Korrelation festgestellt werden.

Rund 58 % empfinden die Raumtemperatur als «angenehm» ( $\bar{x} = 2.79$  (2 = «kalt», 3 = «angenehm»),  $s = 1.2$ ,  $N = 126$  aus 217). Rund 26 % empfinden es als «kalt» oder «zu kalt» ( $N = 9$  bzw. 48). «Warm» oder «zu warm» ist es 16 % ( $N = 8$  bzw. 26). Auch hier können zwei Gruppen gebildet werden: Die Gruppe «Tiefe Raumtemperaturen ja» empfindet es als «kalt» oder «zu kalt» ( $N = 57$ ). Die Gruppe «Tiefe Raumtemperaturen nein» findet es «zu warm», «warm» oder «angenehm» ( $N = 160$ ). Das Lüftungsverhalten beider Gruppen ist fast identisch, die Gruppe, die nicht zu kalt ist, lüftet tendenziell etwas länger. Es lassen sich keine Korrelationen feststellen.

Die Luftfeuchtigkeit in der Wohnung bewerten 53 % als angenehm ( $\bar{x} = 3.84$  (3 = «angenehm», 4 = «trocken»),  $s = 0.95$ ,  $N = 114$  aus 215). Neun Prozent ( $N = 19$ ) finden die Luft «eher trocken» und 38 % ( $N = 81$ ) bewerten sie als «zu trocken». Als «eher feucht» wird die Luft nur von einer Person bewertet. Eine Unterteilung in zwei Gruppen resultiert in der Gruppe «Trockene Luft ja», die sich aus den Nutzern zusammensetzt, welche die Luft als «trocken» und «zu trocken» bewerten ( $N = 100$ ). Die Gruppe «Trockene Luft nein» umfasst die Nutzer, die die Lufttrockenheit als «angenehm» oder «etwas feucht» bezeichnen ( $N = 115$ ). Mit der Ausnahme, dass diejenigen, die über trockene Luft klagen, etwas länger lüften, können keine deutlichen Unterschiede im Verhalten erkannt werden.

Mit der Luftqualität sind 56 % «eher zufrieden» oder «zufrieden» ( $\bar{x} = 3.91$  (3 = «mittelmässig», 4 = «eher zufrieden»),  $s = 1.2$ ,  $N = 115$  aus 207). «Mittelmässig», «etwas unzufrieden» oder

«unzufrieden» sind 44 % ( $N=92$ ). Die Gruppe, «Unzufrieden mit Luftqualität ja» umfasst alle Voten dieser Gruppe ( $N=92$ ). Die Gruppe «Unzufrieden mit Luftqualität nein» umfasst die Nutzer, die «etwas zufrieden» und «zufrieden» sind ( $N=115$ ). Es zeigt sich die klare Tendenz, dass diejenigen, welche mit der Luftqualität unzufrieden sind, häufiger und länger lüften. Hier treten sehr schwache, statistisch signifikante oder hochsignifikante Korrelationen auf.

Geräusche von aussen werden von 46 % «manchmal» ( $\bar{x} = 1.61$  (1 = «selten», 2 = «manchmal»),  $s = 1.3$ ,  $N = 90$  aus 197) und von 13 % ( $N = 26$ ) «immer» als Störung wahrgenommen. Die Gruppe «Lärm von aussen ja» umfasst diejenigen, welche «manchmal», «häufig» oder «immer» störenden Lärm von aussen wahrnehmen ( $N = 118$ ). Die Gruppe «Lärm von aussen nein» umfasst die Nutzer, welche «nie» und «selten» durch Lärm gestört werden ( $N = 79$ ). Die Gruppe, welche keinen störenden Lärm hört, lüftet etwas öfter und lässt tagsüber etwas länger die Fenster aufstehen ( $> 30$  Minuten). Es bestehen nur eine hochsignifikante Korrelation zwischen Lärme von aussen und einer Fensteröffnung von  $> 30$  Minuten.

**Tabelle 3** *Untersuchung Nutzerverhalten Fensterlüftung hinsichtlich Zufriedenheit und Bewertung unterschiedlicher Parameter. Es werden nur signifikante Testergebnisse für  $\tau_b$  ausgewiesen, der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. \* = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, \*\* = 1 %-Niveau. Lesebeispiel für  $\tau_b = -0.150^*$ : Die Gruppe, «Unzufrieden mit Luftqualität ja» wird in der Auswertung mit 0 codiert, die Gruppe «Unzufrieden mit Luftqualität nein» mit 1. Bezüglich der Lüftung gilt: je häufiger das Fenster geöffnet wird, desto höher der Wert (0 bis 4). Eine gegenläufige Korrelation bedeutet nun, dass die Gruppe «Unzufrieden mit Luftqualität ja», codiert mit dem tieferen Wert (=0) beim Lüften eine gegenläufige Tendenz hat, also höhere Zahlenwerte (= häufiger Lüften) erreicht. Dieses Ergebnis ist signifikant.  
Interpretationshilfe: HFO: 0 = «nie», 1 = «1-2\*/Tag», 2 = «3-4\*/Tag», 3 = «5-6\*/Tag», 4 = «>6\*/Tag», DF: 1 = «1-5 Min.», 2 = «6-10 Min.», 3 = «10-20 Min.», 4 = «20-60 Min.», 5 = «> 1 St.»  
TF30: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «häufig», 4 = «immer»  
RNFO: 1 = «Schlafz.», 2 = «Wohnz.», 3 = «Kinderz.», 4 = «Bad/WC», 5 = «Küche»*

		Zugluft		Lärm von aussen		Unzufrieden Luftqualität		Tiefe Raumtemperaturen		Trockene Luft	
		ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
<b>Häufigkeit Fenster offen (HFO)</b>	$D$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\tilde{x}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\bar{x}$	1.03	1.07	0.95	1.10	1.10	0.95	1.05	1.02	0.99	1.03
	$N$	135	76	117	79	92	115	56	160	100	115
	$\tau_b$		-		-		-0.150*		-		-
<b>Dauer Fensteröffnung (DF)</b>	$D$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\tilde{x}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\bar{x}$	1.45	1.69	1.52	1.56	1.66	1.39	1.38	1.59	1.68	1.46
	$N$	131	75	112	77	89	110	55	153	94	111
	$\tau_b$		-		-		-0.182**		-		-
<b>Tagsüber Fensteröffnung &gt; 30 Minuten (TF30)</b>	$D$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\tilde{x}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\bar{x}$	0.22	0.33	0.17	0.40	0.33	0.16	0.25	0.25	0.24	0.32
	$N$	133	75	112	78	90	111	57	154	96	111
	$\tau_b$		-		-0.188**		-0.153*		-		-
<b>Räume mit Fenster nachts immer offen? (RNFO)</b>	$D$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$N$	29	26	30	25	25	27	11	56	28	29
	$\tau_b$		-		-		-		-		-

### 3.4 Fragestellungen aus der Gebäudeplanung

Bei der Planung von Lüftungssystemen mit Fensterlüftern gibt es einige Fragestellungen und Hypothesen, die mit Hilfe der Nutzerbefragungen überprüft werden können. Zumindest lässt sich

herausfinden, ob sich bestimmte Eigenschaften der Haustechnik auf das Wohlbefinden und das positive Urteil der Nutzer auswirken.

