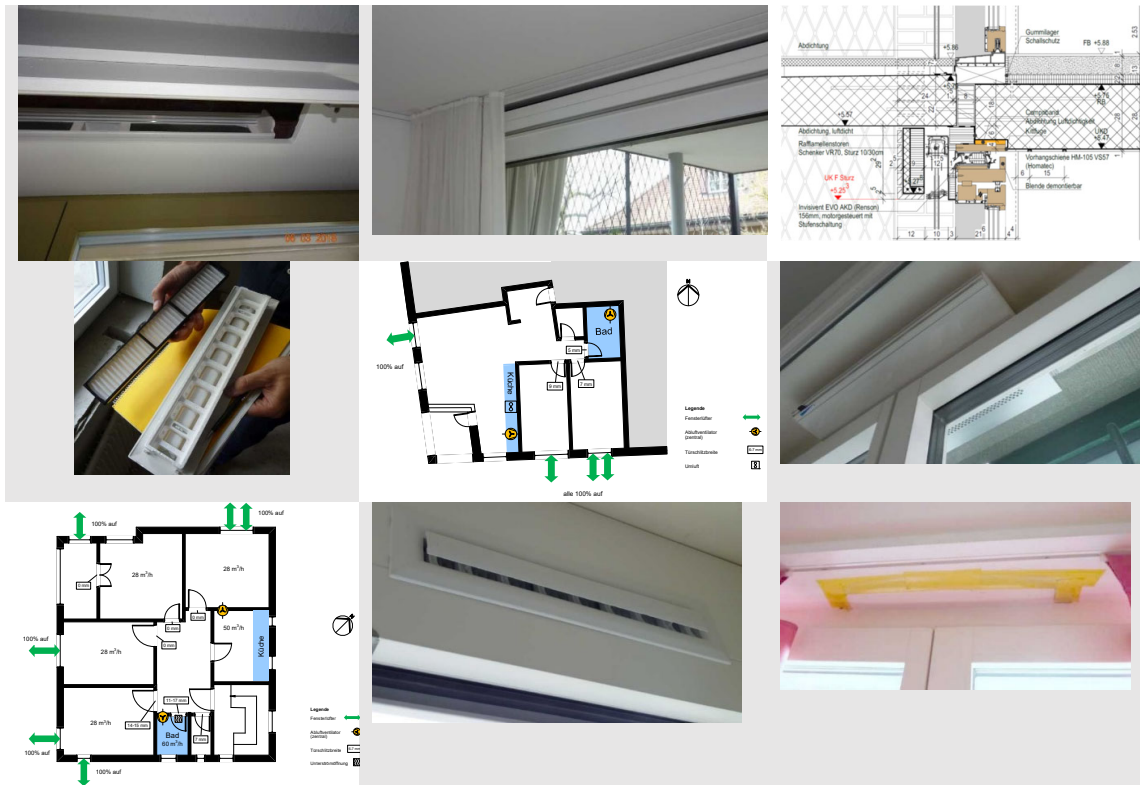




Schlussbericht Januar 2021

FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich?





Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
**HOCHSCHULE
LUZERN**

Datum: 04. März 2021

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Gebäude
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch
energieforschung@bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

Stadt Zürich (Amt für Hochbauten)
CH-8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch/hochbau

Conférence Romande des Délégués à L'énergie
CH-1205 Genf
www.energie-environnement.ch

Auftragnehmer/in:

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW / Institut Energie am Bau
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch

Hochschule Luzern / Institut für Gebäudetechnik und Energie
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autor/in:

Caroline Hoffmann, IEBau, FHNW, Caroline.Hoffmann@fhnw.ch
Achim Geissler, IEBau, FHNW, achim.geissler@fhnw.ch
Claudia Hauri, IGE, HSLU, claudia.hauri@hslu.ch
Heinrich Huber, IGE, HSLU, heinrich.huber@hslu.ch
Alex Primas, IGE, HSLU, Alex.primas@hslu.ch
Sven Niederberger, IGE, HSLU, sven.niederberger@hslu.ch
Jasin Jasari, IGE, HSLU, jasin.jasari@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung:	Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung:	Rolf Moser, moser@enerconom.ch
BFE-Vertragsnummer:	SI/501630-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Der Einbau von Fensterlüftern (als passive Lüftungselemente, die in das Fenster integriert sind oder im direkten Zusammenhang mit dem Fenster stehen) zusammen mit einer permanenten oder zeitgesteuerten Lüftung über Abluftventilatoren in Küche und Bad kann eine nutzerunabhängige Grundlüftung sicherstellen. Soll diese Grundlüftung nur den Feuchteschutz (Vermeidung von Schimmel) sicherstellen, so sind die erforderlichen Luftmengen kleiner, als wenn der hygienische Luftwechsel angestrebt wird. Der Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Schimmelfreiheit. Ziel ist es herauszufinden, wie sich Fensterlüfter in Wohngebäuden in der Praxis bewähren. Insgesamt werden vier neu errichtete und acht sanierte Gebäudetypen (28 Gebäude) mittels Gebäudebegehungen, einer Bewohnerbefragung und Messungen in acht Wohnungen untersucht.

Die Befragung wird im Winter 2017/18 durchgeführt und beinhaltet unter anderem das Lüftungsverhalten, den thermischen und akustischen Komfort, die Luftqualität und die Nutzerzufriedenheit mit den Fensterlüftern. Die 270 Antworten gestatten vorsichtige Rückschlüsse für zukünftige Lüftungskonzepte. Beispielsweise wird festgestellt, dass die Betriebsweise des Ventilators (permanent oder intermittierend) die Nutzerzufriedenheit nicht beeinflusst. In Gebäuden mit einer Wärmeverteilung über Radiatoren wird weniger oft über Zugluft, die durch die Fensterlüfter verursacht wird, berichtet als in Gebäuden mit Fussbodenheizung. Rund acht Prozent der Befragten berichten über Schimmel in der Wohnung. Knapp die Hälfte der Befragten würde nochmals in eine Wohnung mit dem selben Lüftungssystem ziehen.

Die Messungen im Winter 2018/19 sind zweistufig: Kurzzeitmessungen in den Wohnungen fokussieren auf den Zu- und Abluftvolumenstrom, die Gebäudedichtheit und die Differenzdrücke gegen aussen. Langzeitmessungen umfassen CO₂-Konzentration, Lufttemperatur und relative Feuchte innen und aussen und das Betriebsverhalten der Abluftventilatoren. Die Planungsunterlagen und die Messungen lassen darauf schliessen, dass über den Feuchteschutzluftwechsel hinaus auch der hygienische Luftwechsel abgedeckt werden soll. In sechs von acht Wohnungen deckt der gemessene Zuluftvolumenstrom jedoch nur 35 bis 79 % der Empfehlung von SIA 2023 ab. In zwei Wohnungen treten Überschreitungen auf (34 – 38 %). Bezogen auf die tatsächlich in der Wohnung lebenden Personen treten in drei Wohnungen Unterschreitungen auf. Insgesamt werden pro Wohnung Werte zwischen 38 (± 6) und 166 (± 7) m³/h gemessen. In Schlafzimmern treten Werte zwischen 8 (± 4) und 58 (± 3) m³/h auf. Die CO₂-Messungen zeigen, dass das Mittel in den Wohnzimmern zwischen 590 und 1'530 ppm und in den Schlafzimmern zwischen 650 und 3'440 ppm ($\pm 68 - 155$) liegt. In sechs Wohnungen werden damit die Anforderungen nach FprSIA 382/5 an die Luftqualität erfüllt («Anstreben» RAL Klasse 3). Die Abluftventilatoren werden gemäss dem jeweiligen Lüftungskonzept betrieben. Die Luftdichtheit der gemessenen Wohnungen liegt zwischen q_{a50}-Werten von 0.5 und 1.3 m³/(h m²) (± 10 %) und ist damit gut.

Fensterlüfter können ein sinnvoller Bestandteil des Lüftungskonzeptes sein. Die Voraussetzungen dafür sind, dass definiert wird, welchen Teil des Luftwechsels (Feuchteschutz- und / oder hygienischer Luftwechsel) die Fensterlüfter übernehmen sollen und dass eine gründliche Planung der gewünschten Volumenströme erfolgt. Im Betrieb muss beachtet werden, dass über die Fenster Stosslüften und keine Dauerlüftung anzustreben ist. Fensterlüfter sind ein Teil der technischen Gebäudeausrüstung und müssen gewartet werden (Filterwechsel, Reinigung).



Résumé

L'intégration d'aérateurs de fenêtres (éléments de ventilation passive intégrés à la fenêtre ou en relation directe avec elle) permet une ventilation de base indépendante du comportement de l'utilisateur, si combinée avec une ventilation permanente ou sur minuterie de l'air usé issu de la cuisine et des salles de bains. Si cette ventilation de base ne sert qu'à prévenir l'humidité (pour éviter toutes moisissures), les quantités d'air requises sont plus modérées que dans le cas d'un taux de renouvellement hygiénique de l'air. Le présent travail de recherche met le focus sur l'absence de moisissures. Le but recherché est la compréhension du comportement des aérateurs de fenêtres pour bâtiments d'habitation en pratique. Quatre types de bâtiments nouvellement construits et huit types de bâtiments assainis (28 objets) sont étudiés au moyen de visites sur place, de sondages effectués auprès des habitants et de mesures dans 8 appartements.

Le sondage a été mené au cours de l'hiver 2017/18 et comprend entre autres le comportement lié à la ventilation, la perception du confort thermique et acoustique, la qualité de l'air et la satisfaction des utilisateurs relative aux aérateurs. Les 270 réponses permettent de dégager des premières conclusions sur des futurs concepts de ventilation. Il a été constaté par exemple que le mode de fonctionnement des ventilateurs (permanent ou intermittent) n'influence en rien la satisfaction des utilisateurs. Dans les bâtiments disposant d'une distribution de chaleur par radiateurs, moins de courants d'air dus aux aérateurs sont signalés que dans les bâtiments équipés d'un système de chauffage au sol. Environ 8% des personnes interrogées signalent la présence de moisissures dans leur appartement. Juste la moitié d'entre elles serait prête à emménager à nouveau dans un appartement équipé du même système de ventilation.

Les mesures de l'hiver 2018/19 sont divisées en deux étapes : des mesures à court terme dans les appartements mettent l'accent sur les débits d'air neuf et vicié, l'étanchéité du bâtiment et la différence de pression par rapport à l'extérieur. Des mesures à long terme comprennent la concentration en CO₂, la température de l'air ainsi que l'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur, et le fonctionnement des ventilateurs d'extraction. Les documents de planification et les mesures indiquent que non seulement l'échange d'air destiné à prévenir l'humidité est désirable, mais que de surcroît le renouvellement hygiénique de l'air doit être assuré. Dans six des huit appartements, le débit d'air neuf mesuré assure seulement 35 à 79% de la recommandation selon SIA 2023. Dans deux appartements, elle est dépassée (34-38%). En se rapportant aux personnes habitant vraiment dans les appartements, des déficits ont pu être constatés dans trois appartements. En résumé les valeurs mesurées se situent selon l'appartement entre 38 (± 6) et 166 (± 7) m³/h. Au niveau de la chambre à coucher, les valeurs mesurées se répartissent entre 8 (± 4) et 58 (± 3) m³/h. Les mesures de CO₂ montrent une moyenne située entre 590 et 1'530 dans les salles de séjour et entre 650 et 3'440 ppm dans les chambres à coucher (± 68 - 155). Dans six appartements, les exigences de qualité de l'air selon FprSIA 382/5 sont ainsi respectées ("visant" la classe RAL 3). Les ventilateurs d'extraction fonctionnent comme décrit dans le concept de ventilation. L'étanchéité à l'air des appartements mesurés varie pour des valeurs q_{a50} allant de 0,5 à 1,3 m³/(h m²) (±10 %), ce qui est donc bien.

Les aérateurs de fenêtres peuvent jouer un rôle intéressant dans les concepts de ventilation. Il est nécessaire pour cela de définir quelle part du renouvellement d'air (protection contre l'humidité et/ou renouvellement d'air hygiénique) les aérateurs doivent assurer, et de procéder à une planification soigneuse des débits d'air souhaités. Pendant le fonctionnement, il faut s'assurer que les fenêtres sont utilisées pour la ventilation par à-coups et non pour la ventilation continue. Les aérateurs de fenêtre font partie de l'équipement technique du bâtiment et doivent être entretenus correctement (changement de filtre, nettoyage).

Note: Un résumé détaillé en français se trouve au chapitre 12



Summary

The integration of passive window ventilation openings (PWVO, small air inlets integrated in the window frame) with additional exhaust fans in the kitchen and bathroom(s) can ensure a user-independent basic air change rate in dwellings. Usually, the necessary air change rate for mould prevention is smaller than the hygienic air change rate. The project reported on herein is focused on mould prevention and it aims at the question how well buildings with PWVO work in real life. Altogether, four newly built and eight refurbished building types (28 buildings) are investigated by site visits, a survey among the inhabitants of the buildings and measurements in eight flats.

The survey is conducted in the winter 2017/18 and addresses user ventilation behavior, thermal and acoustic comfort, IAQ, user satisfaction and more. The 270 answers to the survey allow tentative inferences for future ventilation concepts. For instance, it is found that the operation mode of the fan (permanent or intermittent) does not affect the user acceptance. In dwellings heated with radiators, air draught caused by PWVO is reported less frequently than in dwellings with a floor heating. About eight percent of the sample report the incidence of mould in the flat. Almost half of the respondents would move into a flat with an identical ventilation system again.

The measurements in the winter 2018/19 are twofold: short-term measurements with a focus on the volume flow rates (supply and exhaust air), the airtightness of the flats and the relative pressures in the flats. Long-term measurements comprise CO₂ concentration, interior and exterior air temperature and humidity and operation modes of the extract fans. Both the building documentation and the measurement results suggest that the design intention was to cover the hygienic air change rate as well as air change rate for mould prevention. In six out of eight flats the measured outdoor air flow rate covers only 35 to 79 % of the amount recommended by SIA 2023, however. In two flats the recommended values are exceeded (34 – 38 %). Taking the number of people actually living in the flat as a reference the values are below target in three flats. The measured outdoor air flow rate per flat lies between 38 (± 6) und 166 (± 7) m³/h. In the main bedroom, values between 8 (± 4) and 58 (± 3) m³/h are measured. CO₂ measurements show that in the living rooms the mean value is between 690 and 1'530 ppm and in the sleeping rooms the mean value is between 650 and 3'440 ppm ($\pm 68 - 155$). In six out of eight flats the requirements according to FprSIA 382/5 regarding the air quality are fulfilled (aim at RAL class 3). The exhaust fans operate according to the ventilation concepts (permanent or intermittent). The airtightness of the flats measured varies between q_{a50}-values of 0.5 and 1.3 m³/(h m²) (± 10 %) and is good.

PWVO can be an integral part of the ventilation concept. Provided that it is defined which part of the air change (mould control and / or hygienic air change) the PWVO should supply and that a systematic planning of the desired volume flow rates is carried out. Additional ventilation by opening windows should be based on an intermittent opening schedule, not on continuously opened windows. PWVO are part of the technical building equipment and should be regularly maintained (change of filters, cleaning).

Seite absichtlich frei



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé.....	4
Summary	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	10
1 Ausführliche Zusammenfassung	11
1.1 Einführung	11
1.2 Methodik	12
1.2.1 Gebäudebegehungen	12
1.2.2 Bewohnerbefragung.....	13
1.2.3 Messungen	13
1.3 Ergebnisse	13
1.3.1 Gebäudebegehungen	13
1.3.2 Bewohnerbefragung.....	14
1.3.3 Messungen	16
1.3.4 Vergleich zwischen Gebäudebegehungen, Messungen und Nutzerbefragung.....	20
1.3.5 Sind Fensterlüfter zu empfehlen?.....	20
2 Ausgangslage.....	22
2.1 Hintergrund	22
2.2 Projekt.....	23
3 Vorgehen	26
3.1 Gebäudeauswahl	26
3.2 Auswertung des Planungskonzeptes	26
3.3 Gebäudebegehungen	26
3.4 Nutzerbefragungen	26
3.4.1 Durchführung Nutzerbefragungen.....	26
3.4.2 Aufbau des Fragebogens und statistische Methoden zur Auswertung	26
3.5 Messungen und Messgebäude	28
3.5.1 Eingesetzte Messtechnik.....	29
3.5.2 Vorgehen bei Messung	31
3.6 Auswertung Messungen.....	34
3.6.1 Normenbezug	34
3.6.2 Bewertung Abluft- und Aussenluftvolumenströme	34
3.6.3 Dimensionierung von Türspalten.....	36
3.6.4 Blower-Door Messungen.....	37
3.6.5 Thermische Behaglichkeit und CO ₂ -Gehalt der Luft	38



4	Resultate Auswertung Planungskonzept und Gebäudebegehung	42
4.1	Gebäudetechnik und Lüftungskonzept	42
4.2	Fensterlüfter	43
4.3	Auslegung Fensterlüfter	45
4.4	Türspalte	45
5	Resultate Nutzerbefragung	45
5.1	Rücklauf und Datenbereinigung	45
5.2	Soziodemografische Merkmale (12 Gebäudetypen).....	46
5.3	Fragestellungen zum Nutzerverhalten (11 Gebäudetypen)	46
5.4	Fragestellungen aus der Gebäudeplanung	49
5.4.1	Planung Lüftungssystem (12 Gebäudetypen)	49
5.4.2	Typ und Zusatzausstattungen Fensterlüfter (11 Gebäudetypen).....	51
5.4.3	Sonstige Planungsfragen (11 Gebäudetypen).....	52
5.5	Lohnt sich eine Nutzerinformation? (11 Gebäudetypen)	53
5.6	Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Gebäudetyp und Nutzerunzufriedenheit? (11 Gebäudetypen)	54
5.7	Befragungsergebnisse der Messgebäude.....	56
5.8	Zusammenfassung und Diskussion Nutzerbefragung	57
6	Messungen	59
6.1	Resultate Kurzzeitmessungen.....	59
6.1.1	Übersicht Luftvolumenströme pro Wohnung	59
6.1.2	Differenzdruckmessungen.....	66
6.1.3	Blower-Door Messungen.....	66
6.1.4	Lokale thermische Behaglichkeitsmessung (Zugluft).....	68
6.1.5	Zusammenfassung Kurzzeitmessungen	69
6.2	Resultate Langzeitmessungen	71
6.2.1	Messung Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	71
6.2.2	Übersicht Temperaturverteilung	73
6.2.3	Übersicht relative Raumluftfeuchte.....	75
6.2.4	Übersicht CO ₂ - Werte.....	78
6.2.5	Qualitative Betrachtung Betriebsverhalten Abluftventilator	80
6.2.6	Zusammenfassung Langzeitmessungen	81
6.3	Experimentelle Auswertungen.....	82
6.3.1	Rechnerischer Zusammenhang Innen- und Aussentemperatur (alle Wohnungen)	82
6.3.2	Rechnerischer Zusammenhang zwischen dem CO ₂ -Gehalt und der relativen Feuchte (alle Wohnungen)	83
6.3.3	Visueller Zusammenhang zwischen CO ₂ -Gehalt, Lufttemperatur und relative Feuchte (BB:b (R) und DT_3:a (P)).....	84
6.3.4	Zusammenfassung experimentelle Auswertungen	90
7	Vergleich zwischen Gebäudebegehungen, Messungen und Nutzerbefragung	91



8	Planungshinweise aus dem Projekt	93
8.1	Um was geht es?	93
8.2	Normative Hinweise zur Auslegung.....	93
8.3	Planungshinweise	94
8.3.1	Art und Ausstattung der Fensterlüfter.....	94
8.3.2	Abluftanlage und Wärmeabgabe	95
8.3.3	Luftdichtheit.....	95
8.3.4	Planung und Einregulierung	95
8.4	Hinweise für den Betrieb	96
9	Dank	96
10	Publikationen.....	96
11	Referenzen.....	98
12	Résumé détaillé.....	100
12.1	Introduction	100
12.2	Méthodologie	101
12.2.1	Visites de bâtiments	101
12.2.2	Sondage auprès des habitants.....	102
12.2.3	Mesures	102
12.3	Résultats	102
12.3.1	Visites de bâtiments	102
12.3.2	Sondage auprès des habitants.....	103
12.3.3	Mesures	105
12.3.4	Comparaison des visites, mesures et sondages	109
12.3.5	Est-ce que les aérateurs de fenêtres sont recommandables?	110
13	Anhänge.....	112
13.1	Dokumentation Lüftungskonzept und Fensterlüfter	112
13.1.1	ZH_1_1 bis ZH_1_9	112
13.1.2	WT	114
13.1.3	ZH_2	116
13.1.4	ZH_3	118
13.1.5	ZH_4	119
13.1.6	GS.....	121
13.1.7	SD.....	123
13.1.8	ZH_5	125
13.1.9	BB	126
13.1.10	DT_1	127
13.1.11	DT_2	128
13.1.12	DT_3	129
13.1.13	HO	131



13.2	Dokumentation Messungen.....	133
13.2.1	Eingesetzte Messgeräte.....	133
13.2.2	Volumenstrommessungen.....	139
13.2.3	CO ₂ , Temperatur und relative Feuchte.....	141
13.3	Nutzerbefragung	149



Abkürzungsverzeichnis

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



1 Ausführliche Zusammenfassung

1.1 Einführung

Die Lüftung von Gebäuden erfüllt zwei Grundzwecke: Zum einen dient sie der Aufrechterhaltung der Luftqualität und damit der Hygiene und zum anderen der Gewährleistung der Bauschadensfreiheit. Hauptfokus dieser Forschungsarbeit ist die Bauschadensfreiheit.

Bei der energetischen Gebäudeerneuerung werden oftmals nur die Fenster ausgetauscht. Wird keine mechanische Lüftungsanlage eingebaut, die einen definierten Luftaustausch gewährleistet, können mit dichteren Fenstern Feuchtigkeitsprobleme entstehen. Abhilfe ist u. a. mit dem Einbau von Fensterlüftern möglich. Dies 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. Um eine nutzerunabhängige Grundlüftung zu gewährleisten werden Fensterlüfter auch zunehmend in Neubauten eingesetzt. Die vorliegende Forschungsarbeit berücksichtigt daher neben Bestandsgebäuden auch Neubauten (siehe Tabelle 1).

Dabei werden insgesamt 13 Wohngebäudetypen mit eingebauten passiven Fensterlüftern untersucht. Davon sind vier Gebäude Neubauten und acht Gebäude sanierte Mehrfamilienhäuser. Ein Gebäude besteht aus sanierten und neu erstellten Gebäudeteilen. Bei den Sanierungen handelt es sich bei sechs Gebäuden um eine Totalsanierung (Austausch Fenster und Dämmung der Aussenwand). Bei zwei Gebäuden wurden nur die Fenster ausgetauscht. Die Lüftungskonzepte aller Gebäude basieren auf einer Kombination von Fensterlüftern und einer zeitgesteuerten Bedarfs- oder permanenten Grundlüftung über Abluftventilatoren in Küche und Bad. Bei fünf Gebäuden nutzt der Verdampfer einer Wärmepumpe die Wärme aus der Abluft, um so die Energieeffizienz des Systems zu verbessern.

Ziel der Forschungsarbeit ist es herauszufinden, wie sich eingebaute Fensterlüfter in der Praxis bewähren. Das Projekt umfasst in einer ersten Phase die Auswertung des Planungskonzeptes, Gebäudebegehungen und Bewohnerbefragungen. In einer zweiten Phase werden in vier Gebäuden jeweils in zwei Wohnungen Messungen vorgenommen (in Tabelle 1 mit einem * gekennzeichnet).



Tabelle 1: Untersuchte Gebäudetypen

Verwendete Abkürzungen: MFH = Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, N = Neubau, T = Totalsanierung, F = Fensterersatz, Whg. = Wohnung, A = Aufsatzelement, B = Blendrahmen, FeLü = Fensterlüfter, ALD = Aussenluftdurchlasselement, i = integriert, (*) = Messgebäude

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

1.2 Methodik

1.2.1 Gebäudebegehungen

Die Gebäudebegehungen finden zwischen dem 26.02. und dem 26.03.2018 statt und umfassen zwei bis drei Wohnungen pro Gebäudetyp. Während der Begehung werden das Lüftungssystem und die Anzahl und Position der Fensterlüfter mit der Planung verglichen. Weiter wird überprüft, ob die Fensterlüfter manipuliert, zum Beispiel abgeklebt, wurden und ob es in der Wohnung Schimmel gibt. Die so untersuchten Wohnungen sind nicht zwingend mit den Wohnungen identisch, in denen gemessen wird.



1.2.2 Bewohnerbefragung

Die Fragebögen werden während der Gebäudebegehung verteilt und können in einem Zeitfenster von vier Wochen anonym retourniert werden. Die Daten wurden im Zeitraum vom 26.02. bis zum 24.05.2018 erhoben. Der Fragebogen bezieht sich auf den Winter und enthält 19 Fragen zu wohnungsbezogenen Merkmalen, zum Informationsfluss, zu Zufriedenheitsparametern, zum Lüftungsverhalten im Winter sowie zum thermischen Komfort, der Innenraumluftqualität und dem akustischen Komfort. Wird eine Bewertung erbeten, so wird im Fragebogen eine Skala mit fünf Merkmalsausprägungen (Likert-Skala) angeboten. Korrelationen (Kendall-Tau-b, τ_b) werden wie folgt bewertet: > 0 bis $0.2 =$ «sehr schwache Korrelation», > 0.2 bis $0.4 =$ «schwache Korrelation». Die Signifikanz ist mit einem * (= signifikant) für das 5 %-Niveau und mit ** (= hochsignifikant) für das 1 %-Niveau gekennzeichnet.

Weitere Informationen → Kapitel 3.4.

1.2.3 Messungen

In vier Gebäudetypen werden in jeweils zwei Wohnungen Kurz- und Langzeitmessungen durchgeführt. Die Kurzzeitmessungen konzentrieren sich auf die Luftvolumenströme, die Luftdichtheit (Fokus auf Wohnung, keine Messung der Nachbarwohnung) und die durch den Abluftventilator erzeugten Differenzdrücke. Das Zugluftrisiko wird gemessen, aber nicht bewertet (siehe 1.3.3). Die Kurzzeitmessungen werden in jeder Wohnung für etwa acht Stunden in der Zeit vom 19.10. bis zum 20.11.2018 durchgeführt. Die Langzeitmessungen mit einem Zeitschritt von 15 Minuten umfassen den CO₂-Gehalt der Luft, die Lufttemperatur und die relative Feuchte innen und aussen, sowie die Betriebsweise des Abluftventilators. Die Messdaten werden vom Oktober/November 2018 bis April / Mai 2019 erhoben. Die Messergebnisse werden mit der Messunsicherheit, die vom Hersteller angegeben wird, ausgewiesen. Damit wird die Messunsicherheit eher unterschätzt.

Weitere Informationen → Kapitel 3.5.

Zum Zeitpunkt der Planung der Gebäude sind SIA 2023:2009, SIA 382:2014 und SIA 180:2014 die gültigen Normen. Ein Teil der Auswertung der Messergebnisse bezieht sich auf diese Normen. Da aber manche Themen von diesen Normen nicht abgedeckt werden und auch Hinweise für zukünftige Planungen gegeben werden, wird auch FprSIA 382/5:2019-12 herangezogen. Pro Person wird tagsüber ein notwendiger Aussenluftvolumenstrom von 30 m³/h, nachts einer von 15 m³/h angenommen. Als Grenze für eine behagliche Raumlufttemperatur während der Heizperiode wird gemäss SIA 180 der Bereich zwischen 20.5 und 25.0°C (hier gilt die Raumlufttemperatur) und für die relative Feuchte der Bereich zwischen 30 und 70 % verwendet. Der CO₂-Gehalt der Raumluft wird mittels Klassen für die Raumluftqualität gemäss SIA 382/1 und FprSIA 382/5 bewertet. Gemäss SIA 382/1 beschreibt die RAL-Klasse 2 «Raumluft mittlerer Qualität» (CO₂-Konzentration < 1000 ppm), die RAL-Klasse 3 «Raumluft mässiger Qualität» (CO₂-Konzentrationen 1000 bis 1400 ppm). Ohne besondere Vereinbarung ist gemäss FprSIA 382/5 für Wohngebäude RAL-Klasse 3 anzustreben.

Weitere Informationen → Kapitel 3.6.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Gebäudebegehungen

Die Überprüfung der Filter während der Begehungen zeigt, dass die Filter in den Fensterlüftern selten gewechselt werden. Dies legt nahe, dass sich die Nutzer selber nicht der Tatsache bewusst sind, dass technische Gebäudeelemente eines regelmässigen Unterhalts bedürfen. Eine regelmässige Wartung wird dann durchgeführt, wenn der Hausmeister damit beauftragt ist, wie dies in einigen grösseren



Gebäuden von Wohngenossenschaften der Fall ist. Schimmel wird in einem Gebäudetyp im Bad (DT_3) entdeckt.

Weitere Informationen → Kapitel 4.

1.3.2 Bewohnerbefragung

Von insgesamt 570 verteilten Fragebögen werden 270 zurückgeschickt. Im Mittel beträgt der Rücklauf 42 %. Die nachfolgenden zwei Abschnitte fassen die zentralen Ergebnisse kurz zusammen und behandeln einige Aspekte des technischen Gebäudekonzeptes anhand der Befragung.

Wesentliche Ergebnisse

Die meisten Nutzer geben an tagsüber zwischen 2 und 10 Minuten (45 %, $N = 107$, gesamte Lüftungszeit) zu lüften (Abbildung 1). Weniger Nutzer öffnen tagsüber zwischen 6 und 20 Minuten das Fenster (15 %, $N = 36$, gesamte Lüftungszeit). Rund 60 % der Befragten spüren «manchmal» oder «immer» Zugluft in der Nähe der Fensterlüfter. Rund 30 % äussern keine Beschwerden ($\bar{x} = 2.0$ (2 = «manchmal», 3 = «häufig»), $s = 1.6$, $N = 212$).