## Planung Lüftungssystem (12 Gebäudetypen)

In diesem Projekt werden Fensterlüfter im Zusammenhang mit einer mechanischen Abluftanlage untersucht. Hierbei können Konzepte mit einer permanent laufenden Abluftanlage und Konzepte mit einer intermittierend laufenden Abluftanlage (z. B. während der Badbenutzung) unterschieden werden. Von 12 Gebäudetypen verfügen 6 Gebäudetypen über eine permanent laufende Abluftanlage (ZH\_1\_1 – ZH\_1\_9, ZH\_4, GS, SD, ZH\_5, HO).

Zunächst wird die Hypothese überprüft, ob die Bewohner mit einer permanent laufenden Abluftanlage generell zufriedener sind, weil beispielsweise die Luftqualität in der Wohnung besser ist. Dazu wird die Zufriedenheit der Bewohner mit bestimmten Parametern untersucht und dabei zwischen den Gebäuden mit permanent und jenen mit intermittierend laufender Abluftanlage unterschieden. In Abhängigkeit von der Betriebsweise der Abluftanlage müsste ein Unterschied zwischen beiden Gruppen erkennbar sein. Zunächst wird die Frage überprüft, ob die Bewohner nochmals eine Wohnung mit Fensterlüftern und Abluftanlage ziehen würden («Zufriedenheit mit den Fensterlüftern», Abbildung 2). Unabhängig von der Betriebsweise der Anlage ist dies bei 47 % der Fall, bei 36 % «eventuell», ( $\bar{x} = 1.00$ ,  $D = 2$  (1 = «eventuell», 2 = «ja»),  $N = 251$ ). Insgesamt ist bei 80 % der Befragten das momentane Wohlbefinden bei Ausfüllen des Fragebogens «eher gut» oder «gut» ( $\bar{x} = 1.85$  (1 = «gut», 2 = «eher gut»),  $s = 0.86$ ,  $N = 84$ ). Die Betriebsweise der Abluftanlage hat keinen Einfluss auf das momentane Wohlbefinden der Bewohner. Die Zufriedenheit mit der Wohnung allgemein ist sehr gut, rund 80 % der Bewohner sind «zufrieden» oder «sehr zufrieden» ( $\bar{x} = 4.54$  (4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»),  $s = 0.84$ ,  $N = 213$ ). Obwohl beim Vergleich der Mittelwerte die Zufriedenheit mit der Wohnung und mit der Luftqualität bei permanent betriebener Abluftanlage etwas höher ist, so ist diese Differenz nicht signifikant. Wenn nachts ein Fenster geöffnet ist, dann ist dies in beiden Gruppen das Schlafzimmerfenster. Erfreulicherweise nehmen beide Gruppen in den meisten Fällen (72 %) «nie» störende Geräusche über die Abluftanlage wahr ( $\bar{x} = 0.61$  (0 = «nie», 1 = «selten»),  $s = 1.1$ ,  $N = 232$ ). In der Gruppe mit intermittierender Abluft ist der Mittelwert höher, was auf eine etwas stärkere Geräuschbelastung hinweist. Allerdings ist diese Mittelwertdifferenz nicht signifikant. Es kann aber sehr schwache gegenläufige Korrelation ( $\tau_b = -0.146^*$ ) festgestellt werden.

**Tabelle 4** Untersuchung Gruppe mit permanent und intermittierend betriebener Abluftanlage hinsichtlich Zufriedenheit und Bewertung unterschiedlicher Parameter. Es werden nur signifikante Testergebnisse für  $\tau_b$  ausgewiesen, der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. \* = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, \*\* = 1 %-Niveau.  
 Interpretationshilfe: ZF: 0 = «nein», 1 = «eventuell», 2 = «ja»  
 MW: 1 = «gut», 2 = «eher gut», 3 = «mittel», 4 = «eher schlecht», 5 = «schlecht»  
 ZW, ZL: 1 = «unzufrieden», 2 = «etwas unzufrieden», 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»  
 GAN: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «häufig», 4 = «immer»

		Zufriedenheit mit Fensterlüftern (ZF)	Momentanes Wohlbefinden (MW)	Zufriedenheit mit Wohnung (ZW)	Zufriedenheit Luftqualität (ZL)	Fenster nachts offen (FNO)	Geräusche Abluftanlage (GAN)
<b>Abluftanlage permanent</b>	<i>D</i>	2.00	1.00	5.00	5.00	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	1.00	2.00	5.00	5.00	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	-	1.78	4.58	3.96	-	0.57
	<i>N</i>	214	45	176	168	44	195
<b>Abluftanlage intermittierend</b>	<i>D</i>	2.00	1.00	5.00	5.00	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	2.00	2.00	5.00	3.76	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	-	1.87	4.44	4	-	0.84
	<i>N</i>	43	45	43	45	18	43
	$\tau_b$	-	-	-	-	-	-0.146*



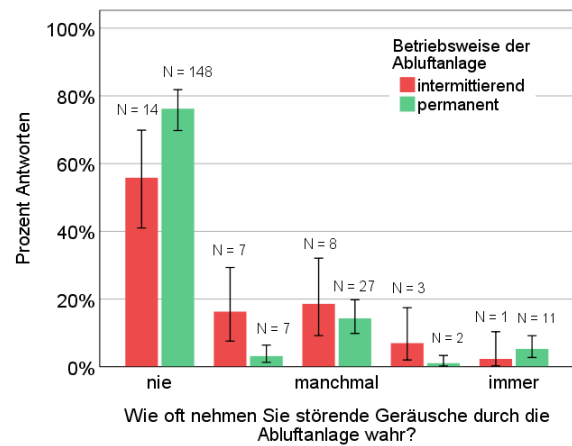
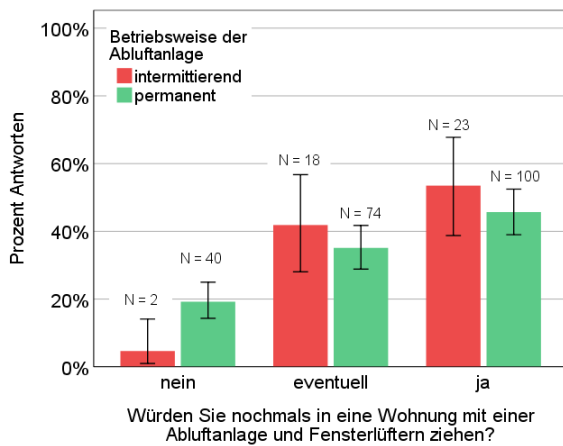


Abbildung 2: links: Zufriedenheit mit Fensterlüftern in Abhängigkeit vom Betriebsmodus der Abluftanlage, Angabe Fehlerbalken auf 95 %-Niveau. rechts: Störung durch Geräusche von der Abluftanlage in Abhängigkeit von der Betriebsweise der Anlage. Angabe Fehlerbalken auf 95 %-Niveau.

Bei der Planung eines Lüftungskonzeptes mit Fensterlüftern muss bei der Auslegung differenziert werden zwischen dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel und dem Feuchteschutzluftwechsel [7]. In beiden Fällen sollte jeder Raum, in dem sich Personen länger aufhalten, mit (mindestens) einem Fensterlüfter ausgestattet sein [8]. Dies gilt besonders für das Schlafzimmer, das nachts nutzerunabhängig mit Frischluft versorgt werden sollte. Bei den untersuchten Gebäudetypen gibt es nur einen, bei dem im Schlafzimmer keine Fensterlüfter vorhanden sind (WT). Allerdings ist hier die Stichprobe mit 7 Antworten zu klein, um belastbare Aussagen treffen zu können. Zwischen der Gruppe mit Fensterlüftern im Schlafzimmer und der kleinen Gruppe ohne Fensterlüfter im Schlafzimmer können auf Basis der vorhandenen Daten keine Korrelationen festgestellt werden.

### Typ und Zusatzausstattungen Fensterlüfter (11 Gebäudetypen)

Die meisten der Gebäudetypen haben Fensterlüfter, die im oberen Bereich des Blendrahmens oder im Sturz integriert sind (Abbildung 3, rechts). Da kalte Luft nach unten fällt, kann im Winter ein Luftzug entstehen. Zwei Gebäudetypen (GS, SD) verfügen über Falzlüfter, sodass die kalte Luft im gesamten Bereich des Fensters zwischen Blend- und Flügelrahmen in den Raum gelangt. Die Vermutung liegt nahe, dass bei Fensterlüftern oberhalb des Fensters eher Zugscheinungen auftreten. Dies wird durch die statistische Auswertung bestätigt (Abbildung 3, links).

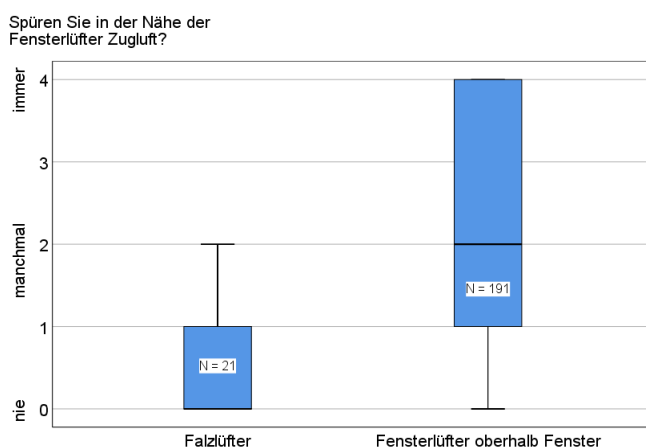


Abbildung 3 Links: Boxplot Zufriedenheit mit Zugluft in Abhängigkeit von der Position des Fensterlüfters. Interpretationshilfe: Die blaue Box gibt den Bereich zwischen dem 25 %- und dem 75 %-Perzentil an (25 %-Perzentil = 25 % aller Werte sind gleich gross oder kleiner als dieser Wert). Die Linie in der Mitte der Box kennzeichnet die Lage des Median. Der grösste und kleinste Wert wird jeweils als Querstriche ausserhalb der Box gekennzeichnet. Grenzt dieser Querstrich direkt an die Box an (z. B. rechte Box), so bedeutet dies, dass z. B. der grösste Wert dem 75 %-Perzentil entspricht. Rechts: Fensterlüfter im oberen Bereich des Fensters.

Die Mittelwerte beider Gruppen unterscheiden sich signifikant und es wird eine hochsignifikante schwache Korrelation zwischen der Zugluft und der Position der Fensterlüfter festgestellt (Fensterlüfter oberhalb Fenster:  $\bar{x} = 2.21$ ,  $N = 191$ ; Falzlüfter:  $\bar{x} = 0.48$ ,  $N = 21$ ; Interpretationshilfe: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal»,  $\tau_b = -0.371^{**}$ ). Allerdings ist die Gruppe mit Falzlüftern klein, sodass die Ergebnisse mit Zurückhaltung interpretiert werden müssen. Zwischen der Position der Fensterlüfter und der Zufriedenheit mit den Fensterlüftern kann kein Zusammenhang festgestellt werden.

Meist sind aus hygienischen Gründen Filter unterschiedlicher Filterklassen in den Fensterlüftern enthalten (Verhinderung Eintritt Staub). Fensterlüfter ohne Filter sind nur in zwei Gebäudetypen eingebaut (GS, SD). Ob die Fensterlüfter über Filter verfügen oder nicht hat nur einen geringen Einfluss auf die Zufriedenheit mit der Luftqualität (Frische, Düfte, etc.). Die Mittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant (Fensterlüfter mit Filter:  $\bar{x} = 3.93$ ,  $N = 187$ , Fensterlüfter ohne Filter:  $\bar{x} = 3.80$ ,  $N = 20$ ; Interpretationshilfe: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden»). Dies gilt auch für die Störung durch Geräusche von aussen, die ja theoretisch durch einen Filter gemindert werden könnte (Fensterlüfter mit Filter:  $\bar{x} = 1.66$ ,  $N = 177$ , Fensterlüfter ohne Filter:  $\bar{x} = 1.20$ ,  $N = 20$ , Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal»). Die Zufriedenheit mit den Fensterlüftern unterscheidet sich in beiden Gruppen kaum. Signifikante Zusammenhänge mit den überprüften Variablen treten nicht auf.