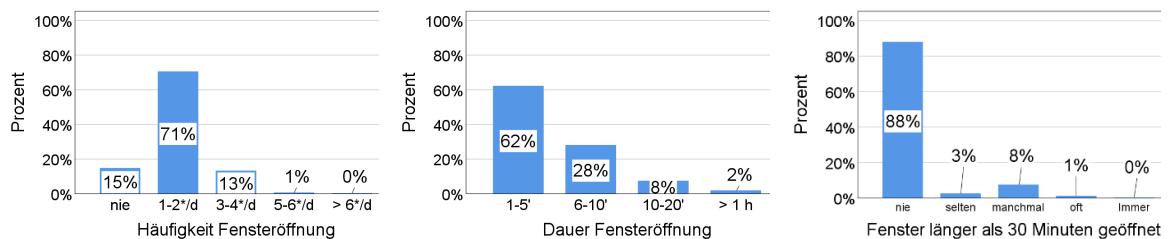


Abbildung 1: Nutzerverhalten bezüglich Fensterlüftung

Rund 26 % der Befragten empfinden die Raumtemperatur als «kalt» oder «zu kalt». Demgegenüber stehen 16 %, denen es «warm» oder «zu warm» ist ($\bar{x} = 2.8$ (2 = «kalt», 3 = «angenehm»), $s = 1.2$, $N = 126$ aus 217). Die Luft in den Wohnungen ist für 47 % «eher trocken» oder «zu trocken». Die trockene Luft könnte zusätzlich durch das Nutzerverhalten bedingt sein, da die Gruppe, die über trockene Luft klagt, etwas länger lüftet. Über die Hälfte der Nutzer bewerten die Luftfeuchtigkeit als angenehm ($\bar{x} = 3.8$ (3 = «angenehm», 4 = «trocken»), $s = 0.95$, $N = 114$ aus 215).

Mit der Raumluftqualität sind mehr als die Hälfte «etwas zufrieden» oder «zufrieden» ($\bar{x} = 3.9$ (3 = «mittelmässig», 4 = «eher zufrieden»), $s = 1.2$, $N = 115$ aus 207). Insgesamt berichten rund 8 % der Befragten über Schimmel ($N = 21$ von 263). In dieser Gruppe tritt der Schimmel bei 95 % im Bad auf. Der Schimmel tritt in neu erbauten und sanierten Gebäudetypen auf.

Geräusche von aussen werden von rund 60 % «manchmal» oder «immer» als Störung erlebt. Störende Geräusche von der Anlage werden von rund 70 % der Nutzer «nie» wahrgenommen ($\bar{x} = 0.60$ (0 = «nie», 1 = «selten»), $s = 1.1$, $N = 232$). Knapp die Hälfte der Befragten würde nochmals in eine Wohnung mit Fensterlüftern und Abluftanlage ziehen, ist also mit dem System zufrieden ($\bar{x} = 1.0$, $D = 2$ (1 = «eventuell», 2 = «ja»), $N = 251$, Abbildung 2).

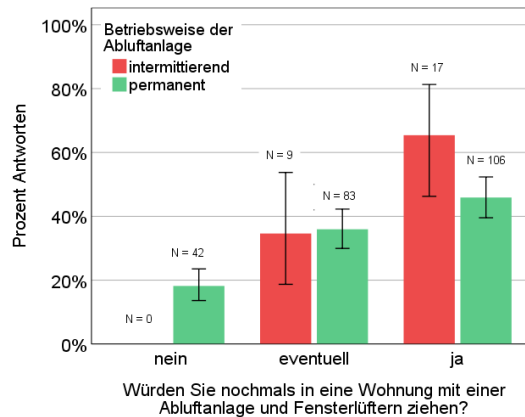


Abbildung 2: Zufriedenheit mit Fensterlüftern in Abhängigkeit vom Betriebsmodus der Abluftanlage, Angabe Fehlerbalken auf 95 %-Niveau.

Technische Gebäudekonzepte mit Fensterlüftern

Eine Frage, die sich beim technischen Gebäudekonzept stellt, ist die Betriebsweise des Abluftventilators. Die Befragten werden in zwei Gruppen unterteilt: eine mit permanent und die andere mit intermittierend betriebem Abluftventilator. Der Vergleich zeigt kaum Unterschiede in den beiden Gruppen in Bezug auf den thermischen Komfort, die Raumluftqualität und der Zufriedenheit mit den Fensterlüftern. Es kann jedoch eine sehr schwache, aber hochsignifikante Korrelation zwischen der Betriebsweise des Abluftventilators und dem Geräuschpegel festgestellt werden. Dies legt nahe, dass ein intermittierend betriebener Abluftventilator zu mehr störenden Geräuschen führt (intermittierend / permanent laufender Abluftventilator und störende Geräusche: $\tau_b = -0.187^{**}$).

Andere Themen sind Typ und (Zusatz) Ausstattung der Fensterlüfter. Bezüglich der Art der Fensterlüfter bestätigt sich die Annahme, dass Falzlüfter (zusammen mit Radiatoren) im Vergleich zu Fensterlüftern oberhalb des Fensters weniger Zugerscheinungen hervorrufen (Abbildung 3, Fensterlüfter oberhalb Fenster: $\bar{x} = 2.2$ (0 = nie, 1 = selten, 2 = manchmal), $N = 191$; Falzlüfter: $\bar{x} = 0.48$, $N = 21$, $\tau_b = -0.371^{**}$). Diese Aussage bleibt auch dann bestehen, wenn Falzlüfter und Fensterlüfter oberhalb des Fensters nur im Zusammenhang mit Radiatoren verglichen werden (beim vorherigen Vergleich waren auch Gebäude mit Fussbodenheizungen enthalten): 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: $\bar{x} = 2.0$, $N = 35$; Falzlüfter: $\bar{x} = 0.48$, $N = 21$; Interpretationshilfe: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», $\tau_b = -0.301^{**}$). Für Gebäude mit Fussbodenheizungen kann ein Vergleich zwischen Fensterlüftertypen in Bezug auf Zugerscheinungen nicht gemacht werden, da die untersuchten Gebäudetypen mit Falzlüftern alle mit Radiatoren ausgestattet sind. In Kombination mit Fensterlüftern treten mit einer Wärmeverteilung über Radiatoren weniger Zugerscheinungen auf, als bei Fussbodenheizungen (Abbildung 4, Zugluft mit a) Radiatoren: $\bar{x} = 1.5$, $N = 56$ und b) Fussbodenheizung: $\bar{x} = 2.3$ (1 = nie, 2 = selten, 3 = manchmal), $N = 156$; $\tau_b = -0.207^{**}$).

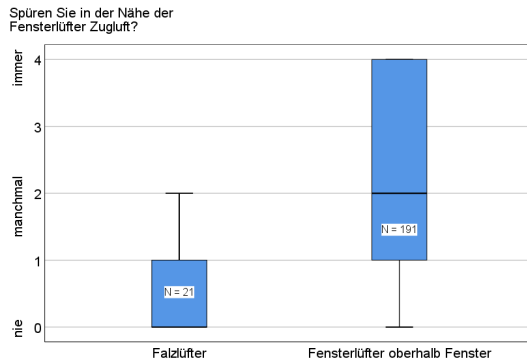


Abbildung 3: Boxplot Zufriedenheit mit Zugluft in Abhängigkeit von der Position des Fensterlüfters.

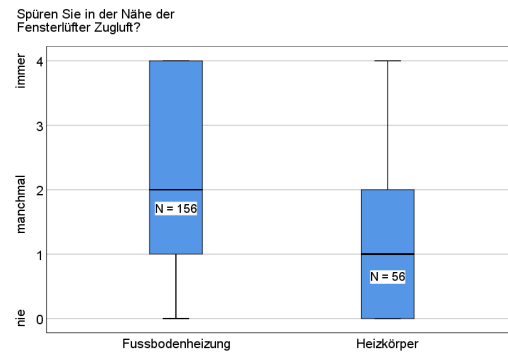


Abbildung 4: Bewertung von Zugluft in Abhängigkeit von der Wärmeverteilung

Interpretationshilfe Boxplot: Die 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

Ob die Fensterlüfter Filter haben oder durch die Nutzer verstellbar sind, hat keinen signifikanten Einfluss auf die Bewertung des thermischen Komforts, der Luftqualität oder der Zufriedenheit mit den Fensterlüftern. Allerdings kann gezeigt werden, dass verstellbare Fensterlüfter von den (unzufriedenen) Nutzern nicht abgeklebt werden (nicht verstellbar / verstellbare Fensterlüfter $N = 216 / 35$, abgeklebt nicht verstellbar / verstellbare Fensterlüfter, $N = 19 / 0$). Eine Nutzerinformation hilft dabei, längeres Lüften tagsüber zu vermeiden.

Weitere Informationen → Kapitel 5.

1.3.3 Messungen

Kurzzeitmessungen

Wegen hoher Aussentemperaturen an den geplanten Daten für die Messungen ist die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussentemperatur nicht hoch genug, um aus der Auswertung für das Zugluftrisiko sinnvolle Rückschlüsse zu ziehen.

Die Gebäudedichtheit (q_{a50}) liegt im Bereich zwischen 0.5 (BB) und $1.3 \pm 10 \text{ \% m}^3/(\text{h m}^2)$ (ZH_3, Abbildung 5). Der Median liegt bei $0.7 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. FprSIA 382/5 fordert für Gebäude mit einfachen Abluftanlagen die Einhaltung des Zielwertes gemäss SIA 180:2014 vor. Alle Gebäude unterschreiten den Grenzwert von $1.6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, vier von acht Gebäuden erfüllen (rückwirkend) die Zielwertvorgabe von $0.6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Der Gebäudetyp mit der höchsten (BB) und der mit der niedrigsten Dichtheit (ZH_3) ist jeweils ein Neubau. Die meisten Leckagen treten im Bereich der Fenster und im Einbaubereich der Fensterlüfter auf.

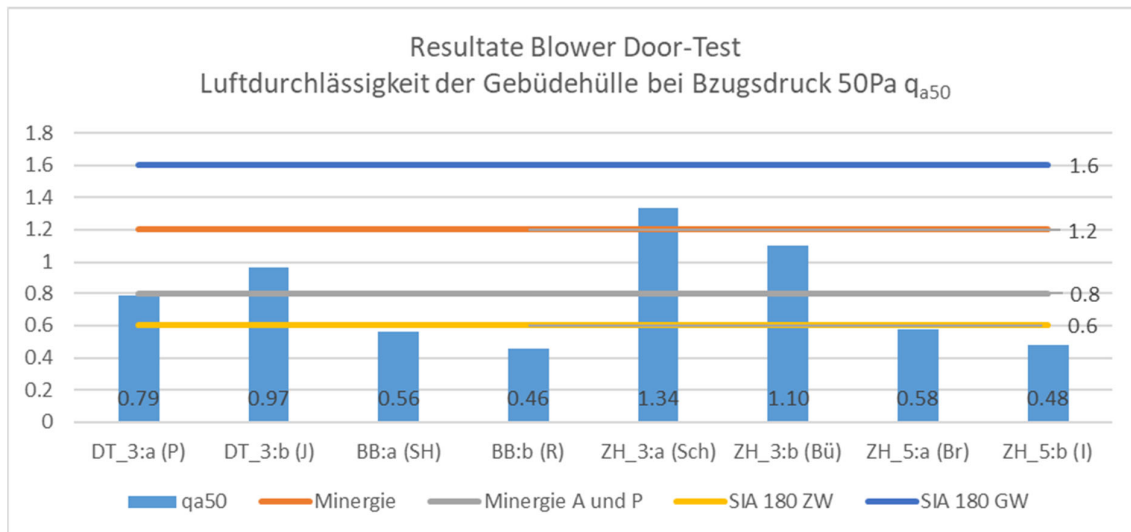


Abbildung 5: Übersicht Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei Bezugsdruck 50 Pa q_{50} .

In Tabelle 2 werden die gemessenen mit den geplanten Luftvolumenströmen verglichen. Die Messungen werden unter verschiedenen Aussenbedingungen und den daraus resultierenden Druckunterschieden durchgeführt. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen wider. Aufgrund von ungünstigen Windverhältnissen können in einer Wohnung (ZH_5:b) keine Messungen durchgeführt werden. Mit geschlossenen Zimmertüren beträgt der Volumenstrom zwischen 38 (± 6) und 166 (± 7) m^3/h . Dies entspricht pro in der Wohnung lebenden Personen einem Volumenstrom zwischen 8 und 62 m^3/h ($\pm 5\%$). Legt man tagsüber einen empfohlenen Aussenluftvolumenstrom von 30 m^3/h zugrunde, so ist der Bedarf nur in vier Wohnungen gedeckt (Gebäudetyp BB, ZH_5:a und ZH_3:a). In drei Wohnungen (Gebäudetyp DT_3 und ZH_3:b) kann das Soll nicht erfüllt werden. Bezieht man den gemessenen Volumenstrom auf die einzelnen Fensterlüfter, so wird deutlich, dass sich die Werte zwischen den einzelnen Produkten wesentlich unterscheiden. Im Gebäudetyp ZH_3 und ZH_5 liegt der Volumenstrom zwischen 8 und 20 m^3/h ($\pm 4 m^3$), in den Gebäudetypen BB und DT_3 erreicht der Volumenstrom Werte bis zu 30 m^3/h ($\pm 2 m^3$).

Beim rechnerischen Vergleich zwischen dem theoretisch möglichen Aussenluftvolumenstrom über die Fensterlüfter (gewählte Vergleichsbasis: 4 Pa Unterdruck) wird deutlich, dass im Auslegungsfall in keiner Wohnung der nach Norm geforderte Volumenstrom erreicht werden kann (Werte in Kapitel 6.1). Es ist daher davon auszugehen, dass schon bei der Auslegung mit tieferen Volumenströmen oder höheren Unterdrücken gerechnet wurde. Vergleicht man die Differenzen von Zu- und Abluftvolumenströmen, geht daraus hervor, dass bei drei Wohnungen (Gebäudetyp ZH_3 und ZH_5) der Zu- und Abluftvolumenstrom fast gleich sind und damit der Abluftüberschuss kleiner 30% ist. Bei der Wohnungen BB und DT_3:a überschreiten die Abluftüberschüsse die 30% bei weiten, daraus resultieren auch deutlich höhere Unterdrücke (Überschreitung 100 – 200 %). Die Messung der Luftvolumenströme mit offenen und geschlossenen Zimmertüren innerhalb der Wohnungen kann keinen Zusammenhang zwischen dem Unterschied der Luftmengen bei geschlossenen und geöffneten Türen und der Grösse des Türspaltes bestätigen.

Weitere Informationen → Kapitel 6.1.



Tabelle 2: Vergleich Volumenströme pro Fensterlüfter (Herstellerangaben und Messung) und pro Wohnung. Verwendete Abkürzungen:
a = Wohnung 1, b = Wohnung 2, Zul = Zuluft, Abl = Abluft

	DT_3	BB	ZH_3	ZH_5
Fensterlüfter	Helios ALEF 45	Aerex AL-dB-450-40r	Sonoslot –P475, Renson	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2
Vom Hersteller deklarierte Volumenströme pro Fensterlüfter (m³/h)	@ 2 Pa: 12 @ 4 Pa: 18 @ 8 Pa: 28 @10 Pa: 34	@ 4 Pa: 14.0 @ 8 Pa: 20.0 @10 Pa: 22.0	@ 2 Pa: 8.3 @ 4 Pa: 11.8 @ 8 Pa: 17.0 @10 Pa: 19.2	@ 5 Pa: 25
Gemessener Volumenstrom (m³/h) pro Fensterlüfter	8 (± 4 m³) - 28 m³/h (± 2 m³)	18 (± 4 m³) - 30 m³/h (± 2 m³)	8 (± 4 m³) - 20 m³/h (± 4 m³)	9 (± 4 m³) - 18 m³/h (± 4 m³)
Volumenstrom (m³/h) gem. SIA 2023*	a: Zul 120 a: Abl 156 b: Zul 120 b: Abl 156	a: Zul 60 a: Abl 78 b: Zul 120* b: Abl 156*	a: Zul 60 a: Abl 78 b: Zul 90 b: Abl 117	a: Zul 60 a: Abl 78 b: Zul 150 b: Abl 195
Gemessener Volumenstrom (m³/h)	a: 72 (± 6) @ 9 Pa b: 42 (± 8) @ 2 (± 0.15) Pa	a: 107 (± 4) @ 17 (± 0.17) Pa b: 166 (± 7) @ 11 (± 0.15) Pa	a: 62 (± 7) @ 5 (± 0.15) Pa b: 68 (± 10) @ 3 (± 0.15) Pa	a: 38 (± 6) @ 3-4 (± 0.15) Pa b: n. a.

*Der Abluftvolumenstrom wird wie folgt berechnet: ABL = 1.3 x ZUL.

Langzeitmessungen

In den meisten Wohnungen liegt die Raumlufttemperatur in dem von SIA 180 geforderten Bereich von 20.5 bis 25.0 °C für die Raumtemperatur. Die Lufttemperatur und die operative Temperatur können jedoch nur dann verglichen werden, wenn die mittlere Strahlungstemperatur und die Lufttemperatur sehr ähnlich sind. Üblicherweise ist dies in gut gedämmten Gebäuden der Fall. Aus den Messergebnissen lässt sich daher ableiten, dass die Temperatur in einem akzeptablen Rahmen liegt. Der Mittelwert $\bar{x}$ für alle Räume (separat ermittelt) und die gesamte Periode liegt zwischen 20.5 und 24.5 °C ($\bar{x}$: 20.2 – 24.6 (± 0.1 °C)). Welcher Raum die höchste Temperatur aufweist unterscheidet sich von Wohnung zu Wohnung. In drei Wohnungen ist es das Wohnzimmer (min - max $\bar{x}$ = 21.9 – 23.8; $\bar{x}$ = 21.9 – 24.0, (± 0.1 °C)), in vier Wohnungen ist es das Bad (Bereich von $\bar{x}$ = 21.6 – 24.5; $\bar{x}$ = 21.6 – 24.6, (± 0.1 °C)) und in einer Wohnung ist das Schlafzimmer der wärmste Raum (Bereich von $\bar{x}$ = 20.5 – 23.4; $\bar{x}$ = 20.2 – 23.5, (± 0.1 °C)).

Auch die relative Feuchte entspricht den Anforderungen von SIA 180 (zwischen 30 % und 70 % relative Feuchte). In den Wohnzimmern liegt der Mittelwert $\bar{x}$ zwischen 31 und 45 % ($\bar{x}$: 30 - 46 % (± 2 %)). In den Schlafzimmern liegt $\bar{x}$ zwischen 34 und 49 % ($\bar{x}$: 32 – 49 (± 2 %)). Wenig überraschend ist, dass in allen Wohnungen die höchsten Mittelwerte mit 36 und 77 % ($\bar{x}$: 35 – 82 % (± 2 %)) im Bad auftreten. Der höchste Mittelwert wird im Bad der Wohnung DT_3:b (J) gemessen. Der tiefste Mittelwert findet sich in einem Wohnzimmer (ZH_3:a (Sch)).

Die Mittelwerte der gemessenen CO₂-Werte für die Wohnzimmer liegen zwischen $\bar{x}$ 590 und 1530 ppm ($\bar{x}$: 560 – 1500 ppm (± 70 - 100 ppm)). Im Schlafzimmer liegt $\bar{x}$ zwischen 650 und 3440 ppm ($\bar{x}$: 660– 3550 ppm (± 70 - 160 ppm)). Die Einteilung der Raumluftqualität (IAQ) in Bezug auf den CO₂-Gehalt gemäss SIA 382/1:2014 [1] zeigt, dass eine mittlere IAQ (RAL 2) während knapp 60 % der Zeit in sechs Wohnungen erreicht wird. In einer Wohnung (ZH_3:b) ist die Raumluftqualität mässig bis niedrig (RAL 3 - 4) während ca. 60 % der Zeit und in einer Wohnung (DT_3:b) ist die IAQ niedrig (RAL



4) während über 80 % der Zeit. Da gemäss FprSIA 382/5:2019-12 RAL 3 anzustreben ist, liegen die CO₂-Werte in sechs der gemessenen Wohnungen über der Vorgabe (Abbildung 6).

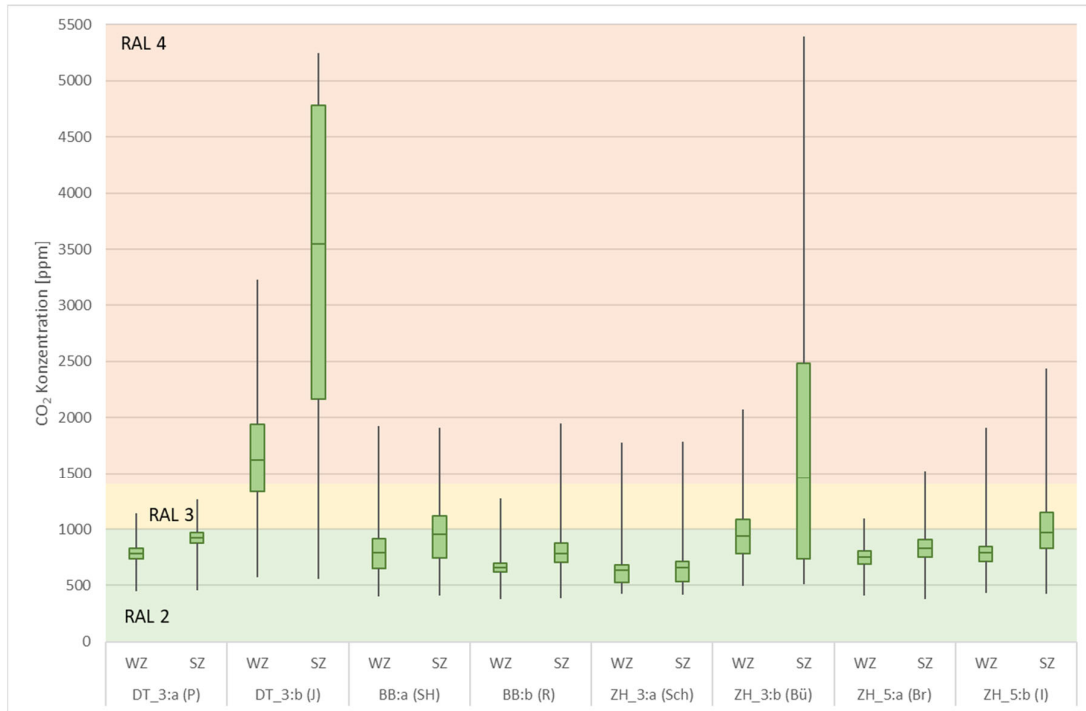


Abbildung 6: Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75 %). Farbcode: hellgrün = RAL 2 (Raumluft mittlere Qualität, bis 1'000 ppm); hellgelb = RAL 3 (Raumluft in mässiger Qualität, 1'000 bis 1'400 ppm); hellrot = RAL 4 (Raumluft in niedriger Luftqualität über 1'400 ppm).

Bei der qualitativen Betrachtung des Betriebsverhaltens des Abluftventilators geht es darum, die Informationen aus der Gebäudeplanung zu überprüfen. In drei Gebäudetypen gibt es einen permanent laufenden zentralen Abluftventilator (ZH_3, ZH_5 (in Bädern), DT_3 in Bad und Küche). Die Messungen bestätigen, dass die Abluftventilatoren immer laufen. Gebäudetyp BB weist einen Abluftventilator pro Wohnung auf, der entweder über den CO₂-Gehalt der Luft, den Lichtschalter im Bad oder einen weiteren Schalter angestellt werden kann. In der Wohnung BB:a ist der Abluftventilator (manuell oder über den CO₂-Sensor) öfters deaktiviert, in der Wohnung BB:b ist er nie abgeschaltet. Dies schlägt sich auch in den CO₂-Messungen nieder, bei denen die Wohnung BB:b fast immer in die RAL-Klasse 2 fällt, die Wohnung BB:a hingegen im Schlafzimmer während 40 % der Zeit in der RAL-Klasse 3 liegt.

Weitere Informationen → Kapitel 6.2.

Experimentelle Auswertungen

Um aus den Messdaten Rückschlüsse auf das Lüftungsverhalten der Bewohner zu ziehen, wird die Korrelation der Aussen- und der Innentemperatur untersucht. Die aufzeigbaren Zusammenhänge sind aber insgesamt zu wenig konsistent, um Schlussfolgerungen zu erlauben. Mit einer visuellen Auswertung der Zeitverläufe von Temperatur, relativer Feuchte und CO₂ hinsichtlich des Lüftungsverhaltens, können einzelne, längere Fensteröffnungszeiten erkannt werden. Diese treten aber sehr selten und nicht in allen Wohnungen auf. Gründe dafür könnten das Aufzeichnungsintervall von 15 Minuten sein, das kurze Lüftungsereignisse nicht erfasst sowie die im Messzeitraum eher moderaten Aussentemperaturen, welche die Wohnungen nicht zu stark auskühlen lassen, sodass



keine auffällig tiefen Temperaturen gemessen werden. Ein konsistenter rechnerischer Zusammenhang zwischen CO₂-Gehalt und der relativen Feuchte könnte im Idealfall eine CO₂-Messung ersetzen. Leider lassen die Werte keinen Rückschluss auf einen permanenten Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und CO₂-Gehalt zu.

Weitere Informationen → Kapitel 6.3.

1.3.4 Vergleich zwischen Gebäudebegehungen, Messungen und Nutzerbefragung

Die Befragung ergibt, dass nur wenige Nutzer, nämlich 8 %, das Fenster tagsüber zwischen 10 - 20 Minuten geöffnet haben (90 % der Nutzer haben das Fenster kürzer geöffnet). Über die Messdaten können kurze Stosslüftungen nicht erfasst werden. Die visuelle Analyse der Messdaten zeigt, dass längere Lüftungsereignisse nicht oder nur sehr selten zu finden sind. Das reale und das selbstberichtete Verhalten scheint bezüglich längerer Fensteröffnungszeiten zu stimmen.

Die Ergebnisse aus der Befragung und die Messergebnisse betreffend der Raumlufttemperatur sind nicht deckungsgleich. Gebäudetypen, deren Bewohner in der Befragung eher von wärmeren Raumtemperaturen berichten weisen in den Messergebnissen keine (leichte) Tendenz zu warmen Temperaturen auf.

Grundsätzlich wird die Raumluft von den Bewohnern eher als trocken wahrgenommen. Die trockene Luft könnte zusätzlich durch das Nutzerverhalten bedingt sein, da die Gruppe, die über trockene Luft klagt, etwas länger lüftet. Die Messwerte zeigen, dass die Werte eher im unteren Bereich des normativ üblichen Bereiches liegen. Ein detaillierterer Zusammenhang zwischen Befragung und Messung der relativen Feuchte ist nicht zwingend ableitbar: die unterschiedlichen Bewertungen zwischen den Gebäudetypen decken sich nicht mit den Messwerten.

In drei Gebäudetypen (BB, ZH_5, DT_3) wird in der Befragung über Schimmel (im Bad) berichtet, in DT_3 wird dieser auch bei der Begehung festgestellt. In diesem Gebäudetyp deckt sich dies mit den zu tiefen gemessenen Frischluftstraten.

In Gebäudetypen, in denen ein ausreichend grosser Luftvolumenstrom gemessen wird (BB, ZH_5:a und ZH_3:a), zeigt die Befragung, dass die Bewohner mit der Luftqualität etwas weniger zufrieden sind als der Gesamtdurchschnitt aller Befragten. Die beste Bewertung der Luftqualität tritt in dem Gebäudetyp auf, in dem die tiefsten Volumenströme gemessen wurden (DT_3). Da die Grösse und Belegung der Wohnungen variiert, könnte eine Annahme sein, dass die Frischluftzufuhr in den anderen (nicht messtechnisch untersuchten) Wohnungen ausreichend ist.

Die allgemeine Zufriedenheit mit den Fensterlüftern ist in drei der gemessenen Gebäudetypen höher als der Durchschnitt. Einzig im Gebäudetyp DT_3 ist sie tiefer.

Die Aufstellung zeigt, dass der Zusammenhang zwischen Befragung und Messung eher schwach ist. Es ist nicht bekannt, ob die Bewohner in deren Wohnungen Messungen durchgeführt werden, auch an der Befragung teilgenommen haben. Rückblickend ist dies für Nachfolgeprojekte zu empfehlen, wenn der Zusammenhang zwischen Nutzereindruck und Messergebnis im Fokus steht.

Weitere Informationen → Kapitel 7

1.3.5 Sind Fensterlüfter zu empfehlen?

Eine der Ausgangsfragen des Projektes war, ob Fensterlüfter einen nutzerunabhängigen Luftwechsel ermöglichen, um Schimmelbildung, speziell in der etappierten Sanierung, zu vermeiden. Die Luftmenge, die für den Bautenschutz benötigt wird, ist kleiner als der hygienische Luftwechsel für Personen. Von den 13 Gebäudetypen sind acht Gebäude totalsanierte Mehrfamilienhäuser. Bei zwei Gebäudetypen wurden nur die Fenster ausgetauscht. Die berichtete Häufigkeit von Schimmel in der



Befragung ist im Bereich von üblichen Wohngebäuden [2]. Schimmel tritt in Neubauten (drei Gebäudetypen und Gebäudetyp aus Neubau / Totalsanierung) und Sanierungen (vier Gebäudetypen und Gebäudetyp aus Neubau / Totalsanierung) auf. Dies legt die Vermutung nahe, dass der Einbau von Fensterlüftern nicht in jedem Fall Schimmel verhindert. Der Vergleich der Befragungsergebnisse mit der Literatur zeigt, dass die Bewohner im vorliegenden Projekt eher zurückhaltend lüften. Damit könnte argumentiert werden, dass die Schimmelproblematik ohne Fensterlüfter möglicherweise stärker wäre. Andererseits ist es auch möglich, dass die Bewohner aufgrund der Fensterlüfter ein zusätzliches Stosslüften als unnötig erachten.