Knapp die Hälfte der Gebäudetypen (5 von 11) verfügt über verstellbare Fensterlüfter, bezogen auf die Befragten und die theoretisch mögliche Anzahl der Antworten entspricht die Gruppe aber nicht der Hälfte (verstellbar:  $N = 36$ , nicht verstellbar:  $N = 227$ ). Variable Fensterlüfter können meist stufenlos verstellt und komplett geschlossen werden (Abbildung 3 rechtes unteres Bild). Einen nicht verstellbaren Fensterlüfter zeigt das obere Foto auf Abbildung 3. Da nicht alle Bewohner eine Einweisung in die Lüftungstechnik erhalten haben (siehe Abschnitt 3.5) ist es zunächst interessant zu sehen, ob nicht-verstellbare Fensterlüfter von Nutzern verändert werden. Insgesamt 77 % aller Nutzer ( $N = 193$  aus  $N = 252$  Antworten) geben an, den Fensterlüfter nicht zu verstellen bzw. zu verändern (6 % ( $N = 14$ ) aus dieser Gruppe hätten die technische Möglichkeit dazu). 15 % der Nutzer ( $N = 39$ ) verändern nicht verstellbare Fensterlüfter aktiv. Davon haben 7 % die Fensterlüfter abgeklebt ( $N = 19$ ). Ob das Verhalten der verbleibenden 8 % ( $N = 20$ ) ein Missverständnis ist, oder die Nutzer eine individuelle Lösung zum «Verstellen» der Fensterlüfter gefunden haben, ist unbekannt. Unabhängig von der Verstellbarkeit der Fensterlüfter ist die Mehrzahl beider Gruppen aber ähnlich zufrieden mit den Fensterlüftern. Bei verstellbaren Fensterlüftern tritt weniger Zugluft auf, die Mittelwerte unterschieden sich aber nicht signifikant (Fensterlüfter verstellbar:  $\bar{x} = 1.67$ ,  $N = 36$ , Fensterlüfter nicht verstellbar:  $\bar{x} = 2.12$ ,  $N = 176$ ; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «oft») und es tritt aber keine signifikante Korrelation auf. Eine Befürchtung, die gegen verstellbare Fensterlüfter spricht ist, dass diese durch die Bewohner falsch bedient, d. h. geschlossen werden und als Folge Schimmel in der Wohnung auftritt. Insgesamt berichten rund 8 % ( $N = 21$ ) der Befragten ( $N = 263$ ) über Schimmel in der Wohnung. Von der Gruppe mit Schimmel in der Wohnung haben diesen 95 % im Bad. Aus dieser Gruppen können 19 % ( $N = 4$ ) die Fensterlüfter aktiv verstellen. Für eine statistische Auswertung sind diese Zahlen zu klein.

### Sonstige Planungsfragen (11 Gebäudetypen)

In [4] wurde mittels thermischer Gebäudesimulationen aufgezeigt, dass mit zunehmender Gebäudehöhe (ab dem 3. OG) der Luftwechsel über die Fensterlüfter steigt. Damit können auch Beschwerden über Zugluft zunehmen. Gemäss der Unterteilung aus [4] wird nun die Gruppe  $\leq 2$ . OG und diejenige  $\geq 3$ . OG untersucht. Rund 60 % der Befragten leben in Wohnungen mit und ab dem 3. bis zum 13. OG ( $N = 150$ ). Obwohl der Vergleich der Mittelwerte in den oberen Stockwerken tatsächlich auf eine etwas höhere Tendenz zu Zugluft hinweist, ist dieser Unterschied nicht signifikant. ( $\leq 2$ . OG:  $\bar{x} = 1.94$ ,  $N = 88$ ,  $\geq 3$ . OG:  $\bar{x} = 2.15$ ,  $N = 116$ ; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «oft»). Es können jedoch keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden.

Die Mehrzahl der Gebäudetypen (7) verfügt über Heizkörper als Wärmeabgabesystem. Diese Gebäudetypen weisen aber deutlich weniger Antworten auf (Abbildung 4). In vier Gebäudetypen wird die Wärme über eine Fussbodenheizung abgegeben. In Kombination mit Fensterlüftern sind gemäss [9] und [10] Heizkörper zu bevorzugen, da sie lokal im Bereich des Fensters für eine bessere Durchmischung der Luft sorgen und so Zugluft vorbeugen. Diese Erkenntnis wird durch

die Befragungen unterstützt. Es tritt eine hochsignifikante, schwache Korrelation auf (Heizkörper:  $\bar{x} = 1.45$ ,  $N = 56$ , Fussbodenheizung:  $\bar{x} = 2.26$ ,  $N = 156$ ; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal»; 3 = «oft»;  $\tau_b = -0.207^{**}$ ).

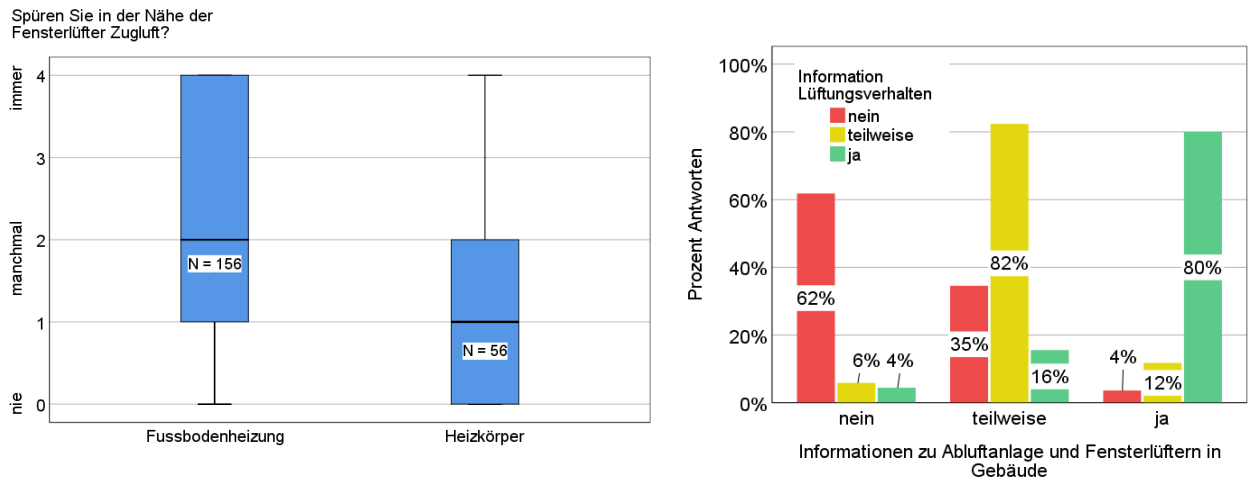


Abbildung 4 Links: Bewertung von Zugluft in Abhängigkeit von der Wärmeverteilung. Rechts: Informationen zum Lüftungsverhalten in Abhängigkeit vom Erhalt von Informationen zum Lüftungskonzept des Gebäudes. Lesebeispiel: in der Gruppe, die keine Informationen zum Lüftungsverhalten bekommen haben, sind auch 62 % nicht über das Lüftungskonzept des Gebäudes informiert worden.

### 3.5 Lohnt sich eine Nutzerinformation? (11 Gebäudetypen)

Da Fensterlüfter einen Basisluftwechsel gewährleisten, ist es sinnvoll, das Lüftungsverhalten entsprechend anzupassen. Dies gilt besonders für Gebäude mit Fensterlüftern in Kombination mit einer permanent laufenden Abluftanlage. Bei der Befragung wird erhoben, ob die Nutzer über die Abluftanlage und die Fensterlüfter im Gebäude informiert und ob sie zum sachgemässen Lüften angehalten wurden. Abbildung 4 zeigt auf, dass entweder über beide Themen gar nicht informiert wurde ( $N = 34$  aus 247), «teilweise» ( $N = 84$ ), oder über Lüftungskonzept und das Lüftungsverhalten zusammen ( $N = 72$ ).

Tabelle 5 Untersuchung Gruppe mit Informationen zum Lüftungskonzept und zum Lüftungsverhalten hinsichtlich selbstberichtetem Lüftungsverhalten. Es werden nur signifikante Testergebnisse für  $\tau_b$  ausgewiesen, der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. \* = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, \*\* = 1 %-Niveau. Interpretationshilfe: HFO: 0 = «nie», 1 = «1-2\*/Tag», 2 = «3-4\*/Tag», 3 = «5-6\*/Tag», 4 = «>6\*/Tag», DF: 1 = «1-5 Min.», 2 = «6-10 Min.», 3 = «10-20 Min.», 4 = «20-60 Min.», 5 = «> 1 St.» TF30: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «häufig», 4 = «immer» RNFO: 1 = «Schlafz.», 2 = «Wohnz.», 3 = «Kinderz.», 4 = «Bad/WC», 5 = «Küche».

		Häufigkeit Fenster offen (HFO)	Dauer Fensteröffnung (DF)	Tagsüber Fensteröffnung > 30 Minuten (TF30)	Räume mit Fenster nachts immer offen? (RNFO)
<b>Information ja</b>	D	1.00	1.00	0.00	1.00
	$\bar{x}$	1.00	1.00	0.00	-
	$\bar{x}$	0.92	1.76	0.20	-
	N	219	209	209	52
<b>Information nein</b>	D	1.00	1.00	0.00	1.00
	$\bar{x}$	1.00	1.00	0.00	-
	$\bar{x}$	1.03	1.47	0.39	-
	N	34	34	33	8
	$\tau_b$	-	-	-0.147*	-

Grundsätzlich könnte man der Auffassung sein, dass eine umfassende Information die Zufriedenheit mit den Fensterlüftern steigert und eine unsachgemässe Lüftung verhindert. Um dies zu untersuchen wird die Gruppe, die weder über das Lüftungskonzept noch über das Lüftungsverhalten informiert wurde, zusammengefasst ( $N=34$ ). Betrachtet man die Frage, ob die Nutzer nochmals in eine Wohnung mit Fensterlüfter ziehen würden, so kann kein wesentlicher Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. («keine Information»:  $\bar{x} = 1.09$ ,  $N=32$ , «Information»:  $\bar{x} = 1.34$ ,  $N=217$ ; Interpretationshilfe: 1 = «eventuell», 2 = «ja»). Weiter kann untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen Information und dem Abkleben von Fensterlüftern besteht. Von der Gruppe, die Fensterlüfter abgeklebt haben ( $N=19$ ) wurden knapp 20 % nicht informiert. Eine Information scheint das Abkleben nicht verhindern zu können. Eine weitere Frage ist, ob Informationen «falsches Lüften» verhindern können. Grundsätzlich unterscheidet sich das Lüftungsverhalten beider Gruppen nicht sehr. Die informierte Gruppe lüftet etwas länger als die Gruppe ohne Informationen. Der einzige Punkt, bei dem Unterschiede auftreten, ist bei der Frage, ob tagsüber in Räumen länger als 30 Minuten gelüftet wird. Hier ist der Mittelwert bei der nicht informierten Gruppe etwas, aber nicht signifikant höher, d. h. das Fenster steht länger offen (keine Stosslüftung). Es kann eine signifikante, aber sehr schwache Korrelation nachgewiesen werden. Zur Bewertung muss bemerkt werden, dass die Gruppe «keine Information» eher klein ist und Ergebnisse von Abfragen, bei denen diese Gruppe weiter unterteilt wird, eher vorsichtig zu interpretieren sind.

### 3.6 Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Gebäudetyp und Nutzerunzufriedenheit? (11 Gebäudetypen)

Es liegt nahe zu untersuchen, ob es einen Einfluss auf die Bewertung des thermischen und akustischen Komforts, der Innenraumluftqualität und der Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem hat, in welchem Gebäudetyp die Nutzer wohnen (Tabelle 1). So bestünde die Möglichkeit, dass z. B. in einem Gebäudetyp Zugluft besonders stark oder schwach wahrgenommen wird.

Nicht alle Bewertungen sind vom Gebäude, in dem die Nutzer wohnen abhängig. So ist ein statistisch signifikanter Einfluss nur auf die Bewertung der Luftqualität, die Bewertung der Geräusche von aussen und von der Abluftanlage und auf die Zufriedenheit mit der Wohnung (Tabelle 6) feststellbar. Nachfolgend werden alle untersuchten Parameter einzeln betrachtet. Dabei wird auch untersucht, welcher Gebäudetyp bei der Bewertung einzelner Parameter besonders gut oder schlecht abschneidet.

**Tabelle 6** Untersuchung Parameter zum thermischen und zum akustischen Komfort, zur Innenraumluftqualität und zur Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem und der Wohnung bezogen auf den Gebäudetyp. Es werden nur signifikante Testergebnisse für  $\tau_b$  ausgewiesen, der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. \* = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, \*\* = 1 %-Niveau.  
 Interpretationshilfe: BZ: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «häufig», 4 = «immer»  
 MW: 1 = «gut», 2 = «eher gut», 3 = «mittel», 4 = «eher schlecht», 5 = «schlecht»  
 ZL, ZW: 1 = «unzufrieden», 2 = «etwas unzufrieden», 3 = «zufrieden», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»  
 BL: 1 = «zu feucht», 2 = «feucht», 3 = «angenehm», 4 = «trocken», 5 = «zu trocken»  
 BT: 1 = «zu kalt», 2 = «kalt», 3 = «angenehm», 4 = «warm», 5 = «zu warm»  
 GAU, GAN: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «häufig», 4 = «immer»  
 ZF: 0 = «nein», 1 = «eventuell», 2 = «ja».