Wie die Messungen zeigen, ist über Fensterlüfter der erforderliche Aussenluftwechsel pro Person nicht per se garantiert, auch wenn er in der Planung angestrebt wurde. Zur Gewährleistung der hygienischen Aspekte ist zusätzliches Stosslüften durch die Nutzer erforderlich.

Bei der Nutzerbefragung bezüglich der Komfortparameter sind zwei Aspekte zu unterstreichen. Erstens: Mehr als die Hälfte der Befragten nimmt Geräusche von aussen «manchmal» oder «immer» als Störung wahr. Daraus folgt, dass Fensterlüfter in Gebäuden, die in verkehrsbelasteten Gebieten stehen, nicht zu empfehlen sind (siehe dazu auch Kapitel 8). Zweitens: bezüglich der Zugluft werden Falzlüfter besser bewertet als Fensterlüfter oberhalb des Fensters. Dies kann zu einem kleineren Teil an der Wärmeverteilung liegen (im Projekt sind Falzlüfter nur im Kombination mit Radiatoren zu finden), grösstenteils wohl aber an den möglichen Luftmengen, die über die Fensterlüfter in den Raum gelangen können. Diese liegen bei Falzlüftern zwischen 2 – 6 m³/h (@ 2-10 Pa), bei den gemessenen Aufsatzelementen liegen diese zwischen 8.3 und 34 m³/h (@ 2-10 Pa). Für eine grosse Luftmenge müssen also je nach Planung möglicherweise Komforteinbussen in Kauf genommen werden.

Im Rahmen der Auslegung muss geklärt werden, ob die Fensterlüfter die Schimmelprävention (Feuchteschutzluftwechsel) oder den hygienischen Luftwechsel sicherstellen sollen. Soll nur der Bautenschutz gewährleistet werden, muss für den hygienisch erforderlichen Luftwechsel eine andere Lösung aufgezeigt werden (Stosslüftung etc.). Der erfolgreiche Einbau von Fensterlüftern erfordert eine gründliche Planung der gewünschten Volumenströme. Da diese Volumenströme auch von äusseren Gegebenheiten und wechselnden Druckunterschieden beeinflusst werden, ist das Vorsehen eines Sicherheitszuschlags zum Erreichen der Planungsziele zu empfehlen. Wenn der hygienische Grundluftwechsel das Ziel ist muss über eine Wärmerückgewinnung nachgedacht werden (Abluftwärmenutzung z. B. Wärmepumpe). In Abhängigkeit vom Anlagentyp und Lüftungskonzept wird dies bereits durch SIA 382/1 und die MuKE (z. B. Vollzugshilfe EN-105 zur MuKE 2014) vorgeschrieben. Weiter ist zu bedenken, dass Fensterlüfter Teil der technischen Gebäudeausrüstung sind und dementsprechend einer regelmässigen Wartung (Filterwechsel, Reinigung) bedürfen. Die Nutzer sollten über eine Information eingebunden werden, sodass ihnen bekannt ist, ob und wie zusätzlich gelüftet werden muss (z. B. Stosslüftung. Begründung: wenn ein Fenster permanent geöffnet ist, dann gelangt die Zuluft hauptsächlich über dieses eine Fenster in die Wohnung. Wegen der Druckverhältnisse gelangt in die übrigen Räume über die Fensterlüfter keine Frischluft).

Unter Berücksichtigung der Planungsempfehlungen in Kapitel 8 können Fensterlüfter ein sinnvoller Bestandteil des Lüftungskonzeptes sein.

Hinweis: Eine ausführliche Zusammenfassung auf Französisch befindet sich in Kapitel 12.

Note: Un résumé détaillé en français se trouve au chapitre 12.



2 Ausgangslage

2.1 Hintergrund

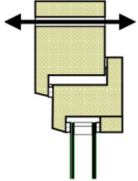
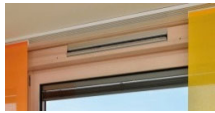
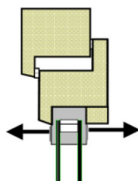
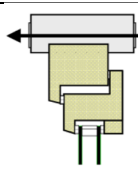
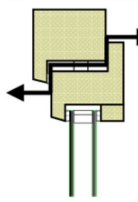
Die Lüftung von Gebäuden erfüllt zwei Grundzwecke: Zum einen dient sie der Aufrechterhaltung der Luftqualität und damit der Hygiene und zum anderen der Gewährleistung der Bauschadensfreiheit. Hauptfokus dieser Forschungsarbeit ist die Bauschadensfreiheit.

In der Schweiz erfolgen rund 70 % der Erneuerungen an Wohngebäuden in Etappen [3]. 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 (Tabelle 3).

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 Alternativen 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 [4] 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. Diese Überlegungen geben den Anlass dazu im Rahmen dieses Forschungsprojektes Wohngebäude mit eingebauten Fensterlüftern im Alltagsbetrieb zu untersuchen. Bei der Suche nach Messobjekten zeigte es sich, dass auch zunehmend bei Neubauten Fensterlüfter eingesetzt werden. Im Projekt werde daher auch Neubauten berücksichtigt.



Tabelle 3: Definitionen zum Begriff Fensterlüfter. Definitionen und Prinzipzeichnungen entnommen aus [2]

Begriff	Definition	Prinzip	Beispiel
Aufsatzelement	"Lüftungsgerät oder -element, welches direkt in den Blendrahmen und/oder den Flügelrahmen,		 Quelle: Renson
	und/oder oberhalb des Glasfalzes des Fensters integriert ist,		 Quelle: Siegenia Aubi
	oder welches direkt an den Blendrahmen des Fensters (seitlich, oben oder unten) montiert werden kann.		 Quelle: Schüco
Fensterfalzlüfter	Lüftungsgerät oder -element, welches im Fensterfalz integriert ist und/oder den Fensterfalz als Lüftungsweg nutzt."		 Quelle: REGEL-air
Aussenluftdurchlass element (kein Fensterlüfter)	Lüftungselement, welches in der Wand integriert ist.		

2.2 Projekt

In einem Vorgängerprojekt [5] 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 4). Die meisten Gebäude stehen im Kanton Zürich (Abbildung 7). 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. Bei ZH_2 ist eine etappierte Sanierung geplant.

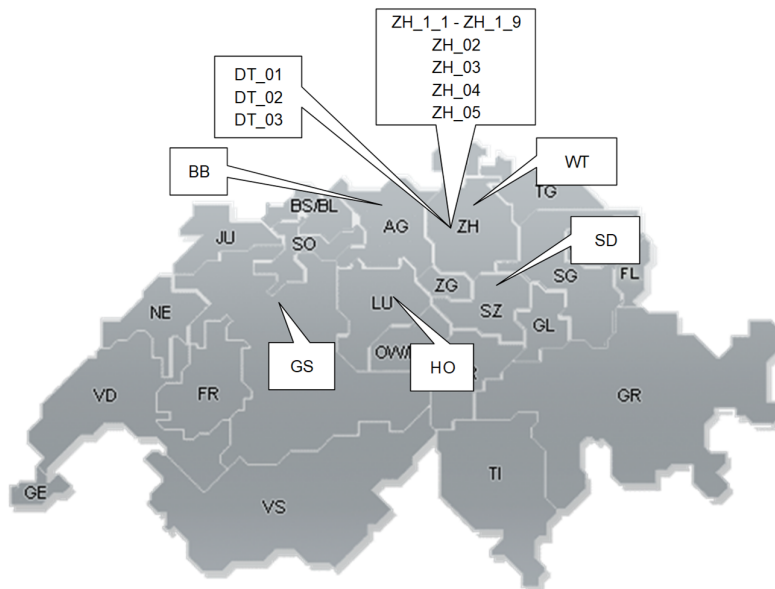


Abbildung 7 Standorte der Gebäudetypen

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, 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 Phase (1. Quartal 2018) die Auswertung des Planungskonzeptes, die Bewohnerbefragungen und die Begehungen der Gebäude. In einer zweiten Phase werden in vier Gebäuden jeweils in 2 Wohnungen Messungen vorgenommen (4. Quartal 2018 – 1. Quartal 2019). 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.



Tabelle 4: Untersuchte Gebäudetypen

Verwendete Abkürzungen: MFH = Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, N = Neubau, T = Totalsanierung, F = Fensterersatz, Whg. = Wohnung, EBF = Energiebezugsfläche, KG = Kellergeschoss, EG = Erdgeschoss

Kürzel	Anzahl, Gebäudetyp und Standort	Baujahr / Sanierung	N / T / F	Anzahl Whg.	EBF [m ²]
WT	1 MFH Winterthur	2015	N	10	ca. 1'630 (ohne KG)
GS	2 MFH Gasel	2015	T	22	2 x 1'375
SD	2 MFH Studen	2017	T	30	2 x 840
HO	1 MFH Horw	2013/14	T	12	ca. 1'400 (ohne KG und EG)
DT_1	2 HH Dietikon	2010	T	78	2 x 4'038
DT_2	1 MFH Dietikon	2010	T	35	ca. 3'270
DT_3	2 HH Dietikon	2011	T	32	2 x 1'356
BB	3 MFH Biberstein	2016	N	22	3x 1'050
ZH_1_1 bis ZH_1_9	9 MFH Zürich	2015	N	278	40'433
ZH_2	1 MFH Zürich	2018	F	10	Ca. 778 (ohne KG)
ZH_3	1 MFH Zürich	2015	N	14	ca. 1'460 (ohne KG)
ZH_4	1 MFH Zürich	2014	F	4	645
ZH_5	2 MFH Zürich	2012	N/ T	26	T: 2 x 1'617, N: 1'636



3 Vorgehen

3.1 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.

3.2 Auswertung des Planungskonzeptes

Die Auswertung des Planungskonzeptes erfolgt meist durch ein Telefonat mit dem Planer des Lüftungskonzeptes, bei dem spezifische Fragen bezüglich des Lüftungskonzeptes gestellt werden. Oftmals werden dem Projektteam seitens der Planer Planungsunterlagen und falls vorhanden Baubeschriebe ausgehändigt.

3.3 Gebäudebegehungen

Die Begehungen umfassen zwei bis drei Wohnungen pro Gebäudetyp und finden im Zeitraum 26.02. bis 26.03.2018 statt. Mit einem standardisierten Begehungsprotokoll 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.

3.4 Nutzerbefragungen

3.4.1 Durchführung Nutzerbefragungen

Die Fragebögen werden im Rahmen der Gebäudebegehungen in Papierform verteilt, die Bewohner haben jeweils vier 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.

3.4.2 Aufbau des Fragebogens und statistische Methoden zur Auswertung

Der Fragebogen umfasst 19 Fragen und bezieht sich auf den Winter (siehe Tabelle 5). 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 5 betrifft dies die Fragenkomplexe 2, 3, und 5. Bei der statistischen Auswertung werden diese Antworten in der Regel als ordinalskaliert behandelt. Als Lagemasse werden bei ordinalskalierten Daten Modus, Median und Perzentile verwendet (Erklärung siehe Abbildung 24). 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 [6]. 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. Daten, die den genannten Anforderungen gerecht werden, werden als intervallskaliert behandelt.

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 Tabelle 5 betrifft dies die Fragenkomplexe 1 und 4.

Als Zusammenhangsmass wird der Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_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», >0.4 bis 0.6 = «mittlere Korrelation») wird gemäss [7] 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.

Tabelle 5: Struktur des Fragebogens. Verwendete Abkürzungen: fA = freiwillige Angabe

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

Bei der Auswertung werden die in Tabelle 4 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.

3.5 Messungen und Messgebäude

Das Messkonzept basiert auf dem Konzept des Projektes ABLEG [8] und wird entsprechend den gemachten Erfahrungen angepasst. Das Messkonzept beinhaltet Kurzzeitmessungen und Langzeitmessungen während des Winters 2018/2019. Eine Übersicht über die Messprojekte zeigt Tabelle 6. Detaillierte Informationen zu den Fensterlüftern finden sich auch in Tabelle 16. Von wie vielen Personen die Wohnungen bewohnt werden, Angaben zum Nutzerverhalten und zur Bedienung der Zimmertüren finden sich in Tabelle 7.

Tabelle 6: Messgebäude für Kurzzeit- und Langzeitmessungen, Verwendete Abkürzungen: MFH = Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, N = Neubau, T = Totalsanierung, F = Fensterersatz.

Kürzel	Gebäudetyp und Standort	Baujahr / Sanierung	N / T / F	Fensterlüfter und Abluftanlage	Grundfläche [m ²]
DT_3:a (P)	HH Dietikon	2011	T	Helios ALEF 45, zentrale Abluft	92
DT_3:b (J)	HH Dietikon	2011	T	Helios ALEF 45, zentrale Abluft	81
BB:b (R)	MFH Biberstein	2016	N	Aerex AL-dB-450-40, dezentrale Ventilatoren	116
BB:a (SH)	MFH Biberstein	2016	N	Aerex AL-dB-450-40, dezentrale Ventilatoren	81
ZH_3:a (Sch)	MFH Zürich	2015	N	Sonoslot – P475, Renson, zentrale Abluft	59
ZH_3:b (Bü)	MFH Zürich	2015	N	Sonoslot – P475, Renson, zentrale Abluft	100
ZH_5:a (Br)	MFH Zürich	2012	N/ T	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2, zentrale Abluft	64
ZH_5:b (I)	MFH Zürich	2012	N/ T	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2, zentrale Abluft	140



Tabelle 7: Belegung der Wohnung / spezifisches Nutzerverhalten. Verwendete Abkürzungen: Er = Erwachsene Person, Ki = Kind, Ju = Jugendliche Person.

Kürzel	Belegung gem. Angaben Bewohner	Grundfläche [m ²]	spez. Belegung [m ² /P]	Nutzerverhalten gem. Angaben Bewohner
DT_3:a (P)	1 Er 2 Ju	92	30	Die Schlafzimmer sind mit je 1 Person belegt. Türen eher geschlossen
DT_3:b (J)	4 Er. 1 Ki	81	16	Das Schlafzimmer ist mit 3 Personen belegt.
BB:a (SH)	2 Er	81	41	Türen meist geöffnet
BB:b (R)	2 Er 2 Ki	116	29	Türen meist geöffnet.
ZH_3:a (Sch)	1 Er.	59	59	Person lebt alleine, Türen meist offen
ZH_3:b (Bü)	2 Er. 1 Ki.	100	33	Probleme mit Zugluft und Geruchs Übertragungen, Auslässe werden zum Teil geschlossen.
ZH_5:a (Br)	1 Er.	64	64	Person lebt alleine, Türen meist offen.
ZH_5:b (I)	2 Er, 1 Ki, 1 Ju	140	35	-

3.5.1 Eingesetzte Messtechnik

Tabelle 8 zeigt die im Projekt verwendete Messtechnik. Die Messergebnisse im Bericht werden mit der Messunsicherheit, die vom Hersteller angegeben wird, ausgewiesen. Damit wird die Messunsicherheit eher unterschätzt.

Die zur CO₂ Messung verwendeten Opus Logger werden vor und nach der Messung mit Kalibriergas getestet. Die dadurch ermittelte Abweichung wird bei den Messdaten entsprechend korrigiert.

Die Einheit für die Volumenstrommessung mit dem Flowfinder ist m³/h. Entsprechend werden die Messdaten im Bericht auch ausgewiesen. Eine Temperaturbereinigung dieser Messwerte wird unter den Annahmen Zulufttemperatur = Aussentemperatur und Ablufttemperatur = Raumlufthtemperatur vorgenommen.

Grössere Ausfälle bei der Messdatenerfassung sind im Bericht kennzeichnet.

Die genaue Verwendung der Messgeräte in den verschiedenen Messobjekten ist im Anhang 13.2.1 zu finden.



Tabelle 8: Eingesetzte Messtechnik, Verwendete Abkürzungen: k = Kurzzeitmessung, l = Langzeitmessung

Messung	k / l	Wo	Zeit-intervall	Messgerät	Messunsicherheit
Volumenstrom (Zu- und Abluft)	k	Fensterlüfter (Zuluft) Luftansaugung (Abluft)	-	FlowFinder	>20 m ³ /h: ± 4 m ³ /h 20-50 m ³ /h ± 5 %, min. 2 m ³ /h
Gebäudedichtheit	k	Wohnung mit offenen und geschlossenen Fensterlüftern	-	Minneapolis BlowerDoor DuctBlaster B / DG-700	Bei Windstille < ± 10 %
Druckdifferenz	k	Wohnung	-	DG 700	± 1 % v.M. resp. ± 0,15 Pa
Thermische Behaglichkeit (Lufttemperatur, Geschwindigkeit und Turbulenz)	k	Wohnzimmer / Schlafzimmer (d: 0.5m + 1.0, h: 0.1m, 0.6m, 1.1m + 1.7m)	-	Dantec Comfort-Sense	± 0,06 m/s / DR ± 5 % / ± 0,2 °C
CO ₂ Konzentration / Lufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	l	Wohnzimmer und Schlafzimmer	15 min	Opus	± 50 ppm +3 % v. M. / ± 0,3 °C (0..40 °C) / ± 2 % r. F.
Raumlufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	l	Bad	15 min	MSR	± 0,1 °C (+5..+45 °C) ± 2 % r. F. (10..85 %, 0..+40 °C)
Aussenlufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	l	Unterschiedlich	15 min	MSR	± 0,2 °C (-10..+ 58 °C) ± 2 % r. F. (10..85 %, 0..+40 °C)
Betriebsbereich Ventilator	l*	Wohnung (Einzelgerät)/ Technikraum (zentrale Lüftungsanlage)	15 min	Klemm-Amperemeter	Keine Angaben

* = mehrere Wochen



3.5.2 Vorgehen bei Messung

Zwischen dem 19.10.2018 und dem 20.11.2018 werden in acht Wohnungen Kurzzeitmessungen (ein Tag) und anschliessend in den gleichen Wohnungen Langzeitmessungen (sechs Monate, bis April / Mai 2019) durchgeführt.

Bei den Kurzzeitmessungen werden die Volumenströme (Zu- und Abluft), die Gebäudedichtheit, der Unterdruck in der Wohnung, die Behaglichkeit in einem Zimmer und (wenn möglich) die Stromaufnahme der Ventilatoren gemessen.

Bei den Langzeitmessungen werden CO₂, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Wohnzimmer und im Schlafzimmer sowie die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Bad und aussen gemessen.

Volumenstrommessungen:

In allen betrachteten Wohnungen werden sämtliche Zuluftvolumenströme (Fensterlüfter) und alle Abluftvolumenströme mit dem FlowFinder gemessen, so können die Luftmengen (in m³/h) bilanziert werden. Diese Messungen werden sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Zimmertüren durchgeführt, um allfällige Differenzen in den Luftvolumenströmen zu ermitteln. Je nach geometrischer Abmessung der Aussenluftdurchlässe sind Adapter notwendig. Die Adapter werden, wenn möglich, anhand von Musterauslässen vorab angefertigt und getestet. Parallel zu diesen Messungen werden die in der Wohnung vorhandenen Türspalte dokumentiert sowie die Differenzdrücke gegen aussen (Unterdruck in der Wohnung) gemessen.



Abbildung 8: Messung Abluftvolumenstrom.



Abbildung 9: Messung Zuluftvolumenstrom

Gebäudedichtheit:

Die Luftdichtheit der einzelnen Wohnungen wird mittels eines Blower-Door-Tests geprüft. Die Blower-Door Messung ist ein Differenzdruck-Messverfahren zur Bestimmung der Luftdichtheit eines Gebäudes. Das Verfahren dient dazu, Leckagen in der Gebäudehülle aufzuspüren und eine normierte, druckinduzierte Luftwechselrate zu bestimmen.

Der Ventilator ist dabei jeweils in der Wohnungstüre eingebaut. In zwei Messreihen mit Unterdruck und Überdruck werden im Bereich zwischen 10 und 60 Pascal Druckdifferenz innen-aussen die Luftvolumenströme gemessen. Für die Messungen werden sämtliche Lüftungsöffnungen (Fensterlüfter, Küchenabluft, Badabluft, etc.) verschlossen.



Abbildung 10: Blower-Door, Einbau in eine Wohnungseingangstüre.

Lokale thermische Behaglichkeitsmessung (Zugluft):

Das Zugluftrisiko wird aufgrund der lokalen Raumlufttemperatur, der lokalen Strömungsgeschwindigkeit und dem resultierenden Turbulenzgrad gemäss SN EN ISO 7730:2006 ermittelt. Der Turbulenzgrad bezeichnet die zeitliche Änderungsrate der lokalen Strömungsgeschwindigkeit. Die Strömungs-sonden werden in einem Abstand von 0.5 m und 1.0 m vor einem Fenster mit Fensterlüfter platziert und in vier verschiedenen Höhen, 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m und 1.7 m ab Boden, angeordnet. Die normative Herleitung zu den Behaglichkeitsmessungen findet sich in Kapitel 3.6.5. Es werden keine weiteren Messungen zur Bewertung des generellen thermischen Komforts vorgenommen.



Abbildung 11: Behaglichkeitsmessung.



CO₂- / Temperatur- / Feuchtemessung über 6 Monate:

Bei der Durchführung der Kurzzeitmessungen werden gleichzeitig die Logger für die Langzeitmessungen installiert. Im Hauptschlafzimmer und im Wohnzimmer jeder Wohnung werden CO₂, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet. In einem Bad (bei mehreren Bädern im hauptsächlich genutzten) sowie im Aussenbereich (z.B. Balkon der Wohnung) werden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit gemessen. Alle Daten werden im Abstand von 15 Minuten erfasst.



Abbildung 12: CO₂-, Lufttemperatur- und Luftfeuchte- Logger



Abbildung 13: Lufttemperatur- und Luftfeuchte- Logger

Messung Stromaufnahme Ventilator:

Zur Verifikation der Betriebszeiten der Anlage werden Messungen vor Ort durchgeführt. In Abhängigkeit von der Anlage kommen als Messmethoden entweder eine Spannungsmessung mit dem Voltmeter oder eine Luftstrommessung im Kanal mit Anemometer zur Anwendung.

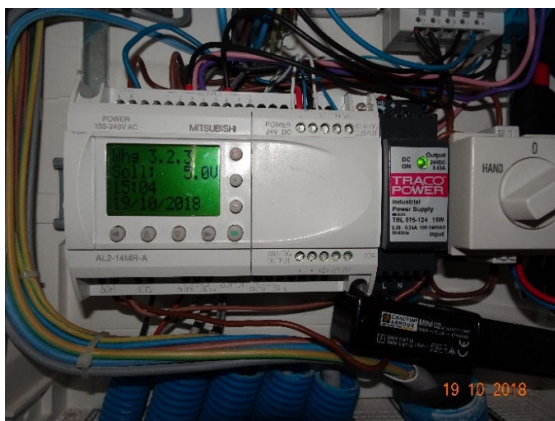


Abbildung 14: Messung Stromaufnahme mittels Voltmeter



Abbildung 15: Messung mit dem Anemometer (ZH_3)



Klimadaten:

Die Aussentemperatur, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung werden über die nächstgelegene Wetterstation bezogen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Verwendete Wetterstationen

Kürzel	Gebäudetyp und Standort	Wetterstation
DT_3:	HH Dietikon	Zürich Affoltern
BB:	MFH Biberstein	Buchs Aarau
ZH_3:	MFH Zürich	Zürich Affoltern
ZH_5:	MFH Zürich	Zürich Affoltern

3.6 Auswertung Messungen

3.6.1 Normenbezug

Zum Zeitpunkt der Planung der untersuchten Objekte waren das SIA Merkblatt 2023:2009 «Lüftung in Wohnbauten» [9], SIA 382/1:2014 «Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemein Grundlagen und Anforderung» [1] und SIA 180:2014 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» die aktuell gültigen Normen. Ein Teil des Berichtes bezieht sich daher auf diese Normen.

Einige Themen wie die Auslegung der Türspalte, die Vorgaben zu den maximal zulässigen Unterdrücken und der Zusammenhang zwischen Luftmenge und der zu erwartenden CO₂-Konzentration werden jedoch in diesen Normen nicht oder nur unvollständig behandelt. Weiter ist das Ziel der Untersuchung weniger die bestehenden Projekte zu bewerten, sondern sachdienliche Hinweise für die Planung zukünftiger Lüftungskonzepte mit Fensterlüftern zu geben. Daher bezieht sich der Bericht ergänzend auf die zukünftig in Kraft tretende FprSIA 382/5:2019-12 «Lüftung in Wohnbauten»[10], die das SIA Merkblatt 2023 ersetzen soll. Fensterlüfter werden in dieser Norm nicht explizit genannt. Die Empfehlungen und Vorgaben beziehen sich in FprSIA 382/5 auf Aussenluft-Durchlasselemente.

3.6.2 Bewertung Abluft- und Aussenluftvolumenströme

Im SIA Merkblatt 2023 [9] sind die minimalen Abluft- und Zuluftvolumenströme pro Raum definiert.

Tabelle 10: Auslegung Abluft- und Aussenluftvolumenströme gemäss SIA Merkblatt 2023.

Nutzung	Abluftvolumenstrom bei kontinuierlichem Betrieb (min. 12h/d) m ³ /h	Abluftvolumenstrom bei bedarfs- gesteuertem Betrieb m ³ /h	Aussenluft- Volumenstrom pro Person Tag m ³ /h	Aussenluft- Volumenstrom pro Person Nacht m ³ /h
Küche	40	150		
Bad, Dusche	40	50		
WC (ohne Dusche)	20	50		
Wohnraum, Schlafzimmer*			30	15
Reine Wohnräume			30	

*kann auch als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt werden.



Auch FprSIA 382/5:2019-12 [10] sieht pro Raum, der auch als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt werden kann, 30 m³/h vor. Ergänzend werden Angaben zu den zu erwartenden CO₂-Konzentrationen gemacht. Die Angaben basieren auf einem CO₂-Gehalt in der Aussenluft von 400 ppm und einer CO₂-Emission pro Person von 20 l/h am Tag und 13,6 l/h in der Nacht.

Bei einer Raumbelugung von einer Person (mit 30 m³/(h P)) ist tagsüber von einer CO₂-Konzentration von 1'100 ppm auszugehen. Bei einer Raumbelugung von zwei Personen in der Nacht resultiert eine CO₂ Konzentration von 1'350 ppm.

Durch den Unterdruck in der Wohnung gelangt neben der Zuluft durch die Aussenluftdurchlässe immer auch Luft über Undichtheiten in der Gebäudehülle (Infiltration) ins Gebäude. Der Abluftvolumenstrom ist deshalb auf einen um den Faktor 1.3 höheren Wert, als die Summe der Aussenluft-Durchlässe, auszulegen.

Tabelle 11: Infiltration bei einfachen Abluftanlagen (Beispiele) gemäss SIA Merkblatt 2023.

Durchlässigkeit der Gebäudehülle h ⁻¹	0.7	0.7	1.0	1.0	1.5	1.5
Auslegungsdifferenz Pa	3	5	3	5	3	5
Infiltrationsvolumenstrom m ³ /h	32.8	45.9	46.9	65.6	70.3	98.4
Faktor f	1.22	1.31	1.31	1.44	1.47	1.66

Bemerkung: Als Basis für diese Berechnungen dient ein typisches Einfamilienhaus mit einer Abluftanlage, Bezugsvolumen für n-50 Wert = 300 m³ und einem Aussenluftvolumenstrom durch die ALD von 150 m³/h.



3.6.3 Dimensionierung von Türspalten

In FprSIA 382/5 (Kapitel 5.3.5.2) werden Angaben zu den Grössen von zum Lüftungskonzept der Wohnung gehörigen Türspalten gemacht. In der Abbildung 16 ist ein Auslegungsbeispiel eingezeichnet.

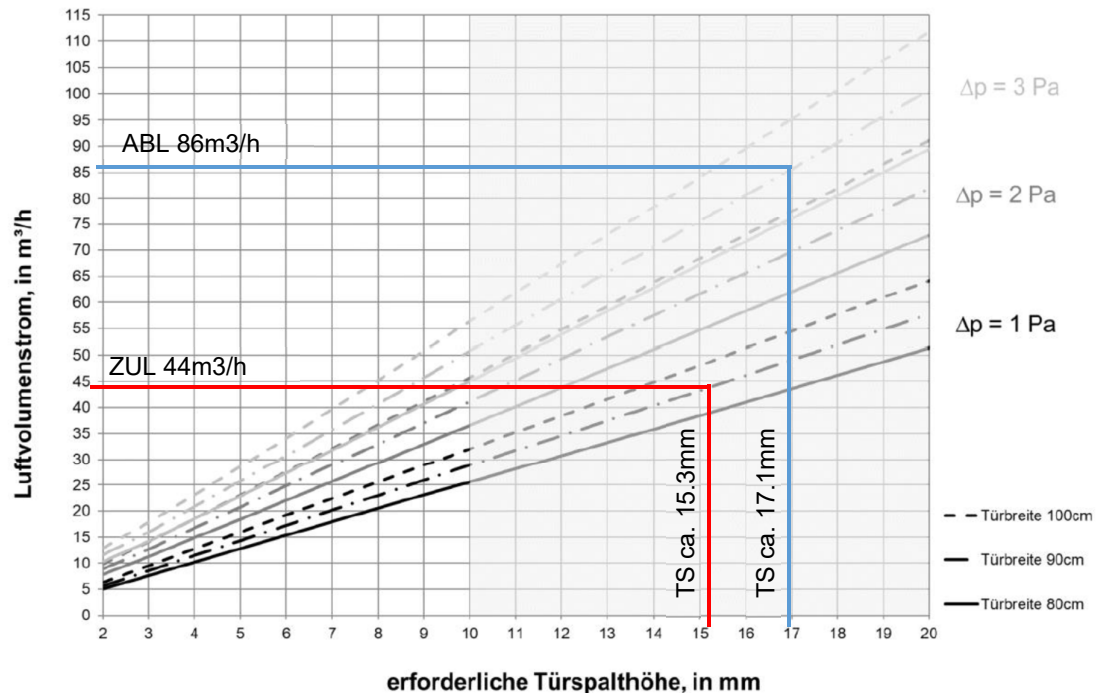


Abbildung 16: Luftvolumenstrom und Spalthöhen bei Türen mit glatten Böden gem. FprSIA 382/5 (Figur 3). Rot sind Beispielauslegungen für ein Schlafzimmer, blau für ein Bad eingezeichnet. Verwendete Abkürzungen: TS = Türspalt.

Beispiel für die Auslegung anhand der Wohnung BB:b (R):

Die Zuluft wird in das Schlafzimmer über zwei Fensterlüfter eingebracht, strömt unter der Schlafzimmertüre in den Korridor und vom Korridor unter der Badezimmertüre ins Bad. Dort wird die Luft über einen Abluftventilator gefasst und nach draussen geführt (Grundriss siehe Abbildung 17). Im Schlafzimmer gelangen über die Fensterlüfter 44 m³/h Aussenluft in den Raum, dies ergibt, gemäss Abbildung 16 (rot eingezeichnet), bei einer Türbreite von 90 cm und einem Druckverlust von 1 Pa über die Türe einen Türspalt von ca. 15 mm. Im Bad (blau eingezeichnet) werden mit einem Abluftventilator 86 m³/h abgesogen. Bei dieser Abluftmenge mit einer Türbreite von 90 cm und einem Druckverlust über die Türe von 3 Pa, ergibt dies einen Türspalt von ca. 17 mm.

Bei einem Schlafzimmer mit normativen 30 m³/h Zuluft sollte der Türspalt (Türbreite 90 cm / Unterdruck 1 Pa) ca. 10,5 mm betragen, bei einem Bad mit 40 m³/h Abluft (Türbreite 90 cm / Unterdruck 1 Pa) ca. 14 mm.

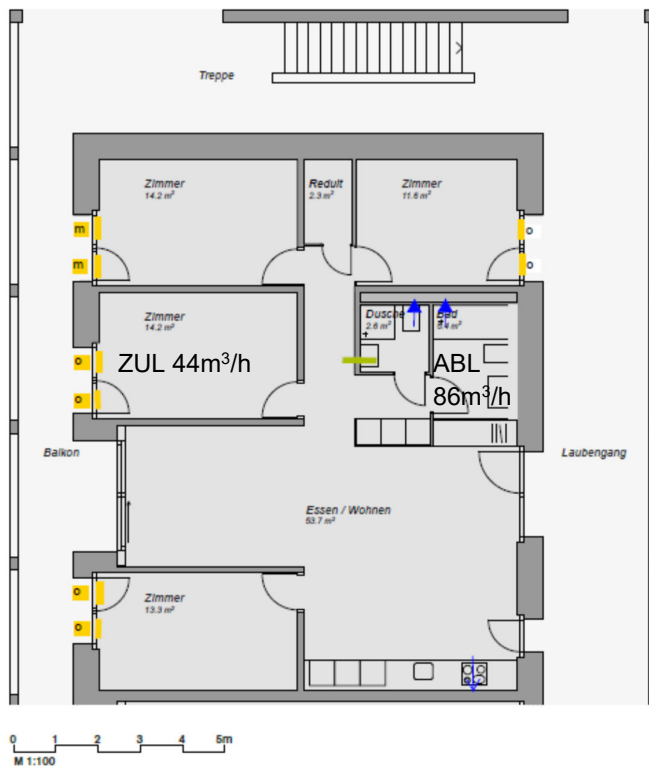


Abbildung 17: Grundriss Wohnung BB:b (R)

3.6.4 Blower-Door Messungen

Das Messverfahren richtet sich nach SIA 180.206 [11], "Wärmetechnische Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (SN EN ISO 9972:2015)" [12].

Dabei gibt es drei Verfahren, Verfahren 1 (Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand), Verfahren 2 (Prüfung der Gebäudehülle) und Verfahren 3 (Prüfung des Gebäudes zu einem bestimmten Zweck). Für die hier vorliegenden Messungen wird das Verfahren 2 gewählt, bei dem alle vorhandenen Öffnungen (Fenster, Türen, etc.) geschlossen werden. Weiter werden alle Zuluft-Eintritte (Aussenluftdurchlässe) und Abluft-Austritte (Badabluft) der Wohnungen abgeklebt.

Die Messungen werden in Anlehnung an SIA 180.206 [11] durchgeführt, wobei die in der Norm geforderte minimale Druckdifferenz von innen zu aussen nicht immer eingehalten werden kann.

Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle (bei 50 Pa) nach SIA 180.206 [11] wird wie folgt berechnet:

$$q_{a50} = \frac{q_{50}}{A_{inf}}$$

Dabei sind:

- q_{a50} = Luftdurchlässigkeit bei einer Bezugsdruckdifferenz von 50 Pa bezogen auf die Hüllfläche in $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ gemäss [11]. Je nach Quelle wird als Bezeichnung auch, q_{E50} (SN EN ISO 9972) oder q_{50} (EN 13829) verwendet.
- q_{50} = Volumenstrom (Leckagestrom) bei 50 Pa Druckdifferenz in m^3/h für Normbedingungen (101'325 Pa und 20 °C) und geschlossene Lüftungsöffnungen in m^3/h gemäss SIA 180.206



[11] und SN EN ISO 9972:2015 [12]. Je nach Quelle wird als Bezeichnung auch V_{50} (EN 13829) verwendet.

- A_{inf} = Hüllfläche der Messzone für Luftdichtheit gemäss SIA 180.206 [11]. Je nach Quelle wird als Bezeichnung auch A_E (SN EN ISO 9972 [12], EN 13829) verwendet.

Die Anforderungen an die Luftdichtheit der Hüllfläche sind in SIA 180 [13] festgelegt. Um eine wohnungsweise Prüfung zu ermöglichen, betreffen die Anforderungen nicht nur die Gebäudehülle, sondern auch die Wohnungstrennwände. In der Richtlinie Luftdichtheit bei Minergie-Bauten (RiLuMi) Version 2020.1 [14], sind die Anforderungen bei einer Zertifizierung nach Minergie, -A, -P definiert. FprSIA 382/5 fordert für Gebäude mit einer einfachen Abluftanlage die Einhaltung des Zielwertes gemäss SIA 180.

Tabelle 12: Grenz- und Zielwerte der Luftdurchlässigkeit q_{a50} gem. SIA 180 [13], resp. Minergie, A, P gem. RiLuMi 2020.1 [14].

Verwendete Abkürzungen: GW = Grenzwert, ZW = Zielwert.

	SIA 180 GW natürliche Lüftung $m^3/(h \cdot m^2)$	SIA 180 GW mech. Lüftung $m^3/(h \cdot m^2)$	SIA 180 ZW generell $m^3/(h \cdot m^2)$	Minergie GW $m^3/(h \cdot m^2)$	Minergie-A und -P GW $[m^3/(h \cdot m^2)]$
Neubauten	2.4	1.6	0.6	1.2	0.8
Umbauten, Erneuerungen	3.6	2.4	1.2	1.6	1.6

3.6.5 Thermische Behaglichkeit und CO_2 -Gehalt der Luft

Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird in SIA 180 definiert. In Wohnräumen bezieht sie sich auf den Aufenthaltsbereich während den Nutzungszeiten. Der Aufenthaltsbereich beginnt im Abstand von 1 m von einem Aussenfenster und 0.5 m von einer Aussenwand entfernt.

Die thermische Behaglichkeit wird im Projekt in Bezug auf die Zugluft erfasst. Dazu sind gemäss SN EN ISO 7726 die Messsonden gemäss Tabelle 13 anzubringen.

Tabelle 13: Anordnung der Messwertaufnehmer bei Messung der Klimagrössen gemäss SN EN ISO 7726

Ort der Messwertaufnehmer	Empfohlene Höhe Sitzend	Empfohlene Höhe Stehend
Kopfhöhe	1.1 m	1.7 m
Unterleibshöhe	0.6 m	1.1 m
Knöchelhöhe	0.1 m	0.1 m

In SIA 180 sind die lokalen Behaglichkeitskriterien in Bezug auf Zugluft definiert. Abbildung 18 zeigt die zulässige Luftgeschwindigkeit bei einem Turbulenzgrad von 50 %. Bei einer mechanischen Lüftung wird ein Zugluftisiko (DR) von 15 %, bei natürlicher Lüftung von 20 % akzeptiert.

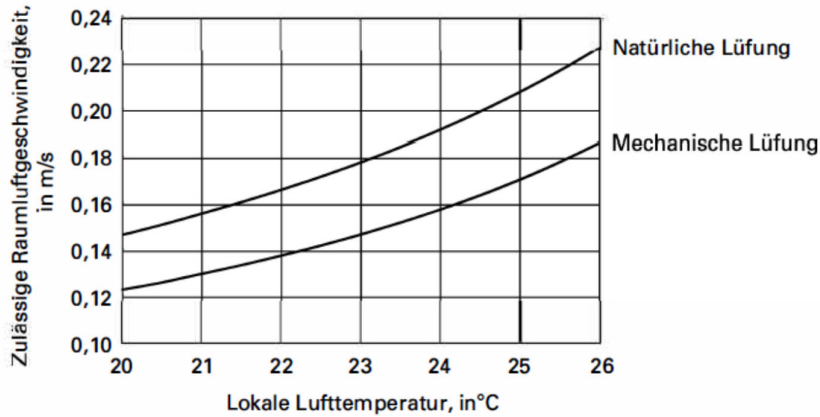


Abbildung 18: Zulässige mittlere lokale Luftgeschwindigkeit am Aufenthaltsort in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur, bei einem Turbulenzgrad von 50 % für Räume mit mechanischer (DR= 15 %) und natürlicher Lüftung (DR= 20 %) nach SN EN ISO 7730.

Bewertung Lufttemperatur, relative Feuchte und CO₂-Gehalt der Luft

Empfundene Temperatur

Die gemessene Lufttemperatur wird gemäss SIA 180 bewertet. Die Aussagen von SIA 180 beziehen sich allerdings auf die empfundene Temperatur.

In SIA 180 wird zwischen der zulässigen Temperatur in beheizten, gekühlten oder mechanisch belüfteten Räumen und der zulässigen Temperatur in natürlich belüfteten Räumen unterschieden (siehe Abbildung 19). Basierend auf FprSIA 382/5 (Kapitel 2.2.3.3) gelten für die im Projekt untersuchten Gebäude die Anforderungen an natürlich belüftete Räume: *«Für Wohnungen mit natürlicher oder mechanischer Lüftung, mit Heizung aber ohne maschinelle Kühlung, in denen die Fenster geöffnet werden können und die Personen ihre Bekleidung saisonal gemäss SIA 180:2014, Ziffer 2.1.3 anpassen, ist der zulässige Bereich der empfundenen Temperatur während der Nutzungszeit in Bezug zum gleitenden Mittelwert der Aussentemperatur aus Figur 3 in SIA 180:2014, Ziffer 2.2 ersichtlich.»*

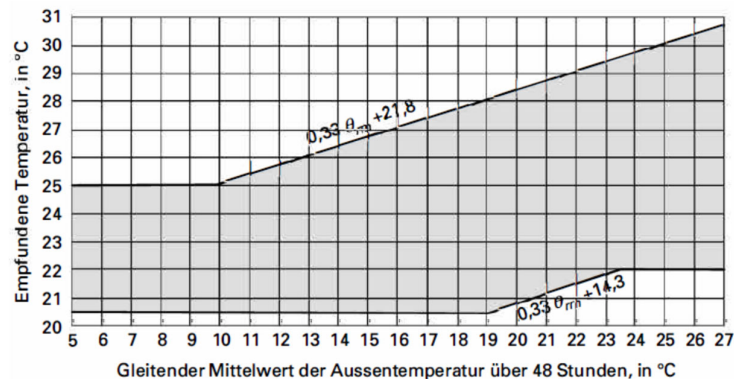


Abbildung 19: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur für natürlich belüftete Gebäude (SIA 180, Figur 3).



Raumlufffeuchte

Gemäss SIA 180 [13] soll in beheizten, gekühlten oder mechanisch belüfteten Räumen die massenbezogene Luftfeuchte während 90 % der Jahresnutzung nicht weniger als 4.9 g/kg (ca. 33 % bei 20.5 °C) und während 95 % der Jahresnutzung nicht mehr als 13.7 g/kg (ca. 70 % bei 25.0 °C) betragen. Für den Bericht werden als Grenzen daher 30 und 70 % festgelegt.

Da die relative Raumlufffeuchte im Zusammenhang mit der Lufttemperatur Aussagen zur Behaglichkeit zulässt, werden diese Zusammenhänge nach Frank [15] ausgewertet und in einem Diagramm (Abbildung 20) dargestellt. Die hellgrüne Fläche wird als «behaglich» klassiert, die hellrote Fläche als «noch behaglich».

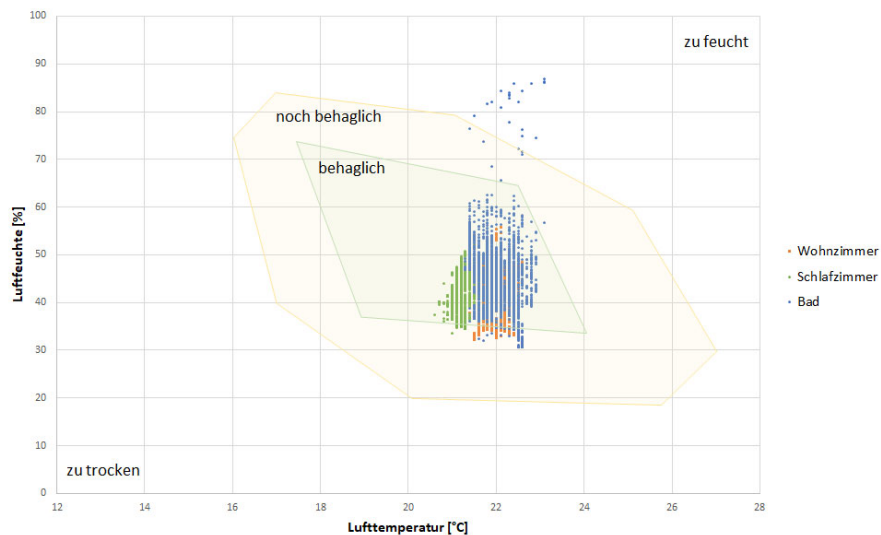


Abbildung 20: Behaglichkeitsfeld Raumlufffeuchte – Raumlufftemperatur gemäss [15] mit eingetragenen Messwerten sämtlicher untersuchter Räume.

Klassierung der Raumluff (RAL) in Bezug auf die CO₂-Konzentration

In SIA 382/1 wird die Raumluffqualität bezogen auf die CO₂-Konzentration in Klassen eingeteilt. Die Angaben basieren auf einer CO₂-Konzentration in der Aussenluft von 400 ppm und einer CO₂-Emission von 18 l/h und Person. Obwohl FprSIA 382/5:2019-12 von SIA 382/1 leicht abweicht (Bezug auf die CO₂-Emission 20 l/h und Person, Abschnitt 5.2.4), nimmt FprSIA 382/5:2019-12 Bezug auf die RAL-Klasse 3 Ohne besondere Vereinbarung ist demnach RAL-Klasse 3 (rot hinterlegt in Tabelle 14) anzustreben. Damit beträgt der CO₂-Pegel der Raumluff 1'000 ppm bis 1'400 ppm.



Tabelle 14: Emissionen einer Person und Grenzwerte im Aufenthaltsbereich gem. SIA 382. Hellrot hinterlegt die für Wohngebäude zutreffende Kategorie.

Kategorie	Beschreibung	Beispiel
RAL 1	Raumlufth mit hoher Luftqualität Luft in Räumen mit besonderen Anforderungen an den Gehalt von Fremd- und Geruchsstoffen in der Raumlufth	Labor- und Produktionsräume für empfindliche Arbeiten bzw. Güter
RAL 2	Raumlufth mit mittlerer Luftqualität Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen und bei denen erhöhte Ansprüche gestellt werden; CO ₂ -Pegel < 1000 ppm, Lufrate > 30 m ³ /(h Person)	Räume mit speziellen Ansprüchen an Gerüche, insbesondere für neu eintretende Personen
RAL 3	Raumlufth mit mässiger Luftqualität Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen; CO ₂ -Pegel 1000 bis 1400 ppm, Lufrate 18 bis 30 m ³ /(h Person)	Typische Wohn- und Büroräume
RAL 4	Raumlufth mit niedriger Luftqualität Luft in Räumen, in denen sich nur selten oder keine Personen aufhalten, sowie Luft in Räumen, in denen geraucht wird	Lagerräume, Korridore; alle Räume, in denen geraucht wird



4 Resultate Auswertung Planungskonzept und Gebäudebegehung

4.1 Gebäudetechnik und Lüftungskonzept

Tabelle 15 zeigt, dass acht der Gebäudetypen ihre Heizwärme über fossile Brennstoffe (Gas oder Öl) erzeugen. Drei Gebäudetypen verfügen über Wärmepumpen, einer wird über Fernwärme beheizt und ein Gebäudetyp bezieht die Abwärme eines Rechenzentrums. Die Wärmeabgabe wird bei fünf Gebäudetypen über eine Fussbodenheizung realisiert, bei den übrigen Gebäuden werden Radiatoren eingesetzt.

Für die Warmwasserbereitung nutzt bei fünf Gebäuden der Verdampfer einer Wärmepumpe die Wärme aus der Abluft, um so einen besseren Wirkungsgrad zu erzielen.

Das Lüftungskonzept sieht bei allen Gebäudetypen vor, dass die Aussenluft durch die Fensterlüfter in die Wohnung kommt und in Bad und Küche durch die Abluftanlage abgezogen wird. Eine eigens geplante Kaskadenlüftung (Frischluft gelangt in Schlafräume, Wohnzimmer und Flur als Überströmzone, Bad und Küche als Abluftzone) ist nur im Gebäudetyp BB konzipiert. Diese beinhaltet, dass das Wohnzimmer keine eigene Frischluftzufuhr (Fensterlüfter) enthält. In acht Gebäuden verfügen alle Räume ausser Bad und Küche über (mindestens) einen Fensterlüfter als Frischluftzufuhr. In fünf Gebäudetypen gibt es Aufenthaltsräume ohne Fensterlüfter und ohne ein Kaskadenlüftung (Tabelle 15).

Damit das Lüftungskonzept auch bei geschlossenen Zimmertüren funktioniert, sollten Überströmöffnungen vorgesehen sein. Im einfachsten Fall ist dies ein zu kurzes Türblatt, welches im Bereich des Bodens einige Millimeter Luftspalt lässt. Bei acht Gebäudetypen gibt es solche Spalte. Diese sind zwischen drei und 25 mm breit (siehe auch Anhang 13.1). Bei vier Gebäudetypen (ZH_2, ZH_4, GS und SD) gibt es solche Schlitze nur in der Küche und im Bad. Ein Grund dafür ist sicherlich, dass diese Gebäude Sanierungen sind und auf eine Anpassung der Türblätter verzichtet wurde.

Die Abluftanlage ist bei elf Gebäudetypen im Dauerbetrieb (Tabelle 15), zum Teil kann die Leistung über den Lichtschalter im Bad erhöht werden. Ein Gebäudetyp (WT) verfügt über einen Stufenschalter und ein weiterer Gebäudetyp (BB) hat zusätzlich zur Einschaltfunktion über das Licht im Bad einen CO₂-Sensor, sowie einen intermittierenden Betrieb nachts.

Die Gebäudebegehungen zeigen, dass bei den Abluftanlagen ein regelmässiger Filterwechsel nur bei fünf Gebäuden Standard ist. Bei zwei Gebäuden war die Wartung des Filters zum Zeitpunkt der Begehung noch nicht organisiert (ZH_2: im Bau, ZH_3: Nachrüstung).



Tabelle 15: Übersicht über die haustechnischen Systeme. Verwendete Abkürzungen: WPE = Wärmepumpe Erdsonde, WPWI = Wärmepumpe Grundwasser (indirekt), WPWD = Wärmepumpe Grundwasser (direkt), WPA = Wärmepumpe Abluft, G = Gasbrenner, Ö = Ölbrenner, F = Fernwärme, ARZ = Abwärme Rechenzentrum, STH = Solarenergie thermisch, E = Elektro FBH = Fussbodenheizung, RH = Radiatoren, WRG = Wärmerückgewinnung, A = Aufenthaltsräume, D = Dauerbetrieb, L = Lichtschalter, F = Feuchtefühler

Kürzel	Heizung	Wärme-abgabe	Warmwasser-bereitung	Abluftanlage mit WRG?	Frischlufzt-zufuhr	Betrieb Abluft
WT	G	FBH	G	nein	nicht alle A.	Stufenschalter (0, 1, 2, 3)
GS	Ö	RH	Ö	nein	alle A.	D, > Leistung über L
SD	WPW	RH	100% WPWD	nein	nicht alle A.	D, > Leistung über L
HO	G	RH	G	nein	nicht alle A.	D, > Leistung über L
DT_1	G	RH	60% WPA, 40% G	ja (WPA)	alle A.	D
DT_2	G	RH	G	nein	nicht alle A.	D
DT_3	G	RH	76% WPA, 24% G	ja (WPA)	alle A.	D
BB	WPE	FBH	98% WPE, 2% E	nein	nicht alle A.	L + CO ₂ -Sensor + < Intervalle nachts
ZH_1_1 bis ZH_1_9	ARZ	FBH	ARZ	nein	alle A.	D
ZH_2	G	RH	80% WPA, 20% G	ja (WPA)	alle A.	D
ZH_3	F	FBH	70% WPA, 30% F	ja (WPA)	alle A.	Ab 11.2018: D
ZH_4	WPE	RH	37% WPE, 62 % STH, 1% E	nein	alle A.	D
ZH_5	Ö	RH	10% Ö, 90 % WPA	Ja (WPA)	alle A.	D

4.2 Fensterlüfter

In 10 Gebäuden sind die Fensterlüfter als Aufsatzelemente ausgebildet (Tabelle 16). Diese sind meistens entweder direkt in den Blendrahmen integriert, oder befinden sich in einer Rahmenverbreiterung oberhalb (ZH_1_1 - ZH_1_9, ZH_5), oder seitlich des Blendrahmens (ZH_5). In zwei Gebäudetypen werden Falzlüfter eingesetzt (GS und SD). Bei einem Gebäudetyp gibt es nur Aussenluftdurchlasselemente (ALD), bei einem anderen Gebäudetyp (DT_1) werden Fensterlüfter und ALD kombiniert. Grund für die Verwendung von ALD an einer Gebäudeseite ist der Schallschutz, da das Gebäude an einer Bahnlinie liegt.

In sieben Gebäudetypen sind die Fensterlüfter verstellbar. In welchem Zustand (offen oder geschlossen) die Fensterlüfter bei der Begehung angetroffen wurden, ist im Anhang 13.1 dokumentiert. In den übrigen Gebäudetypen können die Bewohner an den Fensterlüftern keine Veränderungen vornehmen.

In zwei Wohnungen wurden bei der Begehung (insgesamt 26 Begehungen) abgeklebte Fensterlüfter festgestellt (DT_1 und DT_3). In beiden Gebäudetypen sind die Fensterlüfter nicht verstellbar. In beiden Wohnungen wurde als Grund Zugluft angegeben (Kinderzimmer und Küche mit Sitzplatz).



Über Fensterlüfter mit einem Filter verfügen die meisten Gebäudetypen. Nur bei einem Gebäudetyp enthalten die Fensterlüfter und bei zwei Gebäudetypen die Falzlüfter keinen Filter. Die Filter haben unterschiedliche Filterklassen. Wenn sie bekannt sind, dann sind die Filter eher grob. Feinstaubfilter finden sich nur im Gebäudetyp ZH_5.

Bei der Gebäudebegehung zeigte es sich, dass der Filterwechsel bei den Fensterlüftern nur in einem Gebäudetyp (ZH_5) durch die Bewohner selber alle 1-2 Jahre geplant ist. In den Gebäudetypen ZH_1_1 bis ZH_1_9 können Filter beim Hauswart bezogen werden. Bei zwei Gebäudetypen wurde der Filter einmalig durch eine Fachkraft gereinigt (beim Gebäudetyp ZH_4 als Einweisung), später aber nicht mehr. Bei den Gebäuden DT_1, DT_2 und DT_3 kann der Filter selber ausgebaut und ausgewaschen werden, dies wissen aber die meisten Bewohner nicht. Es wird deutlich, dass ein regelmässiger Filterwechsel nicht Standard ist.

Schimmel, den die Fensterlüfter verhindern helfen sollen, wurde bei den Gebäudebegehungen in einem Gebäude im Bad gefunden (DT_3).

Tabelle 16: In den Gebäudetypen eingesetzte Fensterlüfter. Verwendete Abkürzungen: A = Aufsatzelement, B = Blendrahmen, FeLü = Fensterlüfter, ALD = Aussenluftdurchlasselement, Abkürzungen für Filter: G = Grobstaubfilter, F = Feinstaubfilter, M = Mediumfilter

Kürzel	Produkt	FeLü / ALD	Verstellbar?	Filter, Filter-klasse
WT	Invisivent EVO AKD, Renson	FeLü (A integriert in B)	ja (aus und 3 Stufen)	nein
GS	Ego Kiefer Secco ohne Filter	FeLü, Falzlüfter	nein	nein
SD	Regelair "Forte"	FeLü, Falzlüfter Oben B / Seite B	ja	nein
HO	Helios ALD ZLA 100	ALD	ja, auf / zu	ja, G3
DT_1	Helios ALEF 45 / Helios ZTV-100	FeLü (A integriert in B)/ ALD (Wand, oberes Drittel)	Nein (ALD) / ja (FeLü)	ja (ALD) / nein (FeLü)
DT_2	Helios ALEF 45	FeLü (A integriert in B)	nein	ja
DT_3	Helios ALEF 45	FeLü (A integriert in B)	nein	ja
BB	Aerex AL-dB-450-40	FeLü (A integriert in B)	ja	ja, G2
ZH_1_1 bis ZH_1_9	Anjos, L 30 S	FeLü (A oberhalb B)	nein	ja, G3 (?)
ZH_2	Trivent ZEF-S	FeLü (A integriert in B)	ja	ja, M5
ZH_3	Sonoslot – P475, Renson	FeLü (A integriert in B)	ja	nur schallabsorbierend
ZH_4	Aerex AL_db_450	FeLü (A integriert in B)	ja	ja, G2
ZH_5	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2	FeLü, (A, oberhalb B, z. T. Seite B	nein	ja. F7



4.3 Auslegung Fensterlüfter

Bei acht Gebäuden ist eine Auslegung zum Lüftungskonzept verfügbar (ZH_2, ZH_3, ZH_4, SD, GS, DT_1, DT_2 und DT_3). Dabei wird von den Planern in den Räumen mit Fensterlüftern von unterschiedlich grossen Luftmengen ausgegangen. Die Mengen reichen von 20 m³ bis 40 m³ pro Raum. Diese Zuluftmengen scheinen von der Annahme her eher optimistisch, da sie die Produktangaben überschreiten (z. B. ZH_3) oder die maximalen Druckdifferenzen annehmen (ZH_2).

Die geplanten Luftmengen für die einzelnen Wohnungen finden sich im Anhang (Abschnitt 13.1). Die geplanten Luftmengen für die Messwohnungen sind in Tabelle 22, Abschnitt 6.1.1. dokumentiert.

4.4 Türspalte

Die nachfolgende Tabelle 17 vergleicht für alle Wohnungen in denen gemessen wird, die gemäss FprSIA 382/5 [10] erforderlichen mit dem gemessenen Türspalten für die Schlafzimmer- und für die Badezimmertür. Zur Berechnung werden die «geplanten Volumenströme (m³/h) gem. Anzahl Fensterlüfter und 4 Pa Unterdruck» für das Bad und Schlafzimmer separat (Gesamtwert siehe Tabelle 22) verwendet.

Tabelle 17: Übersicht Luftvolumenströme. Verwendete Abkürzungen: SZ: Schlafzimmer, BZ = Bad, U_druck = Unterdruck. Farbcode: rot = der Volumenstrom unterschreitet den Normwert, grün = Türspalt ist grösser als vorgeschrieben

	Geplanter Volumenstro m im SZ bei 4 Pa [m ³ /h]	Türspalt SZ normativ @ 1 Pa U_druck [mm]	Türspalt SZ gemessen [mm]	Geplanter Volumenstro m im BZ [m ³ /h]	Türspalt BZ normativ @ 1 Pa U_druck [mm]	Türspalt BZ gemessen [mm]
DT_3:a (P)	18	6.5	17	36	12.5	13-16
DT_3:b (J)	18	6.5	15	36	12.5	12
BB:a (SH)	28	10	15	56	19.5	7
BB:b (R)	28	10	13	28	13	8
ZH_3:a (Sch)	24	8.5	9	24	8.5	9
ZH_3:b (Bü)	12	4	7	24	8.5	7-8
ZH_5:a (Br)	25*	9	7 – 9	50	17.5	17 – 21
ZH_5:b (I)	25*	9	25	75	>20**	14

*Angabe bei 5 Pa Unterdruck

**Ausserhalb Diagramm

5 Resultate Nutzerbefragung

5.1 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 % (BB). Der Mittelwert der Rücklaufquoten liegt bei 42 %.