	Bewertung Zugluft (BZ)	Zufriedenheit Luftqualität (ZL)	Bewertung Luftfeuchtigkeit (BL)	Bewertung Temperatur (BT)	Geräusche von aussen (GAU)	Geräusche Abluftanlage (GAN)	Zufriedenheit mit Fensterlüftern (ZF)	Zufriedenheit mit Wohnung (ZW)
$D$	4.00	5.00	3.00	3.00	2.00	0.00	2.00	5.00
$\bar{x}$	2.00	4.00	3.00	3.00	3.76	0.00	1.00	5.00
$\bar{x}$	2.05	3.93	3.83	2.79	2.00	0.60	1.31	4.55
$N$	210	205	213	215	195	230	249	211
$s$	1.59	1.15	0.95	1.19	1.61	1.096	0.738	0.84
$\tau_b$	-	0.171**	-	-	0.235**	-0.213**	-	-0.120*

Betreffend der Zugluft haben die beiden Gebäudetypen SD ( $\bar{x} = 0.25$ ,  $N = 8$ ) und GS ( $\bar{x} = 0.62$ ,  $N = 13$ ) den niedrigsten = besten Mittelwert (Wärmeabgabe Heizkörper). Dies könnte an den Falzlüftern (siehe Kapitel 3.4) liegen. Den höchsten Mittelwert haben die Gebäude ZH\_1\_4 ( $\bar{x} = 3.14$ ,  $N = 7$ ), ZH\_1\_2 ( $\bar{x} = 3.00$ ,  $N = 20$ ) und ZH\_1\_5 ( $\bar{x} = 3.00$ ,  $N = 14$ ).

Bei der Bewertung der Luftqualität hat der Gebäudotyp SD den schlechtesten Wert ( $\bar{x} = 3.13$ ,  $N = 8$ ). Dies deutet darauf hin, dass durch die Falzlüfter wenig Luft eintritt (also keine Zugluft entsteht). Den besten Wert weist der Gebäudotyp DT\_3 auf ( $\bar{x} = 4.8$ ,  $N = 5$ ), der insgesamt auch eine eher schlechte Bewertung beim Thema Zugluft aufweist ( $\bar{x} = 2.75$ ,  $N = 4$ ). Insgesamt tritt eine sehr schwache, aber hochsignifikante Korrelation zwischen beiden Parametern auf.

Das Gebäude mit den höchsten berichteten Raumtemperaturen ist das Gebäude ZH\_1\_3 ( $\bar{x} = 3.90$ ,  $N = 20$ ). Die Gebäude mit den tiefsten Raumtemperaturen sind die Gebäude ZH\_1\_4 ( $\bar{x} = 2.00$ ,  $N = 4$ ) und ZH\_1\_2 ( $\bar{x} = 2.13$ ,  $N = 23$ ). ZH\_1\_4 ist auch das Gebäude mit den stärksten Zuglufterscheinungen. Im wärmsten und im kältesten Gebäude (ZH\_1\_3 und ZH\_1\_4) gibt es eine Fussbodenheizung als Wärmeabgabe.

Insgesamt wird eher über trockene Luft und nicht über zu feuchte Luft berichtet. Die Gebäude mit der trockensten Luft sind ZH\_1\_3 ( $\bar{x} = 4.25$ ,  $N = 16$ ), das zugleich auch das wärmste Gebäude ist, ZH\_1\_5 ( $\bar{x} = 4.14$ ,  $N = 14$ ) und ZH\_1\_6 ( $\bar{x} = 4.12$ ,  $N = 16$ ). Alle genannten Gebäude weisen eine Fussbodenheizung auf. Das Gebäude mit der angenehmsten Raumluftfeuchte ist der Gebäudotyp SD ( $\bar{x} = 3.25$ ,  $N = 8$ ). Die gleichzeitig festgestellte eher schlechte Luftqualität und die geringen Zuglufterscheinungen untermauern den Verdacht eines sehr geringen Luftwechsels in diesem Gebäudotyp. Über Schimmel wird hier von zwei Nutzern berichtet.

Störende Geräusche von aussen treten am stärksten im Gebäude ZH\_1\_4 ( $\bar{x} = 2.89$ ,  $N = 9$ ) auf. Das Gebäude liegt an einer Stichstrasse, die eigentlich befahrene Strasse wird durch ein angrenzendes Gebäude abgeschirmt. Es ist möglich, dass mit Lärm andere Geräusche gemeint sind, oder der Umgebungslärm insgesamt gross ist. Am ruhigsten ist der Gebäudotyp ZH\_5 ( $\bar{x} = 0.72$ ,  $N = 18$ ). Hier ist zwar auch eine Strasse in der Nähe, diese scheint aber wenig befahren zu sein, oder die Bewohner nicht zu stören. Insgesamt tritt eine schwache, hochsignifikante Korrelation zwischen Gebäudotyp, also der Lage, und störenden Geräuschen von aussen auf. Geräusche von der Anlage werden am störendsten in den Gebäudetypen GS ( $\bar{x} = 2.25$ ,  $N = 13$ ) und SD ( $\bar{x} = 1.62$ ,  $N = 8$ ) wahrgenommen. Die Abluftanlage ist permanent in Betrieb. Entweder ist hier die Anlagentechnik nicht optimal eingestellt, der Ventilator ist laut oder es entstehen störende Strömungsgeräusche (alle Bewohner haben die Fensterlüfter nicht verändert oder voll geöffnet). Auch hier besteht eine schwache, aber hochsignifikante Korrelation zwischen dem Gebäudotyp und störenden Geräuschen von der Anlage.

Am unzufriedensten mit den Fensterlüftern sind die Bewohner von ZH\_1\_5 ( $\bar{x} = 0.83$ ,  $N = 18$ ) und ZH\_1\_4 ( $\bar{x} = 1.00$ ,  $N = 8$ ). Dies sind die Gebäude, die bei der Zugluft, tiefen Raumtemperaturen und trockener Luft negativ auffallen. Sehr zufrieden sind die Bewohner von den Gebäudetypen BB ( $\bar{x} = 1.71$ ,  $N = 14$ ) ZH\_3 ( $\bar{x} = 1.67$ ,  $N = 6$ ) und ZH\_5 ( $\bar{x} = 1.67$ ,  $N = 18$ ).

Die Zufriedenheit mit der Wohnung ist insgesamt eher hoch. Am unzufriedensten mit der Wohnung selber sind die Bewohner von ZH\_1\_5 ( $\bar{x} = 3.73$ ,  $N = 11$ ), am zufriedensten sind die Bewohner vom Gebäudotyp WT ( $\bar{x} = 4.83$ ,  $N = 6$ , mit eher grosszügig ausgestatteten Wohnungen) und ZH\_1\_8 ( $\bar{x} = 4.81$ ,  $N = 21$ ). Es besteht eine sehr schwache, signifikante Korrelation zwischen dem Gebäudotyp und der Zufriedenheit mit der Wohnung.