Bei den Gebäudetypen ZH_4 und DT_2 wird jeweils nur ein Fragebogen retourniert. Da die Auswertungen meist die gesamte Stichprobe umfassen, werden diese Gebäude berücksichtigt. Von gebäudeweisen Auswertungen sind diese Gebäude ausgenommen (Abschnitt 5.6). Es gibt keine ungültigen Fragebögen im Rücklauf. Mit Ausnahme der Abschnitte 5.2 und 5.4 («Planung



Lüftungssystem») wird der Gebäudetyp HO ($N = 6$) von der Auswertung ausgenommen, da er ausschliesslich über Aussenluftdurchlasselemente verfügt. Da sich das Gebäude ZH_2 zum Zeitpunkt der Befragung noch im Umbau befindet, werden mit HO also insgesamt 12 Gebäudetypen berücksichtigt, ohne HO 11 Gebäudetypen.

5.2 Soziodemografische Merkmale (12 Gebäudetypen)

Im Mittel leben die Bewohner seit 3 ± 1 Jahren im Gebäude ($N = 258$, $s = 1.0$). Der Modus liegt bei drei Jahren. Die Anzahl der bewohnten Zimmer liegt im Mittel bei 4 ± 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 Personen (24 %) leben zu zweit in einer 3.5 Zimmer Wohnung, jeweils rund 10 % leben alleine in einer 2.5 Zimmer Wohnung, zu dritt oder zu viert in einer 4.5 Zimmer Wohnung ($N = 258$). 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.

5.3 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 21). 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.

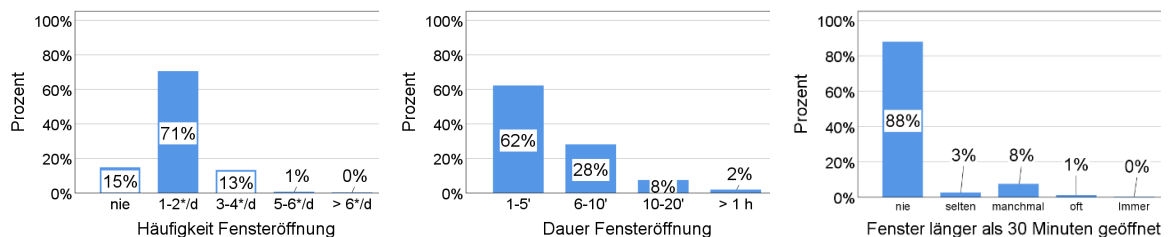


Abbildung 21: Nutzerverhalten bezüglich Fensterlüftung

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 Lüfungszeit. Weniger Nutzer (15 %, $N = 36$) haben eine Lüfungszeit 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 Nutzern das Schlafzimmerfenster nachts geöffnet. Bei der Gruppe mit 2 - 10 Minuten Lüfungszeit und bei der Gruppe mit 6 - 20 Minuten Lüfungszeit sind dies jeweils 5 % ($N = 12$, $N = 13$). Für diese Gruppen resultieren insgesamt zwischen 8 und 8.5 h Lüfungszeit 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 ($\bar{x} = 2.0$ (2 = «manchmal», 3 = «häufig»), $s = 1.6$, $N = 212$). 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 17). Tendenziell lüften diejenigen 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» ($\bar{x} = 2.8$ (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, der nicht zu kalt ist, lüftet tendenziell etwas länger. Es lassen sich keine Korrelationen feststellen.

Die Luftfeuchtigkeit in der Wohnung bewerten 53 % als angenehm ($\bar{x} = 3.8$ (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. Die trockene Luft könnte also auch durch das Nutzerverhalten bedingt sein.

Mit der Luftqualität sind 56 % «eher zufrieden» oder «zufrieden» ($\bar{x} = 3.9$ (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.



Tabelle 18: Untersuchung Nutzerverhalten Fensterlüftung hinsichtlich Zufriedenheit und Bewertung unterschiedlicher Parameter. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_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
Häufigkeit Fenster offen (HFO)	<i>D</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$\bar{x}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$\bar{s}$	1.0	1.1	0.95	1.1	1.1	0.95	1.1	1.0	0.99	1.0
	<i>N</i>	135	76	117	79	92	115	56	160	100	115
	τ_b	-		-		-0.150*		-		-	
Dauer Fensteröffnung (DF)	<i>D</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$\bar{x}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$\bar{s}$	1.5	1.7	1.5	1.6	1.7	1.4	1.4	1.6	1.7	1.5
	<i>N</i>	131	75	112	77	89	110	55	153	94	111
	τ_b	-		-		-0.182**		-		-	
Tagsüber Fensteröffnung > 30 Minuten (TF30)	<i>D</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\bar{x}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\bar{s}$	0.22	0.33	0.17	0.40	0.33	0.16	0.25	0.25	0.24	0.32
	<i>N</i>	133	75	112	78	90	111	57	154	96	111
	τ_b	-		-0.188**		-0.153*		-		-	
Räume mit Fenster nachts immer offen? (RNFO)	<i>D</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	<i>N</i>	29	26	30	25	25	27	11	56	28	29
	τ_b	-		-		-		-		-	

Geräusche von aussen werden von 46 % «manchmal» ($\bar{x} = 1.6$ (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 offenstehen (> 30 Minuten). Es bestehen nur eine hochsignifikante Korrelation zwischen Lärme von aussen und einer Fensteröffnung von > 30 Minuten.



5.4 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.

5.4.1 Planung Lüftungssystem (12 Gebäudetypen)

Von 12 Gebäudetypen verfügen zum Zeitpunkt der Befragung neun Gebäudetypen über eine permanent laufende Abluftanlage (ZH_1_1 – ZH_1_9, ZH_4, GS, SD, ZH_5, DT_1, DT_2, DT_3, HO, siehe Tabelle 15). Damit ist die Gruppe mit einer permanent laufenden Abluftanlage zahlenmässig deutlich grösser als die Gruppe mit intermittierend betriebener (z. B. während der Badbenutzung) Abluftanlage. Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse sind daher eher zurückhaltend zu bewerten.

Zunächst wird die Hypothese untersucht, 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 untersucht, ob die Bewohner nochmals in eine Wohnung mit Fensterlüftern und Abluftanlage ziehen würden («Zufriedenheit mit den Fensterlüftern», Abbildung 22). Unabhängig von der Betriebsweise der Anlage ist dies bei 47 % der Fall, bei 36 % «eventuell», ($\bar{x} = 1.0$, $D = 2$ (1 = «eventuell», 2 = «ja»), $N = 251$). Beim Vergleich der Gruppen in Abhängigkeit von der Betriebsweise der Anlage ergeben sich kleine Differenzen, d. h. die Bewohner mit intermittierend betriebener Anlage sind etwas zufriedener (ihre Anzahl ist aber auch geringer, siehe Abbildung 22)

Insgesamt ist bei 80 % der Befragten das momentane Wohlbefinden bei Ausfüllen des Fragebogens «eher gut» oder «gut» ($\bar{x} = 1.9$ (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» ($\bar{x} = 4.5$ (4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»), $s = 0.8$, $N = 213$). Beim Vergleich der Mittelwerte ist die Zufriedenheit mit der Wohnung bei intermittierend betriebener Abluftanlage etwas höher. Umgekehrt verhält es sich bei der Zufriedenheit mit der Luftqualität, die bei der permanent betriebenen Abluftanlage etwas höher ist. Beide Differenzen sind jedoch 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 ($\bar{x} = 0.60$ (0 = «nie», 1 = «selten»), $s = 1.1$, $N = 232$). In der Gruppe mit intermittierender Abluft ist der Mittelwert höher, was auf eine etwas stärkere Geräuschbelästigung hinweist. Allerdings ist diese Mittelwertdifferenz nicht signifikant. Es kann aber eine sehr schwache gegenläufige Korrelation ($\tau_b = -0.187^{**}$) festgestellt werden.



Tabelle 19: Untersuchung Gruppe mit permanent und intermittierend betriebener Abluftanlage hinsichtlich Zufriedenheit und Bewertung unterschiedlicher Parameter. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_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 Fenster- lüftern (ZF)	Momentanes Wohlbefinden (MW)	Zufriedenheit mit Wohnung (ZW)	Zufriedenheit Luftqualität (ZL)	Fenster nachts offen (FNO)	Geräusche Abluftanlage (GAN)
Abluftanlage permanent	<i>D</i>	2.0	2.0	5.0	5.0	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	1.0	2.0	5.0	5.0	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{s}$	-	1.9	4.5	4.0	-	0.56
	<i>N</i>	231	63	194	186	49	213
Abluftanlage intermittierend	<i>D</i>	2.0	1.0	5.0	3.0	«Schlafz.»	0.00
	$\bar{x}$	2.0	1.0	5.0	4.0	«Schlafz.»	1.00
	$\bar{s}$	-	1.7	4.7	3.6	-	1.1
	<i>N</i>	26	27	25	27	13	25
τ_b		-	-	-	-	-	-0.187**

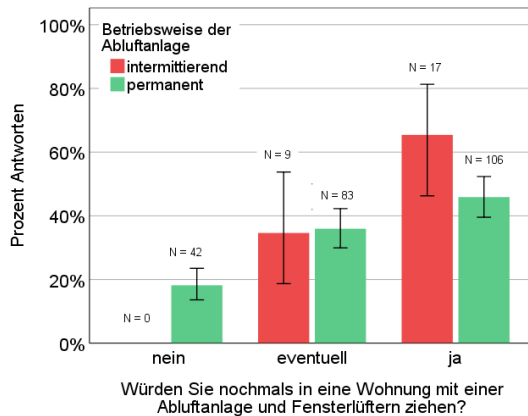


Abbildung 22: Zufriedenheit mit Fensterlüftern in Abhängigkeit vom Betriebsmodus der Abluftanlage, Angabe Fehlerbalken auf 95 %-Niveau.

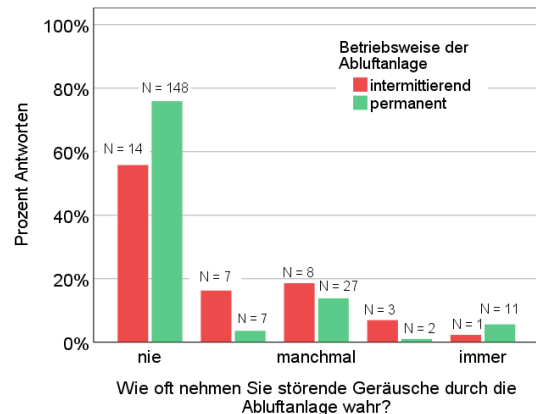


Abbildung 23: Störung durch Geräusche von der Abluftanlage in Abhängigkeit von der Betriebsweise der Anlage, Angabe Fehlerbalken auf 95 %-Niveau.

Bei der Planung eines Lüftungskonzeptes mit Fensterlüftern muss bei der Auslegung differenziert werden zwischen dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel und dem Feuchteschutzluftwechsel [16]. In beiden Fällen sollte jeder Raum, in dem sich Personen länger aufhalten, mit (mindestens) einem Fensterlüfter ausgestattet sein [17]. 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.

5.4.2 Typ und Zusatzausstattungen Fensterlüfter (11 Gebäudetypen)

Die meisten der Gebäudetypen haben Fensterlüfter, die im oberen Bereich des Blendrahmens oder im Sturz integriert sind (Abbildung 25). 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 Zugerscheinungen auftreten. Dies wird durch die statistische Auswertung bestätigt (Abbildung 24).

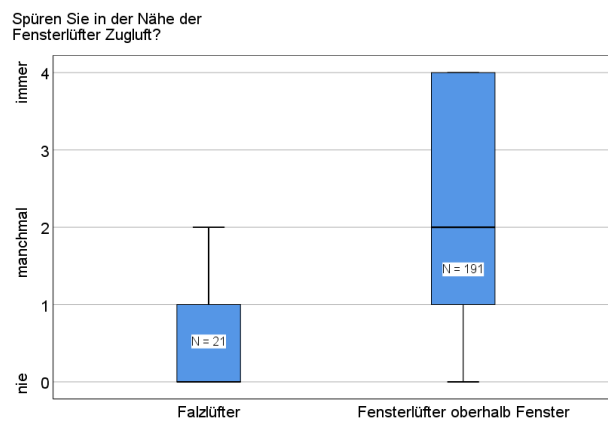


Abbildung 24: Boxplot Zufriedenheit mit Zugluft in Abhängigkeit von der Position des Fensterlüfters.



Abbildung 25: Fensterlüfter im oberen Bereich des Fensters.

Interpretationshilfe Boxplot: 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 mit einem Querstrich 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.

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: $\bar{x} = 2.2$, $N = 191$; 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. Da beim vorgängigen Vergleich in der Gruppe mit Fensterlüftern oberhalb des Fensters als Wärmeabgabesystem Fussbodenheizungen und Radiatoren zusammengefasst waren, entsteht die Frage, ob der Vergleich ebenso ausfällt, wenn Falzlüfter und Fensterlüfter oberhalb des Fensters im Zusammenhang mit Radiatoren verglichen werden. Die Aussage bestätigt sich: 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: $\bar{x} = 2.0$, $N = 35$; Falzlüfter: $\bar{x} = 0.48$, $N = 21$; Interpretationshilfe: 0 = «nie», 1 = «selten», 2 = «manchmal», $\tau_b = -0.301^{**}$).



Anmerkung: weitere Informationen zum Zusammenhang zwischen Fensterlüfter und Wärmeabgabesystem finden sich in Kapitel 5.4.3.

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, WT). 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: $\bar{x} = 3.9$, $N = 187$, Fensterlüfter ohne Filter: $\bar{x} = 3.8$, $N = 20$; Interpretationshilfe: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden»). Dies gilt auch für die Störung durch Geräusche von aussen, die ja theoretisch durch einen Filter gemindert werden könnten (Fensterlüfter mit Filter: $\bar{x} = 1.7$, $N = 177$, Fensterlüfter ohne Filter: $\bar{x} = 1.2$, $N = 20$, 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 25, unteres Bild). Einen nicht verstellbaren Fensterlüfter zeigt das obere Foto auf Abbildung 25. Da nicht alle Bewohner eine Einweisung in die Lüftungstechnik erhalten haben (siehe Abschnitt 5.5) 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 unterscheiden sich aber nicht signifikant (Fensterlüfter verstellbar: $\bar{x} = 1.7$, $N = 36$, Fensterlüfter nicht verstellbar: $\bar{x} = 2.1$, $N = 176$; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «oft») und es tritt 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 Gruppe können 19 % ($N = 4$) die Fensterlüfter aktiv verstellen. Für eine statistische Auswertung sind diese absoluten Zahlen zu klein.

5.4.3 Sonstige Planungsfragen (11 Gebäudetypen)

In [5] wurde mittels zonaler Strömungssimulationen aufgezeigt, in welchem Umfang mit zunehmender Gebäudehöhe (ab dem 3. OG) der Luftwechsel über die Fensterlüfter steigt. Damit können auch Beschwerden über Zugluft zunehmen. Gemäss der Unterteilung aus [5] wird nun die Gruppe ≤ 2 . OG und diejenige ≥ 3 . OG untersucht. Rund 60 % der Befragten leben in Wohnungen 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. (≤ 2 . OG: $\bar{x} = 1.9$, $N = 88$, ≥ 3 . OG: $\bar{x} = 2.2$, $N = 116$; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal», 3 = «oft»). Es können keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden.

Die Mehrzahl der Gebäudetypen (in der Befragung sieben Gebäudetypen) verfügt über Heizkörper als Wärmeabgabesystem. Diese Gebäudetypen weisen aber deutlich weniger Antworten auf (Abbildung 26). In vier Gebäudetypen wird die Wärme über eine Fussbodenheizung abgegeben. In Kombination mit Fensterlüftern sind gemäss [18] und [19] 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: $\bar{x} = 1.5$, $N = 56$, Fussbodenheizung: $\bar{x} = 2.3$, $N = 156$; Interpretationshilfe: 1 = «selten», 2 = «manchmal»; 3 = «oft»; $\tau_b = -0.207^{**}$).

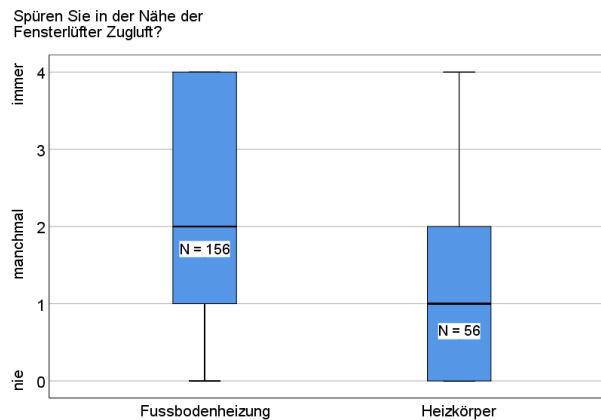


Abbildung 26: Bewertung von Zugluft in Abhängigkeit von der Wärmeverteilung.

5.5 Lohnt sich eine Nutzerinformation? (11 Gebäudetypen)

Da Fensterlüfter einen gewissen 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 sind und ob sie zum sachgemässen Lüften angehalten wurden. Abbildung 27 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 ($N = 72$).

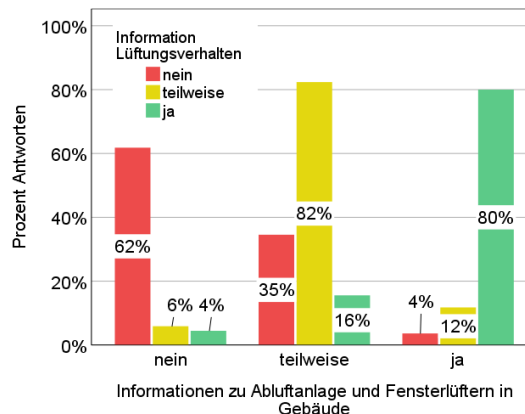


Abbildung 27: Informationen zum Lüftungsverhalten in Abhängigkeit vom Erhalt von Informationen zum Lüftungskonzept des Gebäudes. Lesebeispiel: in der Gruppe, die keine Informationen zum Lüftungsverhalten bekommen haben, sind auch 62 % nicht über das Lüftungskonzept des Gebäudes informiert worden.

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: $\bar{x} = 1.1$, $N=32$, «Information»: $\bar{x} = 1.3$, $N=217$; 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» unterbinden 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 Fragen, bei denen diese Gruppe weiter unterteilt wird, eher vorsichtig zu interpretieren sind.

Tabelle 20: Untersuchung Gruppe mit Informationen zum Lüftungskonzept und zum Lüftungsverhalten hinsichtlich selbstberichtetem Lüftungsverhalten. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_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 Fenster- öffnung > 30 Minuten (TF30)	Räume mit Fenster nachts immer offen? (RNFO)
Information ja	<i>D</i>	1.0	1.0	0.0	1.0
	$\bar{x}$	1.0	1.0	0.0	-
	$\bar{x}$	0.9	1.8	0.2	-
	<i>N</i>	219	209	209	52
Information nein	<i>D</i>	1.0	1.0	0.0	1.0
	$\bar{x}$	1.0	1.0	0.0	-
	$\bar{x}$	1.0	1.5	0.4	-
	<i>N</i>	34	34	33	8
	τ_b	-	-	-0.147*	-

5.6 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. 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 21) feststellbar. Nachfolgend werden alle untersuchten Parameter einzeln betrachtet. Dabei wird auch untersucht, welcher Gebäudetyp bei der Bewertung einzelner Parameter besonders gut oder schlecht abschneidet.

Betreffend Zugluft haben die beiden Gebäudetypen SD ($\bar{x} = 0.3$, $N = 8$) und GS ($\bar{x} = 0.6$, $N = 13$) den niedrigsten = besten Mittelwert (Wärmeabgabe Heizkörper). Dies könnte an den Falzlüftern (siehe Kapitel 5.4) liegen. Den höchsten Mittelwert haben die Gebäude ZH_1_4 ($\bar{x} = 3.1$, $N = 7$), ZH_1_2 ($\bar{x} = 3.0$, $N = 20$) und ZH_1_5 ($\bar{x} = 3.0$, $N = 14$).

Bei der Bewertung der Luftqualität hat der Gebäudetyp 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 Gebäudetyp DT_3 auf ($\bar{x} = 4.8$, $N = 5$), der insgesamt auch eine eher schlechte Bewertung beim Thema Zugluft aufweist ($\bar{x} = 2.7$, $N = 4$). 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 ($\bar{x} = 3.9$, $N = 20$). Die Gebäude mit den tiefsten Raumtemperaturen sind die Gebäude ZH_1_4 ($\bar{x} = 2.0$, $N = 4$) und ZH_1_2 ($\bar{x} = 2.1$, $N = 23$). 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.

Tabelle 21: 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 τ_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)	Zufrieden- heit Luft- qualität (ZL)	Bewertung Luftfeuch- tigkeit (BL)	Bewertung Temperatur (BT)	Geräusche von aussen (GAU)	Geräusche Abluftan- lage (GAN)	Zufrieden- heit mit Fenster- lüftern (ZF)	Zufrieden- heit mit Wohnung (ZW)
<i>D</i>	4.0	5.0	3.0	3.0	2.0	0.0	2.0	5.0
$\bar{x}$	2.0	4.0	3.0	3.0	3.8	0.0	1.0	5.0
$\bar{x}$	2.1	3.9	3.8	2.8	2.0	0.60	1.3	4.6
<i>N</i>	210	205	213	215	195	230	249	211
<i>s</i>	1.6	1.2	1.0	1.2	1.6	1.1	0.7	0.84
τ_b	-	0.171**	-	-	0.235**	-0.213**	-	-0.120*

Insgesamt wird eher über trockene Luft und nicht über zu feuchte Luft berichtet. Die Gebäude mit der trockensten Luft sind ZH_1_3 ($\bar{x} = 4.3$, $N = 16$), das zugleich auch das wärmste Gebäude ist, ZH_1_5 ($\bar{x} = 4.1$, $N = 14$) und ZH_1_6 ($\bar{x} = 4.1$, $N = 16$). Alle genannten Gebäude weisen eine



Fussbodenheizung auf. Das Gebäude mit der angenehmsten Raumluftfeuchte ist der Gebäudetyp 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 Gebäudetyp. Über Schimmel wird hier von zwei Nutzern berichtet.

Störende Geräusche von aussen treten am stärksten im Gebäude ZH_1_4 ($\bar{x} = 2.9$, $N = 9$) 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 Gebäudetyp ZH_5 ($\bar{x} = 0.7$, $N = 18$). 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 Gebäudetyp, also der Lage, und störenden Geräuschen von aussen auf. Geräusche von der Anlage werden am störendsten in den Gebäudetypen GS ($\bar{x} = 2.3$, $N = 13$) und SD ($\bar{x} = 1.6$, $N = 8$) 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 Gebäudetyp und störenden Geräuschen von der Anlage.

Am unzufriedensten mit den Fensterlüftern sind die Bewohner von ZH_1_5 ($\bar{x} = 0.8$, $N = 18$) und ZH_1_4 ($\bar{x} = 1.0$, $N = 8$). Dies sind die Gebäude, die bei der Zugluft, tiefen Raumtemperaturen und trockener Luft negativ auffallen. Sehr zufrieden sind die Bewohner von den Gebäudetypen BB ($\bar{x} = 1.7$, $N = 14$) ZH_3 ($\bar{x} = 1.7$, $N = 6$) und ZH_5 ($\bar{x} = 1.7$, $N = 18$).

Die Zufriedenheit mit der Wohnung ist insgesamt eher hoch. Am unzufriedensten mit der Wohnung selber sind die Bewohner von ZH_1_5 ($\bar{x} = 3.7$, $N = 11$), am zufriedensten sind die Bewohner vom Gebäudetyp WT ($\bar{x} = 4.8$, $N = 6$, mit eher grosszügig ausgestatteten Wohnungen) und ZH_1_8 ($\bar{x} = 4.8$, $N = 21$). Es besteht eine sehr schwache, signifikante Korrelation zwischen dem Gebäudetyp und der Zufriedenheit mit der Wohnung.

5.7 Befragungsergebnisse der Messgebäude

Im Mittel bewerten alle Befragten die Raumtemperatur als angenehm mit einer leichten Tendenz zu «kühl» ($\bar{x} = 2.8$ (2 = «kalt», 3 = «angenehm»), $s = 1.2$, $N = 126$ aus 217). Dies deckt sich mit dem mittleren Votum der Bewohner der Gebäudetypen BB ($N = 15$) und DT_3 ($N = 5$). Die Bewohner des Gebäudetyps ZH_5 ($\bar{x} = 3.1$, $N = 18$) und ZH_3 ($\bar{x} = 3.2$, $N = 6$) sind etwas zufriedener mit der Raumtemperatur als der Durchschnitt. Die Luftfeuchtigkeit wird von allen Befragten als eher trocken wahrgenommen ($\bar{x} = 3.8$ (3 = «angenehm», 4 = «trocken»), $s = 1.0$, $N = 114/215$). Dies deckt sich mit den Bewertungen aus dem Gebäudetyp ZH_5 ($\bar{x} = 3.8$, $N = 18$), wohingegen die Bewohner in den drei anderen Gebäudetypen (DT_3: $\bar{x} = 3.6$, $N = 5$, ZH_3 und BB: beide $\bar{x} = 3.5$, $N = 6$, bzw. $N = 15$) etwas zufriedener zu sein scheinen. Befragt zur Luftqualität äussern sich die Bewohner in allen Gebäudetypen eher zufrieden ($\bar{x} = 3.9$ (3 = «mittelmässig», 4 = «eher zufrieden»), $s = 1.2$, $N = 115$ aus 207). Der Gebäudetyp DT_3 übertrifft dieses Urteil sogar ($\bar{x} = 4.8$, $N = 5$). Die anderen Gebäudetypen liegen im Bereich zwischen $\bar{x} = 3.3$ (ZH_3, $N = 6$), $\bar{x} = 3.4$ (BB, $N = 14$) und $\bar{x} = 3.7$ (ZH_5, $N = 18$). Die Bereitschaft wieder in ein Gebäude mit Fensterlüftern zu ziehen existiert mehr oder weniger in allen Gebäudetypen. Sie wird hier als Zufriedenheit mit den Fensterlüftern interpretiert ($\bar{x} = 1.31$ (1 = vielleicht, 2 = ja), $s = 0.74$, $N = 251$). In drei der Gebäudetypen, in denen Messungen gemacht wurden, ist die Zufriedenheit höher (BB: $\bar{x} = 1.7$, $N = 14$; ZH_3: $\bar{x} = 1.7$, $N = 6$, ZH_5: $\bar{x} = 1.7$, $N = 18$), in einem Gebäudetyp deckt sich das Votum mit der Gesamtheit (DT_3: $\bar{x} = 1.4$, $N = 5$). Von allen Befragten berichten insgesamt 8 % ($N = 21/263$) über Schimmelprobleme. Hauptsächlich treten diese im Bad auf. Mit Ausnahme von Gebäudetyp ZH_3 ($N = 6$) tritt in den drei anderen Gebäudetypen Schimmel



auf: Im Gebäudetyp BB sind eine ($N = 14$), in ZH_5 drei ($N = 18$) und in DT_3 ($N = 5$) sind zwei Wohnungen betroffen.

5.8 Zusammenfassung und Diskussion Nutzerbefragung

Mit der hier vorgestellten Befragung liegen Antworten von 270 Nutzern aus 28 Gebäuden vor. 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 [20] beträgt der Mittelwert für die Fensteröffnungsdauer aus 10 untersuchten Wohnungen mit Abluftelementen 15 % des Tages (= 3.6 h). In [21] 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 Bad/WC mit Fenster). In [22] werden diverse Untersuchungen zusammengefasst: Danach werden in Gebäuden ohne Lüftungsanlage 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 ähnliche Ergebnisse. Dies gilt z. B. für eine Arbeit [23], 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 [24] 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». Dies könnte auch durch das Nutzerverhalten bedingt sein, da die Gruppe, die über trockene Luft klagt, etwas länger lüftet. 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 [24] 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 klagen, 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 [24] 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 [18], [19].

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.



6 Messungen

6.1 Resultate Kurzzeitmessungen

6.1.1 Übersicht Luftvolumenströme pro Wohnung

Ziel der Volumenstrommessungen ist die Überprüfung der Zu- und Abluftvolumenströme in den Wohnungen. Anhand der Anzahl Räume kann weiter ein Vergleich mit den normativ empfohlenen Zu- und Abluftmengen für die Wohnungen vorgenommen werden.

Die Volumenstrommessungen können in sieben von acht Wohnungen durchgeführt werden. In der Wohnung ZH_5:b (I) ist die Volumenstrommessung mit dem FlowFinder nicht möglich, da die Druckschwankungen aufgrund von äusseren Bedingungen (Wind) zu hoch sind.

Abbildung 28 zeigt die Volumenströme (m^3/h), Abbildung 29 zeigt die Luftmassenströme (kg/h), bei geöffneten Türen.

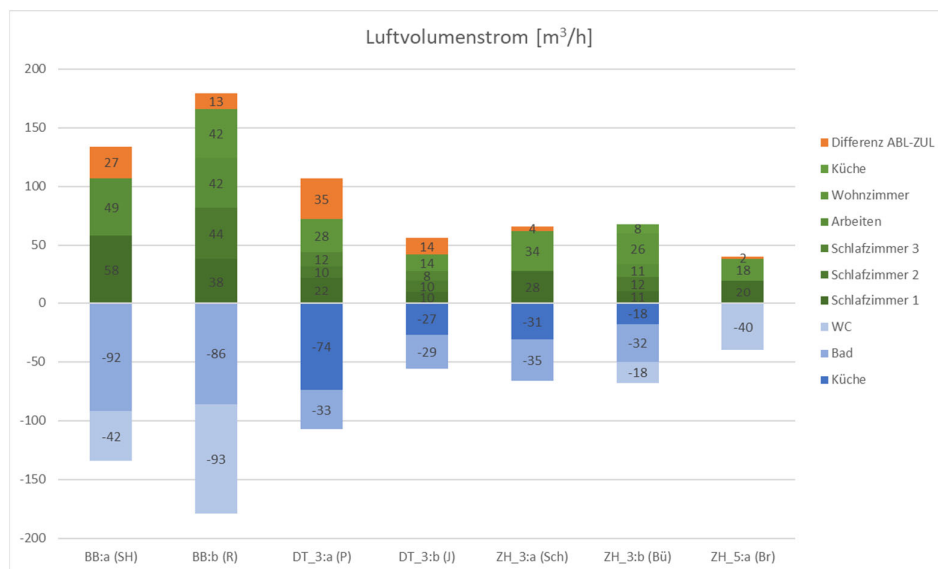


Abbildung 28: Zu- und Abluftvolumenströme [m^3/h], alle Wohnungen ausser ZH_5:b (I). Verwendete Abkürzungen: AB = Abluft, ZUL = Zuluft. Anmerkung zur Differenz AB – ZUL: Neben der Infiltration kann diese eine Messunsicherheit beinhalten.

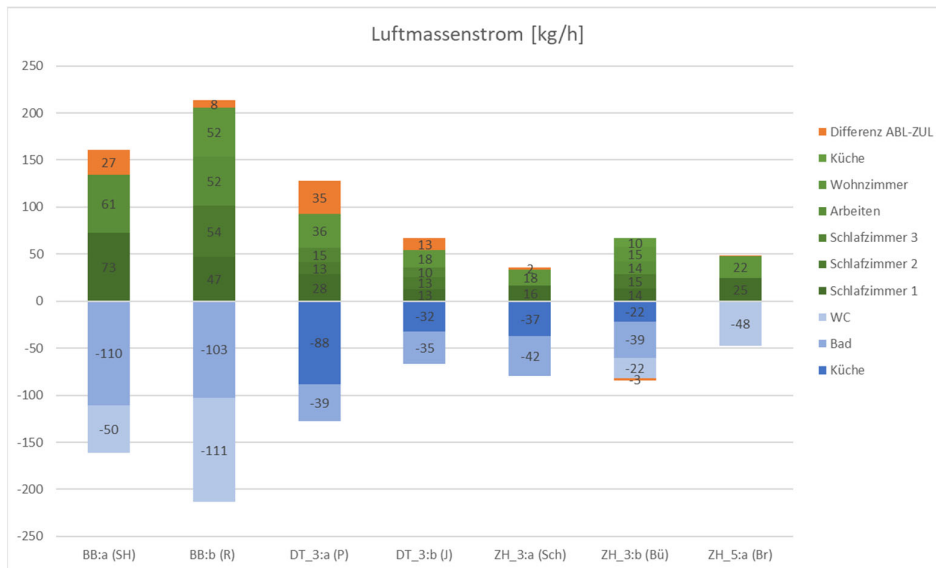


Abbildung 29: Zu- und Abluftvolumenströme in [kg/h] alle Wohnungen ausser ZH_5:b (I). Verwendete Abkürzungen: AB = Abluft, ZUL = Zuluft. Anmerkung zur Differenz AB – ZUL: Neben der Infiltration kann diese eine Messunsicherheit beinhalten.

In den Wohnungen BB:a (SH) und BB:b (R) werden die grössten Volumenströme gemessen, in der Wohnung ZH_5:a(Br) die kleinsten. Um eine Bewertung der Luftvolumenströme zu ermöglichen, werden die Messresultate nachfolgend mit den Sollluftmengen für die Aussen- und Abluftvolumenströme aus SIA 2023 [9] (Tabelle 10) verglichen.

Abbildung 30 zeigt das Verhältnis der gemessenen und der normativ auszulegenden Zu- und Abluftvolumenströme. Für die geplanten Luftvolumenströme gelten die Werte aus Tabelle 21. In fünf von sieben gemessenen Wohnungen werden die Vorgaben gemäss Norm nicht erreicht.

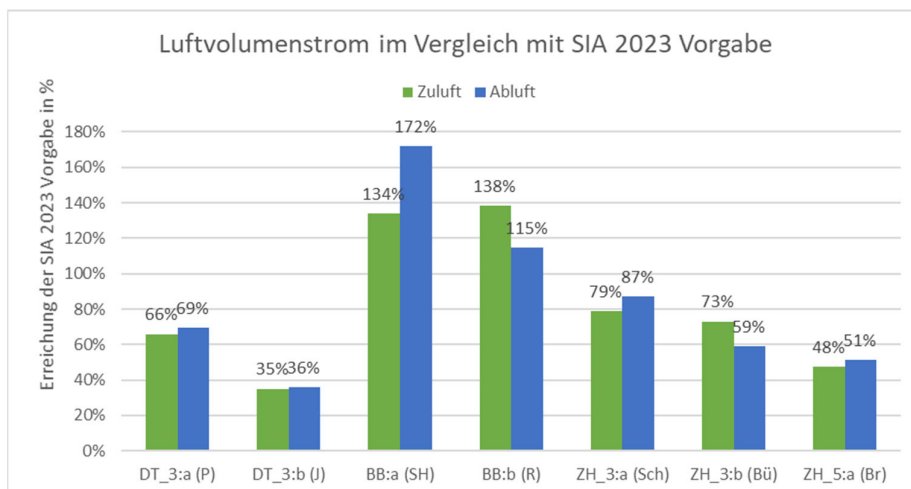


Abbildung 30: Vergleich der Zu und Abluftvolumenströme gemäss SIA 2023. Werte > 100 % bedeuten eine Überschreitung und damit eine Übererfüllung der normativen Vorgaben.



Bemerkungen zu einzelnen Wohnungen

- BB:a (SH) und BB:b (R): Die Wohnungen besitzen Dunstabzugshauben mit Abluftbetrieb, daher kann, gemäss SIA 2023 auf eine Abluft in der Küche verzichtet werden. In der Wohnung BB:b (R) sind auf den Planunterlagen zwei Bäder (Badzimmer/Dusche) eingezeichnet, umgesetzt wurde nur ein Bad, der zweite Auslass wurde trotzdem installiert.

Zuluftvolumenströme im Detail

Tabelle 22 zeigt die gemessenen Aussenluft-Volumenströme in der Wohnung und im Schlafzimmer (hier wird das Schlafzimmer betrachtet, in welchem auch die CO₂-Messung durchgeführt wird). Die spezifischen Werte werden auf die in der Wohnung, bzw. im Schlafzimmer anwesenden Personen bezogen. Der Volumenstrom in der Wohnung mit geschlossenen Zimmertüren liegt zwischen 38 und 166 m³/h ($\pm 5\%$). Wird der Aussenluft-Volumenstrom in Bezug auf die Belegung der Wohnung ermittelt, so liegen die Werte zwischen 8 und 62 m³/h ($\pm 5\%$). Mit Bezug auf den geforderten Aussenluft-Volumenstrom tagsüber von 30 m³/(h P), so ist der Bedarf in vier Wohnungen (Gebäudetyp BB, ZH_5 und ZH_3:a (Sch)) gedeckt. In drei Wohnungen (Gebäudetyp DT_3:a (P), DT-3:b (J) und ZH_3:b (Bü)) ist der Bedarf nicht gedeckt. Dies gilt in denselben Wohnungen auch für die Schlafzimmer, in denen der Sollwert von 15 m³/(h P) deutlich unterschritten wird.

In den Wohnungen ZH_3:b (Bü), DT_3:a (P) und DT_3:b (J) liegen die spezifischen Zuluftvolumenströme in den Schlafzimmern deutlich unter den in der Norm geforderten 15 m³/h*P. Eine CO₂-Konzentration von maximal 1'350 ppm kann so nicht gewährleistet werden. Dies bestätigt auch die Messung der CO₂-Werte, deren Ergebnisse in Kapitel 6.2.4 vorgestellt werden.

Tabelle 22: Gemessener Aussenluft-Volumenstrom in der Wohnung und im Schlafzimmer (mit geschlossenen Türen). Die Belegung, auf die sich die spezifischen Angaben beziehen, entspricht den Bewohnerangaben zur Normalbelegung. Verwendete Abkürzungen: Whg. = Wohnung, SZ = Schlafzimmer, P = Person, Er = Erwachsene Person, Ki = Kind, Ju = Jugendliche Person.

Bezeichnung	Belegung Whg. gem. Angaben Bewohner [P]	Zuluft- volumen- strom Whg. [m ³ /h]	spez. Zuluft- volumen- strom pro P [m ³ /(h P)]	Belegung Schlaf- zimmer [P]	Zuluft- volumen- strom SZ [m ³ /h]	spez. Zuluft- volumen- strom SZ pro P [m ³ /(h P)]
DT_3:a (P)	1 Er, 2 Ju	72 (± 6)	24	1 Ki	10 (± 4)	10
DT_3:b (J)	4 Er, 1 Ki	42 (± 8)	8	2 Er 1Ki	8 (± 4)	3
BB:a (SH)	2 Er	107 (± 4)	54	2 Er	58 (± 3)	29
BB:b (R)	2 Er, 2 Ki	166 (± 7)	42	2 Er	44 (± 3)	22
ZH_3:a (Sch)	1 Er.	62 (± 7)	62	1 Er	29 (± 6)	29
ZH_3:b (Bü)	2 Er, 1 Ki.	68 (± 10)	23	2 Er	12 (± 4)	6
ZH_5:a (Br)	1 Er.	38 (± 6)	38	1 Er	20 (± 4)	20
ZH_5:b (I)	2 Er, 1 Ju, 1 Ki	--	--	2 Er	--	--



Tabelle 23: Vergleich spezifizierter / theoretisch möglicher (bei 4 Pa) und gemessener Volumenströme pro Fensterlüfter und pro Wohnung. Die Messungen werden unter verschiedenen Aussenbedingungen und den daraus resultierenden Druckunterschieden durchgeführt. Verwendete Abkürzungen: a = Wohnung 1, b = Wohnung 2.

	DT_3	BB	ZH_3	ZH_5
Fensterlüfter	Helios ALEF 45	Aerex AL-dB-450-40r	Sonoslot –P475, Renson	Siegenia Aeromat VT, Typ DF2
Vom Hersteller deklarierte Volumenströme pro Fensterlüfter (m³/h)	@ 2 Pa: 12 @ 4 Pa: 18 @ 8 Pa: 28 @10 Pa: 34	@ 4 Pa: 14.0 @ 8 Pa: 20.0 @10 Pa: 22.0	@ 2 Pa: 8.3 @ 4 Pa: 11.8 @ 8 Pa: 17.0 @10 Pa: 19.2	@ 5 Pa: 25
Gemessener Volumenstrom (m³/h) pro Fensterlüfter	8 (± 4 m³) - 28 m³/h (± 2 m³)	18 (± 4 m³) - 30 m³/h (± 2 m³)	8 (± 4 m³) - 20 m³/h (± 4 m³)	9 (± 4 m³) - 18 m³/h (± 4 m³)
Zuluft-Volumenstrom (m³/h) gem. SIA 2023	a: 120 b: 120	a: 60 b: 120*	a: 60 b: 90	a: 60 b: 150
Abluft-Volumenstrom (m³/h) gem. SIA 2023 mit f = 1.3 (Tabelle 11)	a: 156 b: 156	a: 78 b: 156*	a: 78 b: 117	a: 78 b: 195
Theoretisch möglicher Volumenstrom (m³/h) gem. Anzahl Fensterlüfter und 4 Pa Unterdruck	a: 72 b: 72	a: 56 b: 112	a: 48 b: 71	a: 50** b: 150**
Gemessener Volumenstrom (m³/h)	a: 72 (± 6) @ 9 Pa (±0.15) b: 42 (± 8) @ 2 (± 0.15) Pa	a: 107 (± 4) @ 17 (± 0.17) Pa b: 166 (± 7) @ 11 (± 0.15) Pa	a: 62 (± 7) @ 5 (± 0.15) Pa b: 68 (± 10) @ 3 (± 0.15) Pa	a: 38 (± 6) @ 3-4 (± 0.15) Pa b: n. a.

*Auf den Planunterlagen sind 2 Bäder (Badzimmer/Dusche) eingezeichnet, umgesetzt wurde nur ein Bad (der zweite Auslass wurde trotzdem installiert). Mit nur einem Bad würde der Soll-Volumenstrom nur 60m³/h betragen.

**Diese Volumenströme beziehen sich auf einen Unterdruck von 5 Pa (statt 4 Pa).

In Tabelle 23 sind die gemessenen Volumenströme pro Fensterlüfter im Vergleich gegeben. Die Messungen werden unter veränderlichen Aussenbedingungen und unterschiedlichen Druckdifferenzen durchgeführt. Bezogen auf den gemessenen Volumenstrom pro Fensterlüfter variiert bei allen Gebäudetypen der Wert von Element zu Element stark. Im Vergleich zwischen Messwert und Herstellerangaben lässt sich folgendes beobachten:

- ZH_3 (Sonoslot –P475, Renson): die gemessene und vom Hersteller angegeben Spannweite sind im ähnlichen Bereich.
- ZH_5 (Siegenia Aeromat VT, Typ DF2): die gemessene Spannweite ist niedriger als der vom Hersteller angegebene Wert (Achtung: es wurde nur in einer Wohnung gemessen, zudem ist der Unterdruck in der gemessenen Wohnung geringer, als die vom Hersteller geforderten 5 Pa).



- BB (Fensterlüfter Aerex AL-dB-450-40r): die gemessene Spannweite ist höher als die vom Hersteller angegebenen Werte (dazu passt, dass in den Wohnungen deutlich grössere Unterdrücke gemessen werden).
- DT_3 (Helios ALEF 45): die gemessene Spannweite ist geringfügig tiefer als der vom Hersteller angegebene Bereich.

Wenn man den gemessenen Volumenstrom insgesamt mit dem theoretisch möglichen vergleicht, so ergeben sich die folgenden Rückschlüsse: In der Wohnung DT_3:b (J) wurde ein deutlich zu tiefer Zuluftvolumenstrom gemessen. Rechnet man aber den Zuluftvolumenstrom aus den Herstellerangaben bei 2 Pa Unterdruck aus (12 m³/h pro Fensterlüfter bei 4 Fensterlüftern in der Wohnung) ergibt sich ein Zuluftvolumenstrom von 48 m³/h, gemessen werden 42 (± 8) m³/h. Fazit: Die Volumenstromangaben des Herstellers befinden sich in einem ähnlichen Bereich, der Unterdruck in der Wohnung ist aber zu gering.

Beim Gebäudetyp BB überschreiten die gemessenen Zuluftvolumenströme die Herstellerangabe sehr stark. Wird jedoch für die Wohnung BB:b (R) aus den Herstellerangaben der Zuluftvolumenstrom bei 10 Pa Unterdruck berechnet (22 m³/h pro Fensterlüfter bei 8 Fensterlüftern in der Wohnung), resultiert ein Volumenstrom von 176 m³/h, gemessen wurden 166 (± 7) m³/h. Fazit: Die Volumenstromangaben des Herstellers befinden sich in einem ähnlichen Bereich, der Unterdruck in den Wohnungen ist aber viel zu hoch.

Bei der Wohnung ZH_3:a(Sch) ist der gemessene Zuluftvolumenstrom trotz ähnlichem Unterdruck leicht höher als die Herstellerangabe, bei der Wohnung ZH_3:B (Bü) liegt der Unterschied im Bereich der Messunsicherheit. In der Wohnung DT_3:b (P) entspricht der gemessene Volumenstrom der zu erwarteten Auslegung, trotz eines zu grossen Unterdrucks in der Wohnung.

Abluftvolumenströme im Detail

Im Merkblatt 2023 und in der SIA FprSIA 382-5 wird als Faktor für die Berechnung des Abluftüberschusses 1.3 (AUL x 1.3 = ABL) angegeben. In der Tabelle 11 sind die Faktoren nach Unterdruck und Gebäudedichtheit angegeben. Abbildung 31 zeigt, wie sich die Faktoren in Abhängigkeit der Gebäudedichtheit und des Unterdruckes verändern.

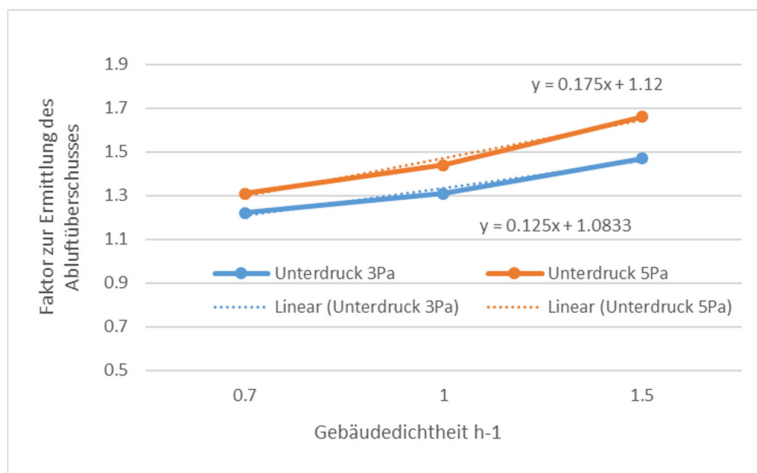


Abbildung 31: Faktor zur Ermittlung des Abluftüberschusses in Abhängigkeit des Gebäudedichtheit und des Unterdruckes



Auf Basis der Daten in Abbildung 31 werden die Faktoren für jedes der Messobjekte bei einem Unterdruck von 3 Pa ermittelt.

Tabelle 24: Vergleich gemessene Abluftvolumenströme mit den bei einem Unterdruck von 3 Pa erforderlichen Abluftvolumenströmen.

	n50,st [h ⁻¹] (gemessen)	Faktor bei 3 Pa	ZUL [m ³ /h] (gem. 2023)	ZUL [m ³ /h] (gemessen)	ABL [m ³ /h] (bei 3 Pa)	ABL [m ³ /h] (gemessen)	Unterdruck [Pa] (gemessen)
DT_3:a (P)	0.632	1.16	120	72 (± 6)	139	107 (± 4)	9 (± 0.15) Pa
DT_3:b (J)	0.776	1.18	120	42 (± 8)	142	56 (± 3)	2 (± 0.15) Pa
BB:a (SH)	0.448	1.14	60	107 (± 4)	68	134 (± 5)	17 (± 0.17) Pa
BB:b (R)	0.368	1.13	120	166 (± 7)	136	179 (± 6)	11 (± 0.15) Pa
ZH_3:a (Sch)	0.8824	1.19	60	62 (± 7)	72	66 (± 3)	5 (± 0.15) Pa
ZH_3:b (Bü)	1.068	1.22	90	68 (± 10)	110	68 (± 6)	3 (± 0.15) Pa
ZH_5:a (Br)	0.464	1.14	60	38 (± 6)	68	40 (± 2)	3 (± 0.15) Pa
ZH_5:b (I)	0.384	1.13	150	--	170	107 (± 4)	3 (± 0.15) Pa
ABL gemessen, mehr als 10% <u>unter</u> dem Wert bei 3 Pa							
ABL gemessen, mehr als 10% <u>über</u> dem Wert bei 3 Pa							
Unterdruck übersteigt die 3 Pa mehr als 100%							

In der Tabelle 24 ist ersichtlich, dass die Überbauung BB auf Grund Ihrer zu hohen Abluftvolumenströme auch zu hohe Unterdrücke in den Wohnungen aufweist. Bei der Wohnung DT_3:a(P) wurde trotz des zu tiefen Abluftvolumenstrom ein erhöhter Unterdruck gemessen, dies weil auch der Zuluftvolumenstrom in Realität zu tief ist. Die Wohnung DT_3:b(J) hat sowohl einen zu tiefen Abluftvolumenstrom als auch einen zu tiefen Unterdruck in der Wohnung.

Damit die Anlage optimal betrieben werden kann, ist es sinnvoll den Abluftvolumenstrom so auszulegen, dass genügend Aussenluft in die Wohnung eingebracht werden kann, ohne dabei einen zu hohen Unterdruck zu erzeugen. Je dichter die Gebäudehülle, desto kleiner ist der dafür nötige Abluftüberschuss.

Luftvolumenströme pro Wohnung in Abhängigkeit von der Position der Zimmertüre (offen / geschlossen)

Ziel dieser Messungen ist es, herauszufinden, welchen Einfluss die Position der Zimmertüren (offen/geschlossen) auf die Durchlüftung der Wohnung hat. Es besteht die Vermutung, dass geschlossene Zimmertüren die Zu- und Abluftströme deutlich reduzieren.

Tabelle 25 zeigt eine Übersicht über die Zuluft- resp. Abluftmengen pro Wohnung, gemessen bei geöffneten und bei geschlossenen Türen, sowie die Solluftmengen gem. SIA 2023 zum Vergleich. Zudem sind die relativen Unterschiede der Messungen und die Höhen der Türspalte enthalten.



Tabelle 25: Übersicht Luftvolumenströme bei offenen und geschlossenen Raum-Verbindungstüren sowie Sollmengen aus SIA 2023 zum Vergleich sowie die Höhen der Türspalte.

	Türen geschlossen		Türen offen		relativer Unterschied		Sollmenge SIA 2023		Türspalt [mm]
	ZUL [m³/h]	ABL [m³/h]	ZUL [%]	ABL [%]	ZUL [m³/h]	ABL [m³/h]	ZUL [m³/h]	ABL [m³/h]	
DT_3:a (P)	72 (± 6)	107 (± 4)	+10%	+1%	79 (± 6)	108 (± 4)	120	80	15
DT_3:b (J)	42 (± 8)	56 (± 3)	+5%	+0%	44 (± 8)	56 (± 3)	120	80	12 bis 15
BB:a (SH)	107 (± 4)	134 (± 5)	+9%	+3%	117 (± 4)	138 (± 5)	60	80	7
BB:b (R)	166 (± 7)	179 (± 6)	+13%	+3%	188 (± 6)	184 (± 7)	120	80	7
ZH_3:b (Bü)	68 (± 10)	68 (± 6)	+7%	+3%	73 (± 10)	70 (± 6)	90	100	6 bis 9
ZH_3:a (Sch)	62 (± 7)	66 (± 2.83)	+2%	+3%	63 (± 7)	68 (± 3)	60	80	9
ZH_5:a (Br)	38 (± 6)	40 (± 2)	+0%	+0%	38 (± 6)	40 (± 2)	60	80	14 bis 25

Ein Zusammenhang zwischen dem Unterschied der Luftmengen bei geschlossenen und geöffneten Türen und der Grösse des Türspaltes hat sich nicht bestätigt.

In denjenigen Objekten, in denen alle Lufteinlässe und Auslässe gemessen werden können, wird eine Luftmengenbilanz erstellt und daraus die Disbalance über die gesamte Wohnung berechnet. In Abbildung 32 bedeutet ein positiver Wert ein Zuluftüberschuss und ein negativer Wert ein Abluftüberschuss. Die Disbalance wird für die Luftmengenmessungen bei geöffneten und bei geschlossenen Türen ermittelt. Die Resultate zeigen, dass bei sechs der sieben bilanzierten Wohnungen beim Messpunkt mit geschlossenen Türen ein Abluftüberschuss vorhanden ist, bei einer Wohnung wird gleich viel Zuluft wie Abluft gemessen. Bei zwei Wohnungen BB:b (R) und ZH_3:b (Bü) wird bei geschlossenen Türen einen leichten Zuluftüberschuss gemessen, dieser ist jedoch bei beiden Wohnungen im Bereich der Messunsicherheit.

Die Höhe der Disbalance ist nicht systematisch abhängig vom Zustand der Türen. Das heisst, sie ist bei vier von sieben Wohnungen grösser, wenn die Türen geschlossen sind.

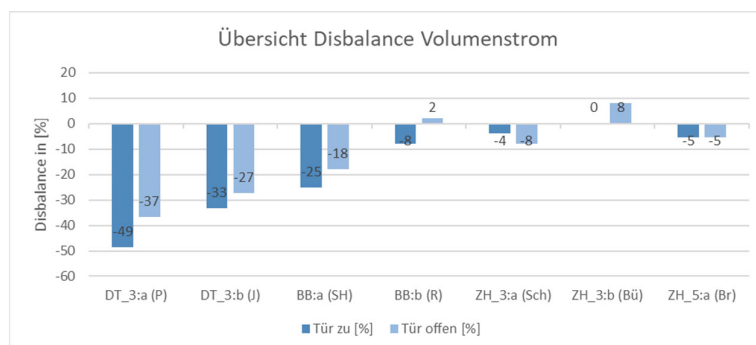


Abbildung 32: Übersichtsdarstellung Disbalance (gerechnet über den Volumenstrom)

Bemerkung: Die Zuluftüberschüsse sind wahrscheinlich auf die Messunsicherheit der Messgeräte (bei kleinen Volumenströmen) zurückzuführen. Weitere theoretisch mögliche Gründe könnten starker Wind (wurde bei der Messung nicht festgestellt) oder ein Stackeffekt sein.



6.1.2 Differenzdruckmessungen

Wie in Abschnitt 6.1.1 gezeigt wird, hat beim Messpunkt mit geschlossenen Türen keine der untersuchten Wohnungen einen Zuluftüberschuss. Eine Quantifizierung des Unterdrucks ist mit der Differenzdruckmessung möglich. Während der Kurzzeitmessungen wird jeweils auch der Differenzdruck zwischen der Wohnung und der Umgebung gemessen. Die drei Wohnungen mit den grössten gemessenen Unterdruck sind DT_3:a (P) und die Wohnungen BB, analysiert man bei diesen Wohnungen die Disbalance, ist zu erkennen, dass diese Wohnungen tendenziell auch grössere Disbalancen aufweisen. Einzig bei der Wohnung DT_3:b (J) wird ein sehr kleiner Unterdruck und eine eher hohe Disbalance gemessen, problematisch bei dieser Messung sind jedoch die sehr kleinen Volumenströme.

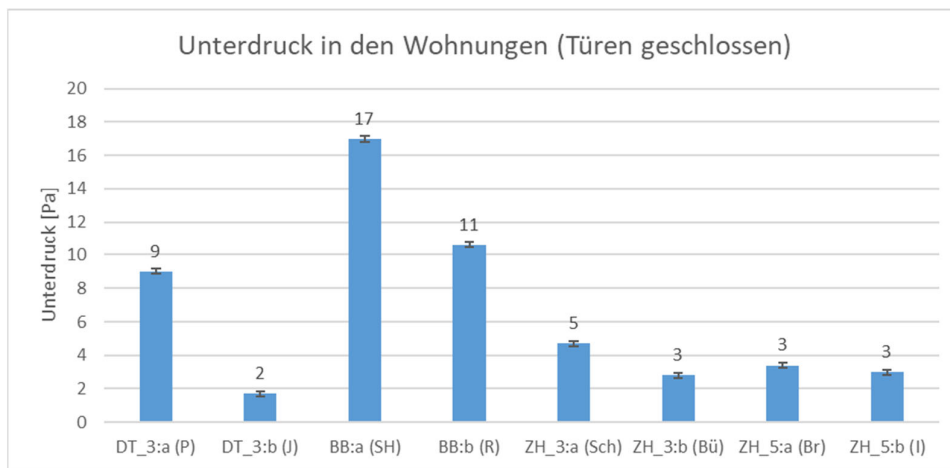


Abbildung 33: gemessener Unterdruck in den Wohnungen (Kurzzeitmessungen)

Gemäss FprSIA 382.5 (Abschnitt 5.4.2.2) sollen Aussenluftdurchlässen (mit einfachen Abluftanlagen) in eingeschossigen Wohnungen auf einen Druckverlust von 4 Pa ausgelegt werden. Daraus resultieren gemäss Norm (Abschnitt 1.7 ff) Unterdrücke zwischen maximal 4 Pa im Zuluftbereich und maximal 6 Pa im Abluftbereich. Dieser maximale Unterdruck wird in fünf der acht gemessenen Wohnungen eingehalten. Bei der Wohnungen BB:b (R) und DT_3:a (P) wird er jedoch um fast 100 % und bei der Wohnung BB:a (SH) um fast 200 % überschritten.

6.1.3 Blower-Door Messungen

Die Messung der Luftdichtheit der Gebäudehülle wird durchgeführt, um zu bestimmen, ob die Aussenluft grösstenteils über die Fensterlüfter oder über Gebäudeundichtheiten nachströmt. Abbildung 34 zeigt die Resultate der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle q_{a50} bei der Bezugsdruckdifferenz von 50 Pa und vergleicht sie mit die Anforderungen nach SIA 180 [13] und nach Minergie (RiLuMi Version 2020.1 [14]).

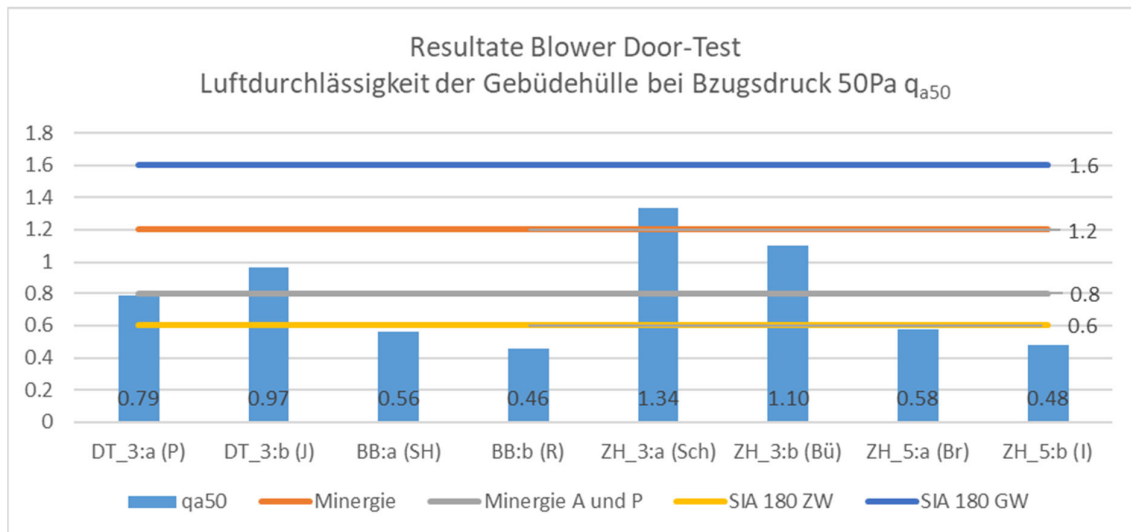


Abbildung 34: Übersicht Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei Bezugsdruck 50 Pa q_{50} .