#### 4. Zusammenfassung und Diskussion

Mit dieser Befragung liegen Antworten von 270 Nutzern aus 28 Gebäuden vor, die mit Fensterlüftern und einer Abluftanlage ausgestattet sind. Der Fragebogen bezieht sich auf den Winter und umfasst Fragen zu wohnungsbezogenen Merkmalen, zum Informationsfluss, zu Zufriedenheitsparametern, zum Lüftungsverhalten im Winter sowie zum thermischen Komfort, der Innenraumluftqualität und dem akustischen Komfort.

Die meisten Nutzer lüften tagsüber zwischen 2 und 10 Minuten. Weniger Nutzer öffnen tagsüber zwischen 6 und 20 Minuten das Fenster. In beiden Gruppen haben nur wenige Nutzer das Schlafzimmerfenster nachts geöffnet.

Verglichen mit *Messwerten* aus der Literatur erscheinen diese Zahlen sehr tief. In [11] beträgt der Mittelwert für die Fensteröffnungsdauer aus 10 untersuchten Wohnungen mit Abluftelementen 15 % des Tages (= 3.6 h). In [12] sind in 5 Wohnungen (nur mit Fensterlüftung) die Fenster im Mittel pro Tag 14 % geöffnet (3.4 h). Die am häufigsten geöffneten Fenster sind hier das Badfenster und dann das Schlafzimmerfenster (Kommentar: von den untersuchten Gebäudetypen haben nur drei ein Badezimmer/WC mit Fenster). In [13] werden diverse Untersuchungen zusammengefasst. In Gebäuden ohne Lüftungsanlage wird im Mittel pro Tag zwischen 1.7 und 14.9 h und in Gebäuden mit Lüftungsanlage zwischen 0.2 und 9.4 h gelüftet.

Der Vergleich mit anderen *Befragungen* zeigt von der Tendenz her ähnlichere Ergebnisse. Dies gilt z. B. für eine Arbeit [14], in der Bewohner aus 3 Siedlungen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen befragt wurden. Danach lüften die meisten Bewohner mit Lüftungsanlage 1 x täglich und die Bewohner nur mit Fensterlüftung 2 x täglich. In [15] wird für eine Stichprobe von 1'000 Befragten in der Schweiz aufgezeigt, dass rund die Hälfte von ihnen maximal 1 mal am Tag lüftet.

Insgesamt berichten rund 8 % der Befragten über Schimmel. In dieser Gruppe tritt der Schimmel bei 95 % im Bad auf. Dies deckt sich mit [2], wo in einer Abschätzung davon ausgegangen wird, dass in rund 10 % der Haushalte ein (problematischer) Schimmelpilzbefall besteht.

Rund 60 % der Befragten spüren «manchmal» oder «immer» Zugluft in der Nähe der Fensterlüfter. Rund 30 % haben keine Beschwerden. Die Luft in den Wohnungen ist für 47 % «eher trocken» oder «zu trocken». Über die Hälfte der Nutzer bewerten die Luftfeuchtigkeit als angenehm. Rund 26 % der Befragten empfinden die Raumtemperatur als «kalt» oder «zu kalt». Demgegenüber stehen 16 %, denen es «warm» oder «zu warm» ist. Diese Gruppe kann mit der Bewertung der Raumtemperatur aus [15] verglichen werden. Hier wurde allerdings danach gefragt, wie oft es den Bewohnern im Winter zu kalt ist. Vergleicht man die Gruppe, die «nie» friert (18 %) mit der Gruppe der vorliegenden Befragung, die über hohe Raumtemperaturen klagt, so sind die Werte vergleichbar.

Mit der Raumluftqualität sind mehr als die Hälfte «etwas zufrieden» oder «zufrieden». Geräusche von aussen werden von rund 60 % «manchmal» oder «immer» als Störung wahrgenommen. Störende Geräusche von der Anlage werden von rund 70 % der Nutzer «nie» wahrgenommen. Knapp die Hälfte der Befragten würde nochmals in eine Wohnung mit Fensterlüftern und Abluftanlage ziehen, ist also mit dem System zufrieden.

Rund 80 % der Befragten sind mit der Wohnung «zufrieden» oder «sehr zufrieden». Dies ist mit den Ergebnissen aus [15] vergleichbar. Hier wurde nach der Zufriedenheit mit der Wohnung (inkl. Wohnumfeld) gefragt, wobei hier 87 % «zufrieden» oder «extrem zufrieden» sind.

Alle eben besprochenen Zufriedenheitsparameter weisen mit Ausnahme der Luftqualität keine statistisch signifikanten Zusammenhänge mit dem Nutzerverhalten auf. Bei der Luftqualität besteht eine statistisch signifikante, aber sehr schwache Korrelationen zwischen intensiverer Fensterlüftung und der (wahrgenommenen) Luftqualität.

Ein weiteres Anliegen bei der Auswertung der Befragung ist es, Hinweise zur Gebäudeplanung zu gewinnen. Bei der Frage, ob es einen Unterschied zwischen den Nutzern mit einer permanent und jenen mit einer intermittierend laufenden Abluftanlage gibt, kann nur im Bereich der störenden Geräusche durch die Lüftungsanlage eine signifikante, aber schwache Korrelation zur Betriebsweise der Anlage festgestellt werden: hier werden bei intermittierend betriebenen Anlagen die Geräusche als störender wahrgenommen. Zwischen den übrigen Komfort- und Zufriedenheitsparametern sowie der Betriebsweise der Anlage kann kein Zusammenhang festgestellt werden.

Was die Ausstattung und Art der Fensterlüfter angeht, so kann aus der Befragung abgeleitet werden, dass Falzlüfter vom thermischen Komfort her etwas besser sind als Fensterlüfter oberhalb des Fensters, da weniger Zugerscheinungen auftreten. Leider kann nicht überprüft werden, ob dieses Ergebnis auch dann zutrifft, wenn die Wohnungen mit einer Fussbodenheizung ausgestattet wären, da beide untersuchten Gebäudetypen mit Falzlüftern über Radiatoren verfügen. Ob die Fensterlüfter mit Filtern ausgestattet oder verstellbar sind, hat keinen signifikanten Einfluss auf die Komfort- und Zufriedenheitsparameter. Eine Analyse der Zahlen zeigt aber, dass verstellbare Fensterlüfter durch die Nutzer nicht abgeklebt werden, was ein Argument für verstellbare Fensterlüfter ist.

Eine Wärmeverteilung über Heizkörper ist im Zusammenhang mit Fensterlüftern vorteilhafter als über Flächenheizungen, da über weniger Zugerscheinungen berichtet wird. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Fachliteratur.