Alle untersuchten Wohnungen erfüllen den in SIA 180 [13] geforderten Grenzwert für die Luftdichtheit in Neubauten, die Hälfte der Wohnungen unterschreitet den Zielwert. Damit erfüllen sie (rückwirkend) die Forderungen, welche FprSIA 382/5 an Gebäude mit einfachen Abluftanlagen stellt. Bis auf die Wohnung ZH_3:a (Sch) erfüllen alle Wohnungen die Grenzwerte für die Minergie-Zertifizierung. Die Gebäudehüllen der Wohnungen BB: a + b und die Wohnungen ZH_5: a + b erfüllen sogar die Minergie A resp. P Anforderungen. Das heisst, dass alle untersuchten Gebäude eine hohe Dichtheit aufweisen und davon auszugehen ist, dass sie die Zuluft hauptsächlich aus den Fensterlüftern und nicht über Gebäudeundichtheiten beziehen.

Tabelle 26 gibt eine Übersicht über die grössten Leckagen in den Wohnungen.



Tabelle 26: Übersicht der grössten Leckagen (quantitativ). Farbcode: hellrot: gut spürbar, gelb = spürbar

	Fenster-leckagen	Rollladen-kasten	Steck-dosen	Einbau Fenster-lüfter	Spül-kasten	Elektro-vertei-lung	Katzen-tür	Ablauf Lavabo	Wasser-zähler
DT_3:a (P)		spürbar		spürbar					
DT_3:b (J)	gut spürbar (Fenster Bad)			spürbar	gut spürbar				
BB:a (SH)	gut spürbar (Schiebefenster)		gut spürbar	gut spürbar					
BB:b (R)	minimal		gut spürbar	gut spürbar					
ZH_3:a (Sch)	spürbar				spürbar (vor allem Cablecom im SZ)	gut spürbar			gut spürbar (BZ)
ZH_3:b (Bü)	spürbar (Vor allem im WZ)		spürbar (Vor allem im WZ)		spürbar				grosse Leckage (WC)
ZH_5:a (Br)	spürbar (WZ)	spürbar (bei Kurbel)	spürbar					spürbar	
ZH_5:b (I)		gut spürbar (bei Kurbel)		spürbar			grosse Leckage		

6.1.4 Lokale thermische Behaglichkeitsmessung (Zugluft)

Die Messung der lokalen thermischen Behaglichkeit soll Aufschluss über das durch die Aussenluftdurchlässe induzierte Zugluftisiko geben. Da die Aussenluftdurchlässe über keine Wärmerückgewinnung oder Lüfterheizung verfügen, gelangt die Zuluft mit der gleichen Temperatur wie die Aussenluft in den Raum. Dies kann im Winter bei tiefen Aussentemperaturen zu Komfortproblemen führen. Zu erwarten ist, dass die kalte Luft, die oberhalb des Fensters eingeführt wird, zu einem Kaltluftabfall und dadurch zu einem erhöhten Zugluftisiko im Bereich des Fensters und bei den unteren Messstellen führt.

Die Aussenlufttemperaturen sind im Messzeitraum zu hoch: bei der Messung mit den tiefsten Aussenlufttemperaturen liegen diese zwischen 2.5 - 6°C, bei der Messung mit den höchsten Aussenlufttemperaturen, liegen diese zwischen 10 - 18°. Bei diesen ungeeigneten Temperaturen kann kein Zugluftisiko festgestellt werden. Ob es bei tieferen Aussentemperaturen zu Einschränkungen der lokalen thermischen Behaglichkeit kommt, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden.



6.1.5 Zusammenfassung Kurzzeitmessungen

Bei den Kurzzeitmessungen werden die Zu- und Abluftvolumenströme pro Wohnung erfasst. Diese Luftmengen werden mit der theoretisch empfohlenen Luftmenge verglichen. Zudem gibt die Norm Empfehlungen zu der Personenbelegung, bei welcher die geforderten Raumluftqualitäten eingehalten werden kann. Tabelle 27, Zeile 1-3 zeigt in der Übersicht, dass nur der Gebäudetyp BB alle drei Empfehlungen einhält, resp. massiv (ca. 30 – 90 %) überschreitet. Bei den Wohnungen ZH_3:a (Sch) und ZH_5:a (Br) können die personenbezogenen Empfehlungen eingehalten werden, dies auf Grund einer tieferen realen Personenbelegung (nur eine Person pro Wohnung). Beim Gebäude DT_3 und ZH_3:b, wird keine der drei Empfehlungen eingehalten. Speziell bei der Wohnung DT_3:a (P) ist dies überraschend, da das Schlafzimmer nur durch eine Person belegt wird. Die Wohnungen DT_3:b (J) und ZH_5:a (Br) weisen mit 35 und 48 % der geforderten Luftmengen insgesamt die niedrigsten Aussenluftstraten auf. Die Tendenz, dass der gemessene Aussenluftvolumenstrom den geforderten unterschreitet, deckt sich mit Beobachtungen in anderen Forschungsprojekten [25], [26] und [27]. In [25] und [26] werden 50 Neubauten untersucht, etwa die Hälfte davon verfügt über ein mechanisches Zu- und Abluftsystem, die andere Hälfte über ein mechanisches Abluftsystem mit frei nachströmender Zuluft über Zuluftelemente. Bei mehr als 50 % der Gebäude ist der gemessene Luftvolumenstrom kleiner als der geplante (leider wird beim Resultat in den zugänglichen Publikationen nicht explizit zwischen den Lüftungssystemen unterschieden). In [27] werden unter anderem 13 Wohnungen mit Aussenluftdurchlasselementen untersucht. Auch hier werden in der Mehrzahl der Objekte die Sollluftmengen nicht erreicht.

Berechnet man die theoretische Luftmenge, die bei 4 Pa Druckdifferenz über die Fensterlüfter in die Wohnung gelangen kann und vergleicht sie mit der (bei Druckdifferenzen zwischen ca. 2 und 17 Pa) gemessenen Luftmenge, so ergeben sich im Gebäudetyp BB auffallend hohe Überschreitungen, sowohl beim Unterdruck (Tabelle 27, Zeile 6) als auch bei den Luftmengen. Bei der Wohnung DT_3:b (J) werden die Luftmengen und der Unterdruck massiv unterschritten. Vergleicht man die Empfehlung SIA 2023 für die ganze Wohnung (Tabelle 27, Zeile 1) mit dem theoretisch möglichen Aussenluftvolumenstrom (bei 4 Pa Unterdruck, Zeile 4), so wird deutlich, dass im Auslegungsfall in keiner Wohnung der nach Norm geforderte Volumenstrom erreicht werden kann. Es ist daher davon auszugehen, dass schon bei der Auslegung mit tieferen Volumenströmen oder höheren Unterdrücken gerechnet wurde. Bei der Wohnung BB:b weicht die Ausführung von der Planung ab, auf den Planunterlagen sind zwei Bäder eingezeichnet, realisiert wurde aber nur eines. Die zweite Abluft wurde trotzdem umgesetzt. Aus der Messung der Disbalance zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom geht hervor, dass hauptsächlich bei vier Wohnungen (Gebäudetyp DT_3 und BB) das Abluftvolumen deutlich grösser als das Zuluftvolumen ist. Die Ursache dafür ist ein zu gross dimensionierter resp. schlecht einregulierter Abluftvolumenstrom.

Die Messungen der Luftvolumenströme mit offenen und geschlossenen Zimmertüren innerhalb der Wohnung können keinen Zusammenhang zwischen den Luftmengen und dem Schliesszustand sowie der Grösse des Türspaltes zeigen. Auch die Betrachtung der Disbalancen weist in diese Richtung, da sie nur wenig davon beeinflusst werden, ob die Zimmertüren innerhalb der Wohnungen geschlossen oder offen sind.

Die Luftdichtheit aller Wohnungen ist mit q_{50} -Werte zwischen 0.5 und 1.3 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ($\pm 10\%$) hoch. Vier von acht Wohnungen unterschreiten den Zielwert von 0.6, keine Wohnung überschreitet den Grenzwert von 1.6 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. Die meisten Leckagen treten im Bereich der Fenster und im Einbaubereich der Fensterlüfter auf. Die gute Luftdichtheit weist darauf hin, dass die Frischluft in die einzelnen Wohnungen tatsächlich über die Fensterlüfter in die Wohnung gelangt und nicht über Undichtheiten.



Tabelle 27: Zusammenfassung Kurzzeitmessungen. ↑ = höchster Wert, ↓ = tiefster Wert. Farbcode: hellgrün: Anforderung erfüllt, hellrot: Anforderungen nicht erfüllt, grau = auffällige Werte.

		DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
1	Empfehlung SIA 2023 versus gemessener Luftvolumenstrom Whg. [m³/h], Tabelle 22	120 / 72	120 / 42 ↓	60 / 107 ↑	120 / 166	60 / 62	90 / 68	60 / 38	150 / -
2	Gemessener Aussenluftvolumenstrom pro Person in Whg. [m³/h*P], Tabelle 22	24	8 ↓	54	42	62 ↑	23	38	-
3	Gemessener Aussenluftvolumenstrom pro Person im Schlafzimmer. [m³/h*P], Tabelle 22 *	10	3 ↓	29 ↑	22	29 ↑	6	20	-
4	Theoretisch möglicher (bei 4 Pa) versus gemessener Volumenstrom gemäss Anzahl Fensterlüfter [m³/h], Tabelle 22	72 / 72	72 / 42 ↓	56 / 107	112 / 166 ↑	48 / 62	71 / 68	50 / 38	150 / -
5	Disbalance Volumenstrom Tür zu [%], Abbildung 32	- 49 ↑	- 33	- 25	- 8	- 4 ↓	0 ↓	-5	-
6	Unterdruck in den Wohnungen [Pa], Abbildung 33	9	2 ↓	17 ↑	11	5	3 ↓	3	3
7	Ergebnis Blower-Door- Test q _{a50} Abbildung 34	0.79	0.97	0.56	0.46 ↓	1.34 ↑	1.1	0.58	0.48

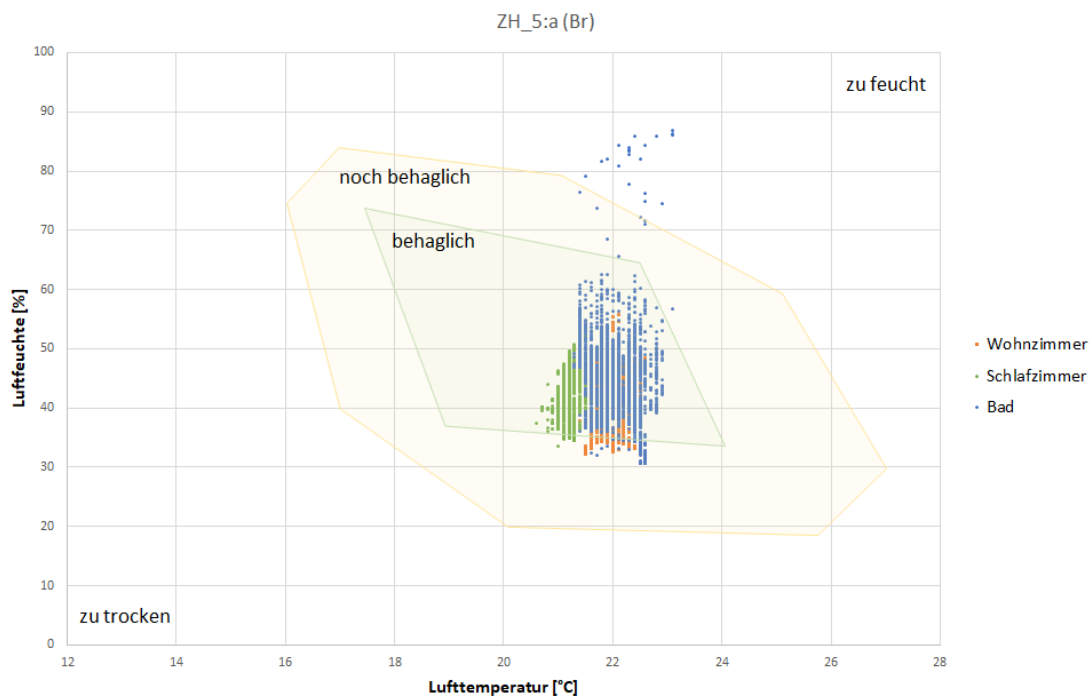
* = Hier wird das Schlafzimmer betrachtet, in welchen auch die CO₂-Messung durchgeführt wird.

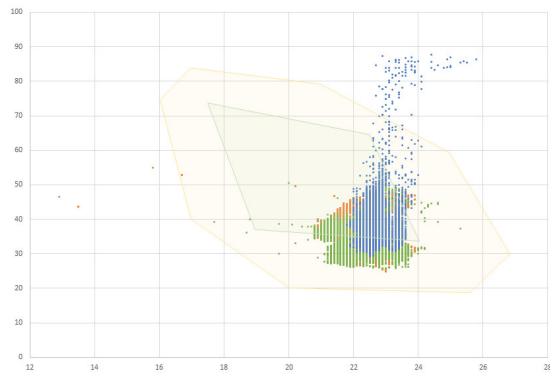


6.2 Resultate Langzeitmessungen

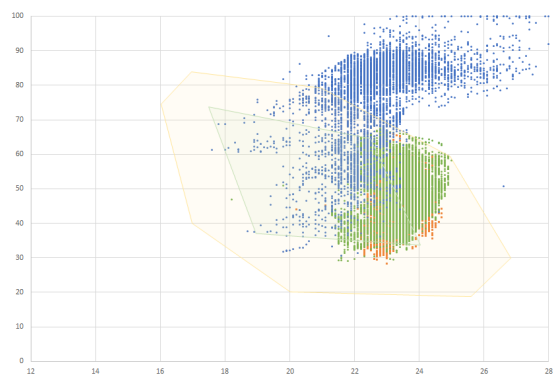
6.2.1 Messung Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Für exemplarische Wohnungen stellen die nachfolgenden Diagramme in Abbildung 35 eine Bewertungsmöglichkeit für den Zusammenhang zwischen relativer Raumluftheuchtigkeit und Raumlufttemperatur dar. Die Diagramme beinhalten alle Messwerte des Winters. Blau gekennzeichnet sind die Messergebnisse für das Bad, grün diejenigen für das Schlafzimmer und rot die für das Wohnzimmer. Befinden sich die Messpunkte innerhalb der hellgrün gefärbten Fläche, kann davon ausgegangen werden, dass es im Raum behaglich ist. Befinden sie sich innerhalb der hellgelb gefärbten Fläche, ist es gerade noch behaglich. Befinden sich die Messdaten im Diagramm oben rechts, ist es im Raum zu feucht, sind sie unten links ist es zu trocken. Bei der Wohnung ZH_B:a (Br) sind bis auf wenige Messungen im Bad alle Werte im behaglichen Bereich. Dass es im Bad nach dem Duschen oder Baden kurzzeitig zu einer Überschreitung kommt, ist üblich. Wichtig ist, dass die Feuchtelast in kurzer Zeit wieder abgeführt werden kann.

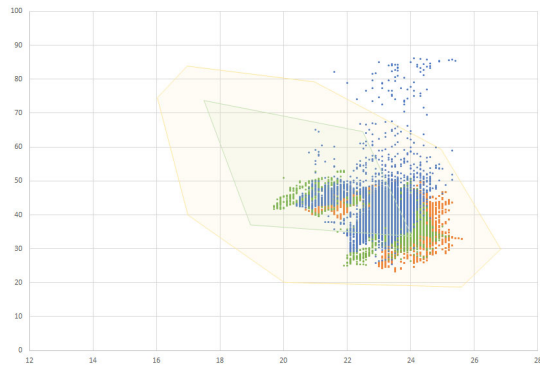




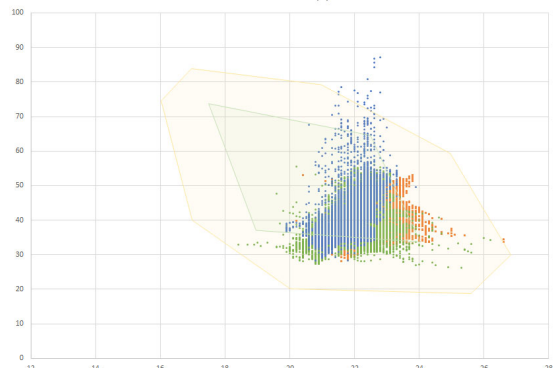
DT_3:a (P)



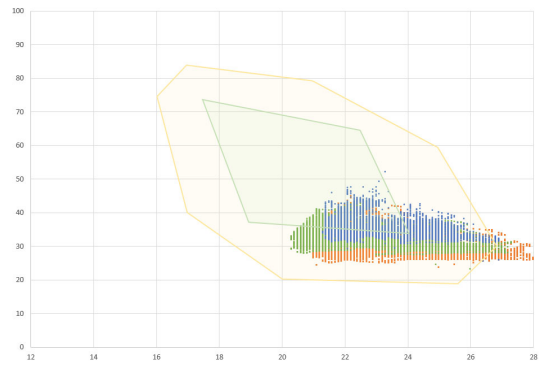
DT_3:b (J)



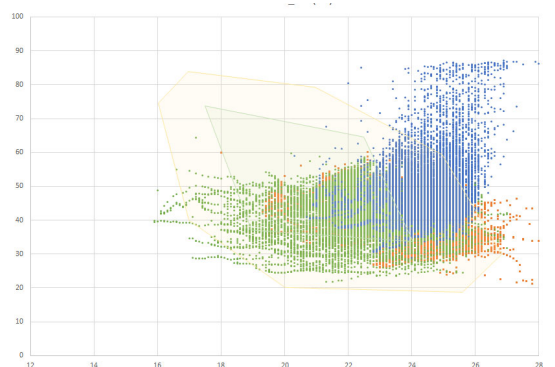
BB:a (SH)



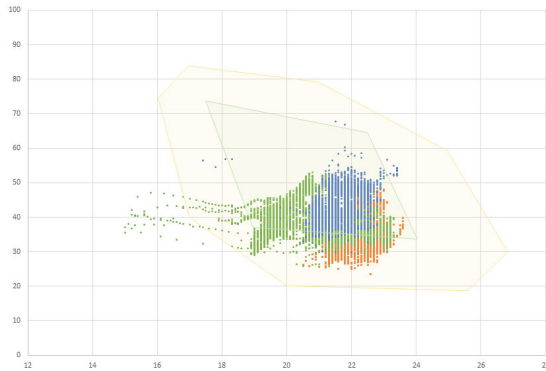
BB:b (R)



ZH_3:a (Sch)



ZH_3:b (Bü)



ZH_5:b(I)

Abbildung 35: Behaglichkeitsfeld Raumlufffeuchte – Raumlufftemperatur nach Frank [15]. Daten aus der gesamten Messperiode. Blau Messergebnisse Bad, grün Schlafzimmer und rot Wohnzimmer.

Bei den Wohnungen ZH_3:b (Bü) und bei der Wohnung DT_3:b (J) ist zu erkennen, dass die relative Feuchte im Bad deutlich höher ist, als bei den anderen Wohnungen. Beim Vergleich der Abluftvolumenströme fällt auf, dass diese mit 32 und 29 m³/h eher tief sind. In der Wohnung ZH:_3:b (Bü) verfügt das Bad über kein Fenster. Zusätzliches Lüften ist nicht möglich.

In den Wohnungen ZH_3:b (Bü) und ZH_5:b (I) sind die Schlafzimmer eher zu trocken. Trockene Luft kann ein Indiz für einen hohen Zuluftvolumenstrom sein. Die gemessene Luftmenge bei ZH_3:b (Bü) ist mit 12 m³/h im Schlafzimmer aber eher zu tief. Bei ZH_5:b (I) konnte die Luftmengen nicht gemessen werden.

6.2.2 Übersicht Temperaturverteilung

Abbildung 36 und Tabelle 28 fassen die Messergebnisse der gesamten Messperiode anhand der Minimal-, Maximal-, Median und der Perzentil-Werte (25 – 75 %) aller Messobjekte zusammen. Die Färbung spiegelt die Bewertung der Temperaturen gemäss SIA 180 wider: hellblau und damit zu kalt sind alle Werte < 20.5 °C. Hellrot und damit zu warm sind alle Werte > 25.0 °C. Der Komfortbereich ist hellgrün eingefärbt und liegt zwischen 20.5 und 25.0 °C.

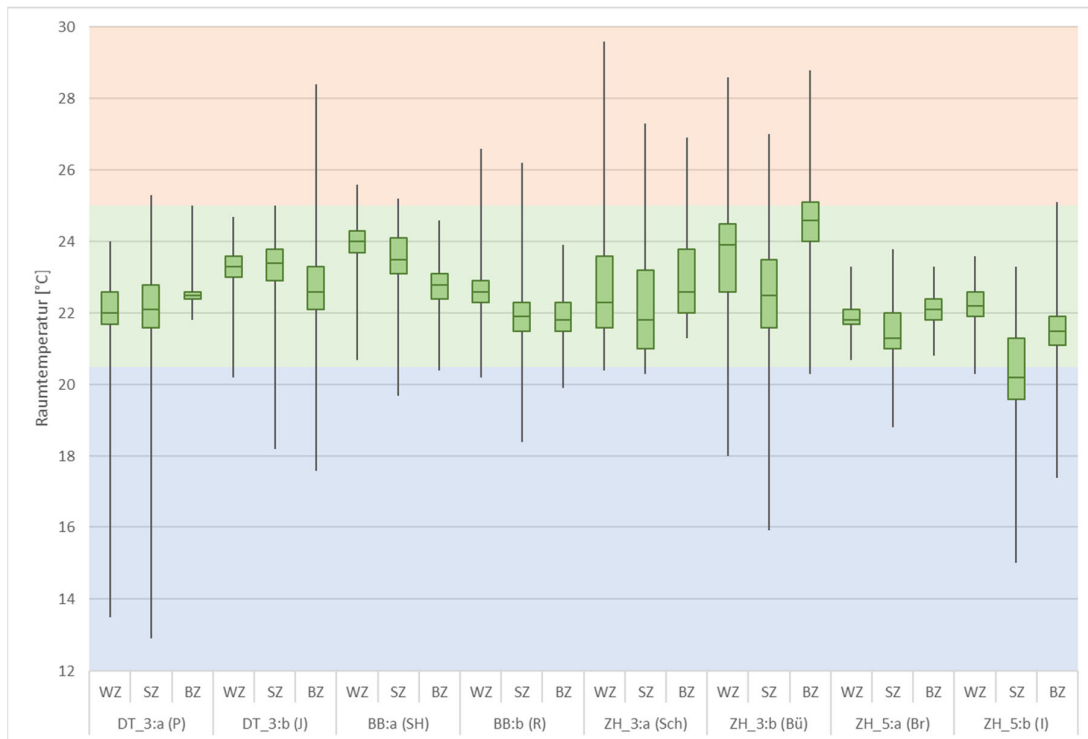


Abbildung 36: Verteilung der Raumtemperatur (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%). Daten aus der gesamten Messperiode.

Bei fast allen gemessenen Räumen liegt der Median-Wert innerhalb des Komfortbereiches von 20.5 bis 25.0 °C. Einzig in der Wohnung ZH_5 :b(I) liegt die Temperatur im Schlafzimmer mit 20.2°C etwas zu tief.

Betrachten man den Perzentilwert (25-75 %), so befinden sich 22 der 24 gemessenen Räume innerhalb des hellgrünen Bereiches. Nur die Minimal - und Maximalwerte, sind kurzfristig ausserhalb des Komfortbereiches.

Abbildung 37 zeigt die Häufigkeit der Temperaturverteilung. Es bestätigt sich, dass mit leichten Über- und Unterschreitungen in den meisten Wohnungen die Raumlufttemperaturen in dem von SIA 180 genannten Bereich zwischen 20.5 und 25 °C liegen. Für alle Räume (getrennt ermittelt) liegt $\bar{x}$ während der gesamten Messperiode zwischen 20.5 und 24.5 °C ($\bar{x}$: 20.2 – 24.6 (± 0.1 °C)). Welcher Raum die höchste Temperatur aufweist, unterscheidet sich zwischen den Wohnungen: In drei Wohnungen ist es das Wohnzimmer (min - max $\bar{x}$ = 21.9 – 23.8; $\bar{x}$ = 21.9 – 24.0, (± 0.1 °C)), in vier Wohnungen ist es das Bad (Bereich von $\bar{x}$ = 21.6 – 24.5; $\bar{x}$ = 21.6 – 24.6, (± 0.1 °C)) und in einer Wohnung ist das Schlafzimmer der wärmste Raum (Bereich von $\bar{x}$ = 20.5 – 23.4; $\bar{x}$ = 20.2 – 23.5, (± 0.1 °C)). Der wärmste Raum insgesamt ist ein Bad (ZH_3:b (Bü)) mit über 70 % der Zeit mit Temperaturen > 24 °C. Der kälteste Raum ist ein Schlafzimmer (ZH_5_:b(I)). Dort liegt die Temperatur während 46 % der Zeit unter 20.0 °C.

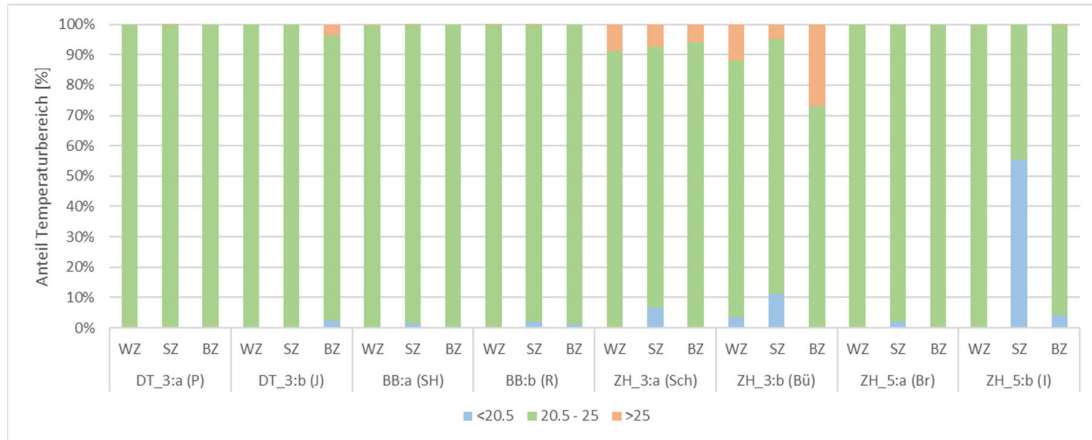


Abbildung 37: Aufteilung Raumtemperatur. Daten aus der gesamten Messperiode. Farbcode: grün = Komfortbereich 20.5 – 25 °C; gelb = Temperaturen > 25 °C; hellblau: Temperaturen < 20.5 °C.

Tabelle 28: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Raum über die gesamte Messperiode für die Temperaturmessungen.

		DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
Wohnzimmer	$\bar{x}$	22.1 (± 0.3)	23.3 (± 0.3)	23.8 (± 0.3)	22.6 (± 0.3)	22.8 (± 0.3)	23.6 (± 0.3)	21.9 (± 0.3)	22.2 (± 0.3)
	$\bar{x}$	24.0	23.3	24.0	26.6	22.3	23.9	21.8	22.2
	s	0.6	0.4	0.7	0.5	1.5	1.5	0.3	0.5
	N	9468	11541	11379	16244	14825	14999	9954	12334
Schlafzimmer	$\bar{x}$	22.2 (± 0.3)	23.4 (± 0.3)	23.4 (± 0.3)	21.9 (± 0.3)	22.3 (± 0.3)	22.4 (± 0.3)	21.5 (± 0.3)	20.5 (± 0.3)
	$\bar{x}$	22.1	23.4	23.5	21.9	21.8	22.5	21.3	20.2
	s	0.7	0.7	0.9	0.6	1.6	1.6	0.6	1.1
	N	8246	11088	10828	16161	14828	14999	13404	12336
Bad	$\bar{x}$	22.5 (± 0.1)	22.7 (± 0.1)	22.7 (± 0.1)	21.8 (± 0.1)	22.9 (± 0.1)	24.5 (± 0.1)	22.1 (± 0.1)	21.6 (± 0.1)
	$\bar{x}$	22.5	22.6	22.8	21.8	22.6	24.6	22.1	21.5
	s	0.4	1.2	0.6	0.6	1.2	0.9	0.4	0.6
	N	8750	8117	9934	9934	14832	15005	11130	16667

6.2.3 Übersicht relative Raumluftfeuchte

Für die relative Feuchte werden in Abbildung 38 und Tabelle 29 die Messergebnisse der gesamten Messperiode mittels der Minimal-, Maximal-, Median und der Perzentil-Werte (25-75 %) zusammenfassend dargestellt. Die Bewertung richtet sich nach SIA 180. Hellrot gekennzeichnet ist der Bereich mit Werten < 30 % relativer Feuchte und hellrot der Bereich mit über 70 % r.F.