Ein Zusammenhang zwischen Zugluft und der Gebäudehöhe kann nicht festgestellt werden. Dies deckt sich auch mit dem Ergebnis, dass hier kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Gebäudetyp (z. B: Hochhäuser) und Zugluft gefunden werden kann.

Knapp 30 % der Nutzer haben eine Nutzerinformation zum Lüftungskonzept und zum «richtigen Lüften» erhalten. Knapp ein Drittel erhielt teilweise Informationen. Eine Nutzerinformation bewirkt nach den Befragungsergebnissen zu urteilen eine geringfügige Anpassung des Nutzerverhaltens beim Lüften (die Fenster stehen tagsüber seltener länger als 30 Minuten offen). Auf die Zufriedenheit der Nutzer wirkt sich die Information nicht aus. Unabhängig davon vertreten die Autoren die Meinung, dass eine Nutzerinformation erfolgen sollte.

Einen Zusammenhang zwischen Gebäudetyp und Komfortparametern kann im Bereich der Luftqualität, den Geräuschen von der Anlage und von aussen und bei der Zufriedenheit mit der Wohnung festgestellt werden. Kein statistisch signifikanter Zusammenhang wird bei der Temperaturbewertung, der Zugluft, der Luftfeuchtigkeit sowie der Zufriedenheit mit den Fensterlüftern festgestellt.

## 5. Ausblick

Im Winter 2018/19 werden in 8 Wohnungen Kurzzeitmessungen (1 Tag) und in den gleichen Wohnungen Langzeitmessungen (6 Monate) durchgeführt. Bei den Kurzzeitmessungen werden die Volumenströme (Zu- und Abluft), die Gebäudedichtheit, der Unterdruck in der Wohnung, und die Stromaufnahme der Ventilatoren gemessen. Bei den Langzeitmessungen werden CO<sub>2</sub>, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit im Wohnzimmer und im Schlafzimmer sowie die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit im Badezimmer gemessen. Es wird interessant sein, die Befragungsergebnisse im Zusammenhang mit den Messergebnissen ergänzend zu analysieren.

## Dank

Die Finanzierung des Projektes erfolgt über das Bundesamt für Energie (BFE, Vertragsnummer SI/501630-01), die Stadt Zürich (Amt für Hochbauten) und die Conférence Romande des Délégués à L'énergie. Der Dank geht an die Gebäudenutzer, die an der Befragung teilgenommen haben und an die Gebäudebesitzer und Gebäudeverwaltungen, die einer Teilnahme am Forschungsprojekt zugestimmt haben: Baugenossenschaft Familie (Horw), Baugenossenschaft mehr als wohnen (Zürich), Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk 1 (Zürich), Coordinator Verwaltungs-AG (Winterthur), Frau B. Reich-Rutz, Siedlungsgenossenschaft Eigengrund (Schlieren), Swisscanto Invest by Zürcher Kantonalbank, wogeno Aargau (Ennetbaden), Wogeno Genossenschaft selbstverwalteter Häuser (Zürich). Weiter bedanken wir uns bei den Architekten und Gebäudetechnikern, die uns Planungsinformationen zur Verfügung gestellt haben.

## Formeln und Abkürzungen

$N$	Anzahl Beobachtungen	$\tilde{x} = X_{\frac{N-1}{2}+1}$	Median (ungerade Anzahl geordneter Werte).
$\tau_b$	Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b	$D$	Modus
$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N X_i$	Mittelwert	$s = \sqrt{S^2}$	Standardabweichung
$\tilde{x} = \frac{1}{2} \cdot \left( X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1} \right)$	Median (gerade Anzahl geordneter Werte)	$S^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$	Varianz (= Stichprobenvarianz)

## Literatur

[1] W. Ott, M. Jakob, M. Baur, Y. Kaufmann, and A. Ott, "Mobilisierung der energetischen

- Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand,” BFE, Bern, 2005.
- [2] T. Hartmann, D. Reichel, and W. Richter, “Schimmelpilzbedingter Mindestluftwechsel - Ergebnisse einer Studie zur Raumluftqualität,” *Bauphysik*, vol. 24, no. 1, pp. 41–44, 2002.
- [3] H. Huber, *Komfortlüftung in Wohngebäuden - Systeme, Konzepte, Umsetzung*, 1st ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2016.
- [4] C. Hoffmann, A. Geissler, and H. Huber, “Fensterlüfter in der Gebäudesanierung,” *Bauphysik*, vol. 37, no. 3, pp. 169–178, 2015.
- [5] K. Völkl and C. Korb, *Deskriptive Statistik - Eine Einführung für Politikwissenschaftlerinnen und Politikwissenschaftler*, 1st ed. Heidelberg: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Springer VS), 2018.
- [6] F. Brosius, *SPSS - Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse*, 8th ed. Frechen: mitp Verlags GmbH & Co. KG, 2018.
- [7] C. Hoffmann, “Nicht-visuell wirksame Beleuchtungen - Messtechnischer und qualitativer Vergleich von fünf Lichtlösungen,” *LICHT*, no. 11–12, pp. 81–89, 2016.
- [8] ift Rosenheim, *Fensterlüfter, Teil 2: Empfehlungen für die Umsetzung von Lüftungstechnischen Massnahmen im Wohnungsbau*. Rosenheim, 2010, pp. 1–24.
- [9] D. Reichel, *Zur Zuluftsicherung von nahezu fugendichten Gebäuden mittels dezentraler Lüftungseinrichtungen - Dissertation*. Dresden: Technische Universität Dresden, 1999.
- [10] V. Dorer and A. Pfeiffer, “Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL), Schlussbericht,” EMPA, Dübendorf, 2002.
- [11] T. Osterhage, D. Cali, R. Streblow, and D. Müller, “Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichungen zwischen Energiebedarf und Verbrauch - ist nur der Nutzer schuld?,” *Bauphysik*, vol. 37, no. 2, pp. 100–104, 2015.
- [12] O. Kah, S. Peper, W. Ebel, B. Kaufmann, W. Feist, and B. Zeno, “Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung - Endbericht IEA SHC Task 37 Subtask C,” Passivhaus Institut, Darmstadt, 2010.
- [13] H. Künzel, *Wohnungslüftung und Raumklima*, 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [14] W. Hässig, A. Primas, D. Gerber, H. Huber, T. Weber, and C. Hauri, “Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern,” Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Zürich, 2005.
- [15] B. Wegener and M. Fedkenheuer, “Gutes Wohnen in der Schweiz - Erhebung und Auswertung zu Komfort, Umwelt und Energie in Wohngebäuden,” Velux schweiz AG, Trimbach, 2017.