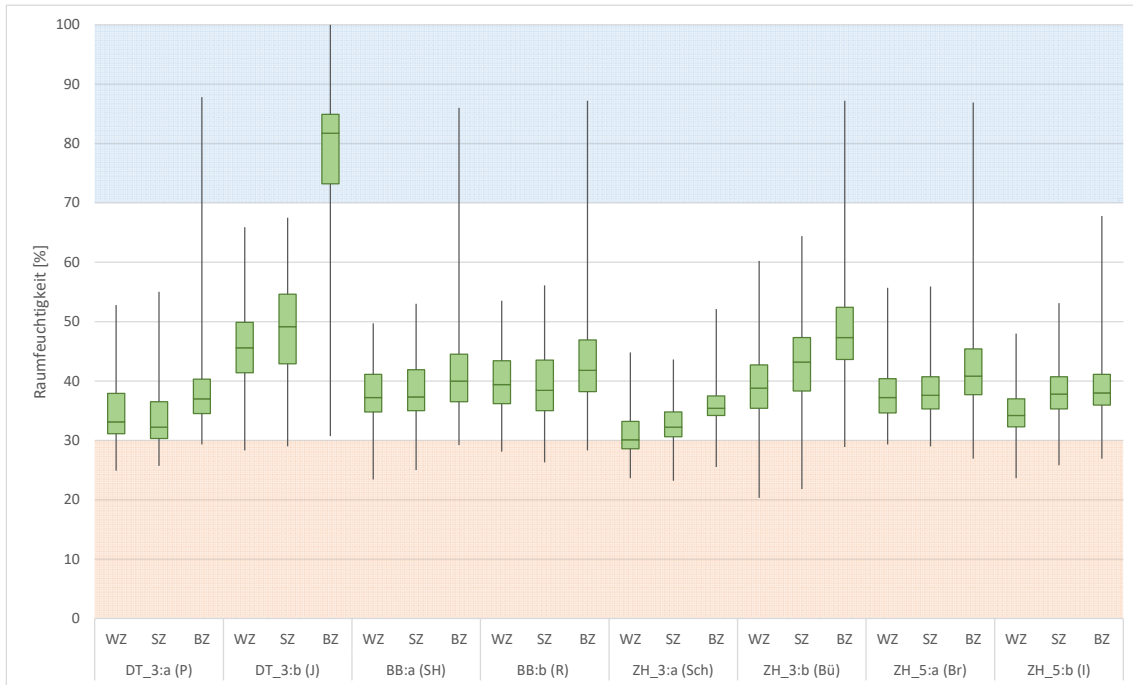


Abbildung 38: Verteilung der rel. Raumlufffeuchte (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%).

Bei fast allen gemessenen Räumen liegt der Median zwischen 30 und 70 % r.F., nur in einem Bad (DT_3:b (J)) liegt der Medianwert bei 82 % r.F. In allen Wohnungen weist das Bad höhere Werte als das Schlaf- und Wohnzimmer auf. In sechs der acht Bäder liegen die Maximalwerte über 70 % r.F. Wie bereits in Kapitel 6.2.1 beschrieben, sind kurzzeitige höhere relative Feuchten in den Bädern unproblematisch. Es wurde bei den Messungen vor Ort in keiner Wohnung Schimmel festgestellt.

Die Häufigkeit der Feuchteverteilung in allen Räumen zeigt Abbildung 39. In den meisten Räumen liegt die relative Feuchte meistens über > 30 %. In den Wohnzimmern liegt $\bar{x}$ zwischen 31 und 45 % ($\bar{x}$: 30 - 46 % (± 2 %)). In den Schlafzimmern liegt $\bar{x}$ zwischen 34 und 49 % ($\bar{x}$: 32 - 49 (± 2 %)). Wenig überraschend liegen die höchsten Mittelwerte mit 36 und 77 % ($\bar{x}$: 35 - 82 % (± 2 %)) im Bad. Die tiefste Werte finden sich in einem Wohnzimmer (ZH_3:a (Sch)), die höchsten Werte werden in einem Bad (DT_3:b (J)) gemessen.

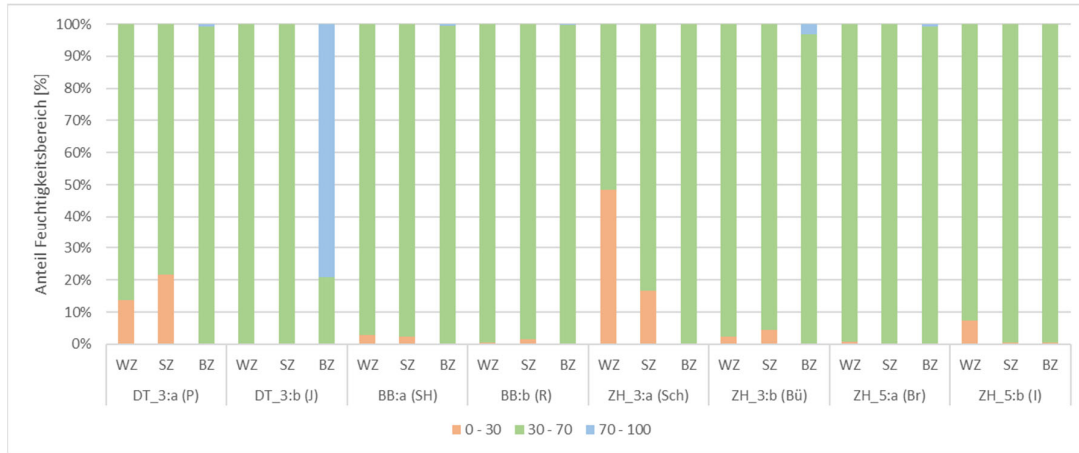


Abbildung 39: Aufteilung rel. Raumluftfeuchte (r. F.). Farbcode: grün = Komfortbereich 30 – 70 % r.F.; rot = Feuchtwert < 30 % r.F.; blau: Feuchtwert > 70 % r.F..

Tabelle 29: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Raum über die gesamte Messperiode für die Feuchtemessungen.

		DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
Wohnzimmer	$\bar{x}$	35 (± 2)	45 (± 2)	38 (± 2)	40 (± 2)	31 (± 2)	39 (± 2)	38 (± 2)	35 (± 2)
	$\bar{x}$	33	46	37	39	30	39	37	34
	s	4.9	5.7	4.2	4.9	3.4	5.3	4.5	3.8
	N	9468	11541	11379	16244	14825	14999	9954	12334
Schlafzimmer	$\bar{x}$	34 (± 2)	49 (± 2)	38 (± 2)	39 (± 2)	33 (± 2)	42 (± 2)	38 (± 2)	38 (± 2)
	$\bar{x}$	32	49	37	38	32	43	38	38
	s	4.9	7.7	4.6	5.6	3.1	6.4	4.2	4.2
	N	8246	11088	10828	16161	14828	14999	13404	12336
Bad	$\bar{x}$	38 (± 2)	77 (± 2)	41 (± 2)	43 (± 2)	36 (± 2)	49 (± 2)	42 (± 2)	39 (± 2)
	$\bar{x}$	37	82	40	42	35	47	41	38
	s	6.2	11.7	5.5	6.1	2.7	8.4	6.5	4.6
	N	8750	8117	9934	9934	14832	15005	11130	16667



6.2.4 Übersicht CO₂-Werte

Die Minimal-, Maximal-, Median und der Perzentil-Werte (25 – 75 %) der CO₂-Messungen aller Messobjekte zeigen Abbildung 40 und Tabelle 30. Um die Aufenthaltszeiten zu berücksichtigen werden für das Schlafzimmer die Messwerte zwischen 22:00 und 06:00 Uhr und für das Wohnzimmer die Messwerte zwischen 06:00 und 22:00 Uhr verwendet. Die Klassierung der Raumluftqualität (RAL) wird anhand SIA 382-1:2014 vorgenommen: mit hellgrün gekennzeichnet RAL 2 als Raumluft mittlerer Qualität, hellgelb RAL 3 als Raumluft mässiger Qualität und hellrot RAL 4 Raumluft niedriger Luftqualität. Ohne besondere Vereinbarungen ist RAL 3 anzustreben [10].

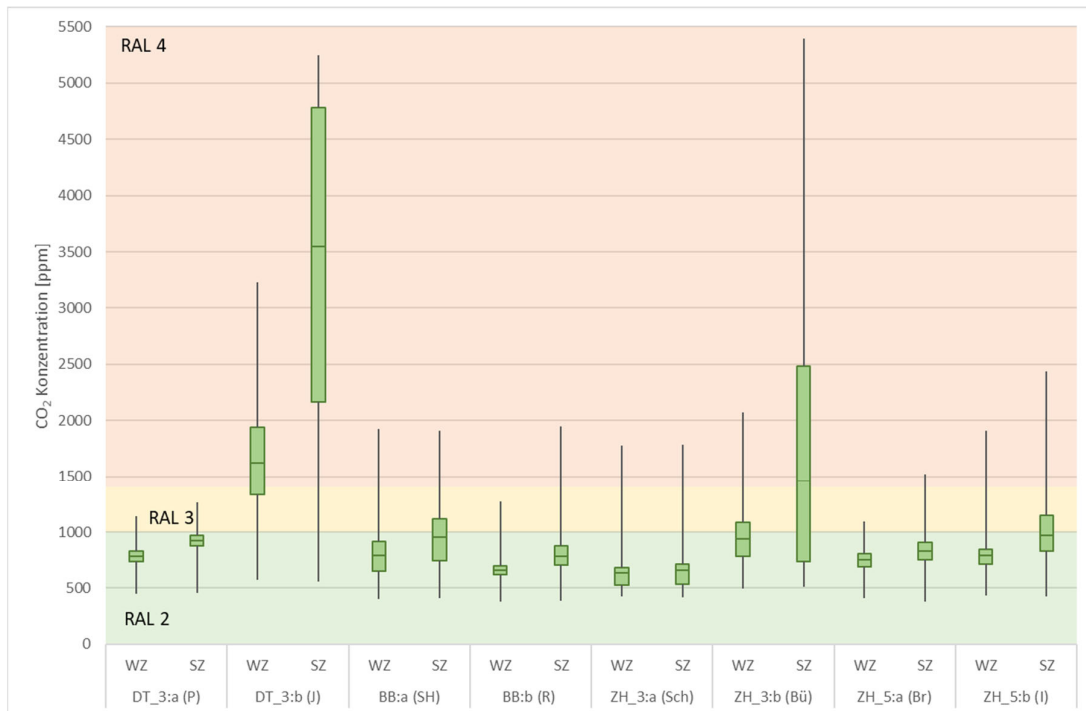


Abbildung 40: Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75 %). Farbcode: hellgrün = RAL 2 (Raumluft mittlere Qualität, bis 1'000 ppm); hellgelb = RAL 3 (Raumluft in mässiger Qualität, 1'000 bis 1'400 ppm); hellrot = RAL 4 (Raumluft in niedriger Luftqualität über 1'400 ppm).

Die gemessenen CO₂-Werte für die Wohnzimmer liegen zwischen $\bar{x}$ 590 und 1'530 ppm ($\bar{x}$: 560 – 1'500 ppm ($\pm$ 68 - 96 ppm)). In den Schlafzimmern liegt $\bar{x}$ zwischen 650 und 3'440 ppm ($\bar{x}$: 660– 3'550 ppm ($\pm$ 69 - 155 ppm)).

Sechs der acht untersuchten Wohnungen liegen im Medianwert in der RAL-Klasse 2 unter 1'000 ppm. Eine Wohnung (ZH_3:b (Bü)) liegt in der RAL-Klasse 3 zwischen 1'000 und 1'400 ppm und eine Wohnung (DT_3:b(J)) liegt in der RAL-Klasse 4 über 1'400 ppm. Die Maximalwerte liegen wiederum in den gleichen Wohnungen in den Schlafzimmern mit Werten von 5'250 ppm und 5'390 ppm am höchsten.

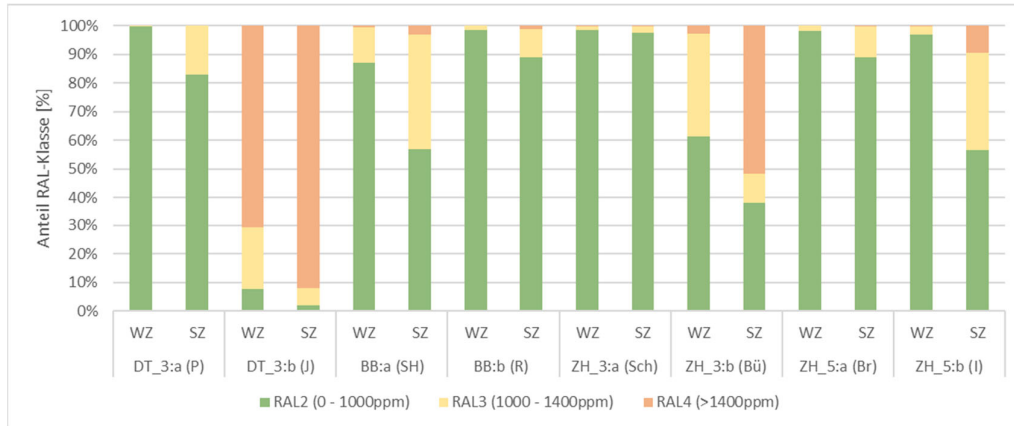


Abbildung 41: Aufteilung der CO₂-Konzentration. Farbcode: grün = RAL 2 (Raumluft mittlere Qualität, bis 1'000 ppm); hellgelb = RAL 3 (Raumluft in mässiger Qualität, 1'000 bis 1'400 ppm); hellrot = RAL 4 (Raumluft in niedriger Luftqualität über 1'400 ppm).

Abbildung 41 zeigt die Häufigkeit der gemessenen CO₂-Werte in den Wohn- und Schlafzimmern nach RAL-Klassen. Die Einteilung der Raumluftqualität (IAQ) in Bezug auf den CO₂-Gehalt gemäss SIA 382/1:2014 [1] zeigt, dass eine mittlere IAQ (RAL 2) während knapp 60 % der Zeit in sechs Wohnungen erreicht wird. In einer Wohnung (ZH_3:b (Bü)) ist die Raumluftqualität mässig bis niedrig (RAL 3 - 4) während ca. 60 % der Zeit und in einer Wohnung (DT_3:b (J)) ist die IAQ niedrig (RAL 4) während über 80 % der Zeit.

Bemerkungen zu einzelnen Wohnungen

- DT_3:b(J): Hier schlafen drei Personen im Schlafzimmer (Eltern und Kleinkind). Der Zuluftvolumenstrom im Schlafzimmer beträgt lediglich 8 m³/h. Um eine Fehlfunktion des Messgerätes auszuschliessen, wurde zeitweise mit zwei Geräten gleichzeitig gemessen. Die hohen CO₂-Konzentrationen haben sich jedoch bestätigt.
- ZH_3:b (Bü): In dieser Wohnung wurden die Fensterlüfter zum Teil manuell geschlossen. Mögliche bauphysikalische Konsequenzen sind den Bewohnern bekannt.

Tabelle 30: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Raum über die jeweilige Belegungszeit (SZ 22:00 -06:00 Uhr, WZ 06:00 -22:00 Uhr) für die CO₂-Konzentration.

	DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
Wohnzimmer	$\bar{x}$	760 (± 70)	1530 (± 100)	680 (± 70)	630 (± 70)	590 (± 70)	1080 (± 80)	710 (± 70)
	$\bar{x}$	750	1500	640	620	560	1060	720
	s	154	502	179	125	121	309	196
	N	6317	7701	7599	10836	9901	10011	1830*
Schlafzimmer	$\bar{x}$	900 (± 80)	3440 (± 150)	950 (± 80)	800 (± 70)	650 (± 70)	1760 (± 100)	810 (± 70)
	$\bar{x}$	920	3550	960	780	660	1460	830
	s	141	1386	239	190	133	1165	190
	N	2752	3682	3606	5376	4924	4988	4449

*In dieser Wohnung ist zeitweise die CO₂-Messung ausgefallen.



6.2.5 Qualitative Betrachtung Betriebsverhalten Abluftventilator

Die Wohnungen werden dann mit Frischluft über die Fensterlüfter versorgt, wenn die Abluftventilatoren in Betrieb sind. Zum Verständnis des Lüftungskonzeptes gehört daher die Kenntnis der Betriebszeiten der Abluftventilatoren. Tabelle 31 gibt eine Übersicht über die Art der Abluftanlage und ihr Betriebsverhalten.

Tabelle 31: Übersicht Art und Betriebsverhalten der Abluftanlagen.

Kürzel	Gebäudetyp und Standort	Anlagentyp	Betriebsweise	Betriebsweise bestätigt
ZH_3	MFH, Zürich	Zentrale Abluftanlage	Dauerbetrieb, einstufig	Ja, Messung mit Anemometer
ZH_5	MFH Zürich	Zentrale Abluftanlage	Dauerbetrieb, einstufig	Ja, Messung mit Voltmeter (Spannung 5 – 6 V)
BB	MFH Biberstein	Dezentrale Abluftventilatoren	Über CO ₂ , einen Licht- oder Handschalter gesteuert.	Ja, Messung mit Voltmeter
DT_3	HH Dietikon	Zentrale Abluftanlage	Dauerbetrieb, einstufig	Ja, Messung mit Voltmeter (Spannung 0.38 – 0.45 V)

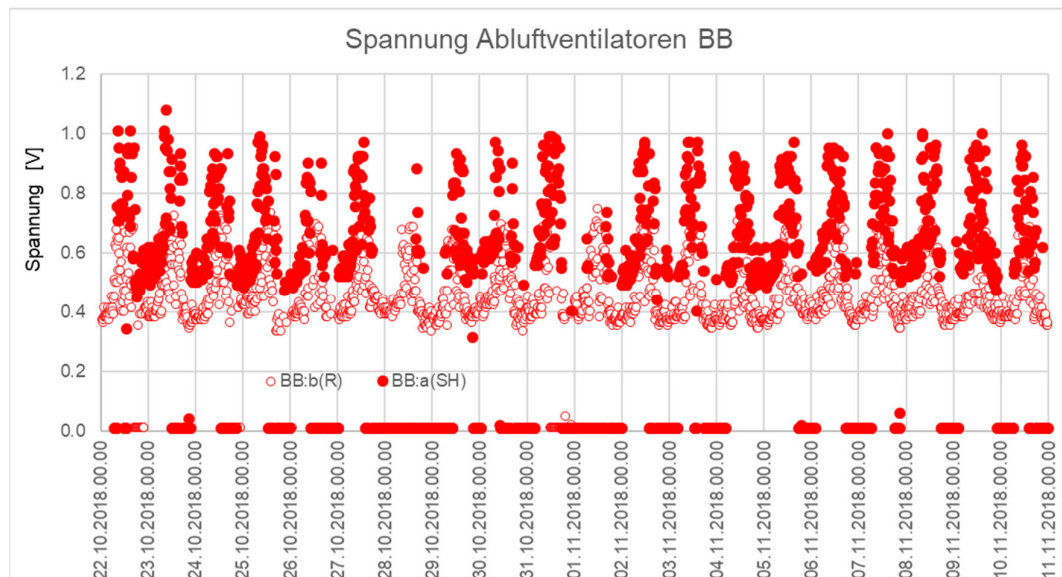


Abbildung 42: Spannung an den Abluftventilatoren Gebäudetyp BB.

Der Gebäudetyp BB verfügt über die einzige detailliert untersuchte Lüftungsanlage, die mit dezentralen Abluftventilatoren ausgerüstet ist. Daher wird bei beiden Ventilatoren zur Spannungsmessung ein Voltmeter installiert.



Bei den Spannungsmessungen (Abbildung 42) der Wohnung BB:a (SH) schwanken die Messwerte mehr als bei der Wohnung BB:b (R). Zudem ist bei dieser Wohnung auch öfters der Messwert «0» ersichtlich. Die Vermutung liegt nahe, dass die grösseren Schwankungen durch die Bewohner hervorgerufen werden, die die Anlage gemäss ihren Bedürfnissen bedienen.

6.2.6 Zusammenfassung Langzeitmessungen

Der Mittelwert $\bar{x}$ der Raumlufttemperatur liegt grösstenteils im erlaubten Bereich von SIA 180:2014 für die operative Raumtemperatur. Allerdings kann die operative Temperatur mit der Lufttemperatur nur verglichen werden, wenn die mittlere Strahlungstemperatur in einem ähnlichen Bereich, wie die Lufttemperatur angenommen wird. In gut gedämmten Gebäuden ist dies in der Regel der Fall. Daher sind die gemessenen Lufttemperaturen ein guter Hinweis darauf, dass die Temperaturen in einem akzeptablen Rahmen liegen. Kurzfristige Überschreitungen können in der kalten Jahreszeit weggelüftet werden, sofern sie nicht von den Bewohnern durch das Hochregeln der Heizung willentlich herbeigeführt werden. Die gemessene relative Feuchte in den Wohn- und Schlafzimmern erfüllt die normativen Vorgaben. SIA 382/1:2014 sieht eine Bewertung der Luftqualität in Bezug auf den CO₂-Gehalt vor. Basierend darauf empfiehlt FprSIA 382/5 für Wohnungen das Anstreben der RAL Klasse 3. In sechs Wohnungen ist diese Vorgabe erfüllt. Grösstenteils (60 % der Zeit) wird sogar die RAL Klasse 2 erreicht. In der Wohnung ZH_3:b (Bü) wird die RAL Klasse 3 zwischen 15 (Wohnzimmer) und 50 % (Schlafzimmer) der Zeit nicht eingehalten. In der Wohnung DT_3:b (J) wird die RAL Klasse 3 zwischen 60 und 90 % der Zeit überschritten. Die qualitative Betrachtung des Betriebsverhaltens der Abluftventilatoren zeigt, dass sie wie geplant betrieben werden. Im Gebäudetyp BB kann der über einen CO₂-Sensor geregelte Betrieb des Ventilators durch die Bewohner übersteuert werden. In einer Wohnung (BB:a (SH)) machen die Bewohner von dieser Möglichkeit Gebrauch, was sich in einem höheren CO₂-Gehalt der Luft niederschlägt.



6.3 Experimentelle Auswertungen

Anhand von einer rechnerischen und einer visuellen Analyse der Messdaten soll versucht werden, einen Rückschluss auf das Nutzerverhalten (z. B. ergänzende Fensterlüftung) zu ziehen und zu zeigen, ob es einen permanenten Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und CO₂-Gehalt gibt.

Für die rechnerische Analyse kann das Zusammenhangsmass zwischen Aussenluft- und Innenlufttemperatur, sowie der Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und CO₂-Gehalt der Luft dargestellt werden. Dies wird für alle Wohnungen durchgeführt.

Für die visuelle Analyse und um die Temperatur, Feuchte und CO₂-Messungen über den Tages- resp. Wochenverlauf besser beurteilen zu können, wird für einzelne Räume ein repräsentativer Wochenverlauf dargestellt. Ziel ist es, jeweils eine Woche mit (vermutlichem) Alltag zu zeigen. Die so dargestellten Wochen sind von Wohnung zu Wohnung unterschiedlich. Die nachfolgenden Kapitel stellen exemplarisch für zwei Wohnungen (BB:b (R) und DT_3:a (P)) die Verläufe dar.

6.3.1 Rechnerischer Zusammenhang Innen- und Aussentemperatur (alle Wohnungen)

Um Rückschlüsse auf das Lüftungsverhalten der Bewohner ziehen zu können, wird untersucht, ob es eine Korrelation zwischen der Aussenluft- und der Innenlufttemperatur gibt.

Da durch die Fensterlüfter stets unkonditionierte Aussenluft in die Räume gelangt, ist zu erwarten, dass die Raumlufttemperatur von der Aussenlufttemperatur beeinflusst wird. Um dies zu überprüfen wird der Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b) für die gemessenen Innen- und Aussenlufttemperaturen berechnet. Diese Auswertung wird zusätzlich noch separat für die wärmsten und kältesten Wochen gemacht, um mögliche Unterschiede festzustellen. Tabelle 32 zeigt die berechneten Korrelationswerte.

Tabelle 32: Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b) Temperatur innen/aussen für gesamten Messzeitraum (MZ) und die wärmste (warm) und kälteste Woche (kalt).

Bemerkung zur Wahl der repräsentativen Wochen: Die untersuchten Wochen wurden pro Wohnung individuell ausgewählt. Die Temperatur wurde über die Aussentemperaturmessung der jeweiligen Woche ermittelt. Zudem musste geprüft werden, ob die Nutzung in dieser Woche einem (vermutlichen) Alltag entspricht.

		DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
Wohnzimmer	τ_b MZ	0.30	0.09	0.13	0.41	0.30	0.13	0.17	0.31
	τ_b kalt	0.14	0.24	0.20	0.22	0.14	-0.16	0.11	0.27
	τ_b warm	0.00	-0.10	-0.24	0.02	0.20	0.44	0.31	0.32
Schlafzimmer	τ_b MZ	0.37	0.01	0.05	0.40	0.38	0.03	0.33	0.48
	τ_b kalt	-0.08	0.19	-0.02	0.30	0.19	-0.09	0.24	0.23
	τ_b warm	0.05	-0.05	-0.31	-0.04	0.34	0.23	0.48	0.45

Der Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b) liegt zwischen -0.31 (schwache negative Korrelation) und 0.48 (mittlere Korrelation). Ein Drittel der Werte ist im Bereich der «sehr schwachen Korrelation», ein weiteres Drittel ist im Bereich der «schwachen Korrelation».

Bei den Wohnungen ZH_3:a (Sch) und ZH_5:b (I) finden sich meist «schwache Korrelationen» und selten «mittlere Korrelationen», während bei DT_3:b (J) und BB:a (SH) eher «sehr schwache



Korrelationen» vorhanden sind. Ausgehend von den absoluten Luftvolumenströmen in den Wohnungen, würde man davon ausgehen (Abbildung 28), dass zumindest bei der Wohnung BB:b (R) die Korrelation wegen der hohen Luftvolumenströme grösser ist. Dies bestätigt sich allerdings nicht.

Bei den meisten Wohnungen lässt sich bei kalter Aussenluft eine leicht positive Korrelation feststellen. Jedoch lässt sich kein eindeutiger Unterscheid zur warmen Woche feststellen.

Einzig in der Wohnung ZH_3:b (Bü) kann bei kalter Aussenluft im Wohnzimmer eine negative Korrelation gefunden werden. In dieser Wohnung wurden die Lüftungsschlitze aufgrund von Unbehaglichkeit wegen Zugluft abgedeckt.

6.3.2 Rechnerischer Zusammenhang zwischen dem CO₂-Gehalt und der relativen Feuchte (alle Wohnungen)

Grundsätzlich nehmen die relative Feuchte und der CO₂-Gehalt der Luft zu, wenn sich Personen im Raum aufhalten. Daher ist ein Zusammenhang zwischen beiden Werten zu erwarten. Tabelle 33 zeigt die berechneten Werte.

Tabelle 33: Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b) zwischen CO₂-Gehalt der Luft und der relativen Feuchte über gesamten Messzeitraum.

		DT_3:a (P)	DT_3:b (J)	BB:a (SH)	BB:b (R)	ZH_3:a (Sch)	ZH_3:b (Bü)	ZH_5:a (Br)	ZH_5:b (I)
Wohnzimmer	τ_b CO ₂ /Feuchte	0.15	0.42	0.08	0.11	0.04	0.25	0.23	0.12
	Volumenstrom [m ³ /h]	28	14	--	42	34	26	18	--
Schlafzimmer	τ_b CO ₂ /Feuchte	0.22	0.62	0.07	0.15	0.04	0.42	0.24	0.25
	Volumenstrom [m ³ /h]	22	10	58	38	28	11	20	--

Mit einer Ausnahme lassen sich durchgehend «sehr schwache» oder «schwache» Korrelationen feststellen. In der Wohnung DT_3:b (J), die als einzige eine «mittlere Korrelation» aufweist, ist der Aussenluftvolumenstrom am niedrigsten. Visuell (Abbildung 43) lässt sich ein Zusammenhang zwischen τ_b und dem Aussenluftvolumenstrom erkennen: Ein grösserer Luftstrom deutet auf eine geringere Korrelation zwischen den CO₂- und Feuchtigkeitswerten hin.

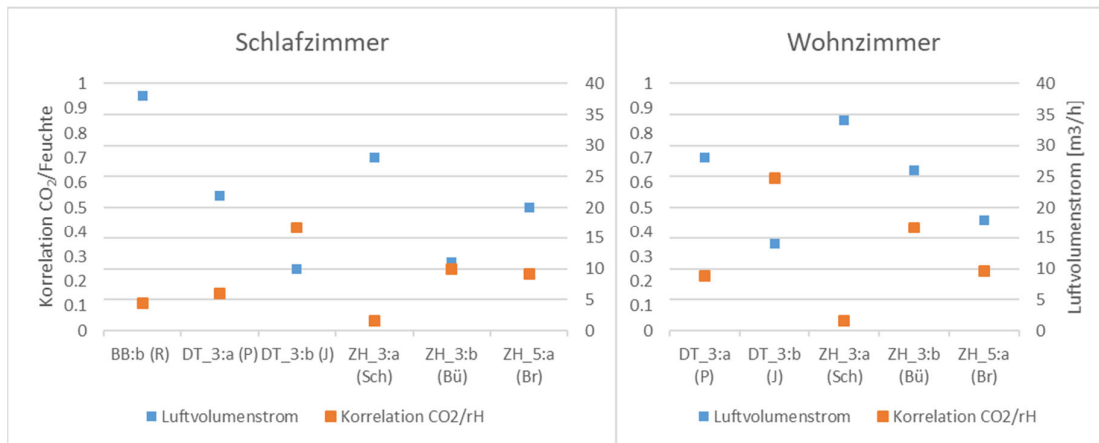


Abbildung 43: Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b) zwischen CO₂-Gehalt der Luft und der relativen Feuchte über gesamten Messzeitraum, sowie Volumenströme.

6.3.3 Visueller Zusammenhang zwischen CO₂-Gehalt, Lufttemperatur und relative Feuchte (BB:b (R) und DT_3:a (P))

Nachfolgend wird in zwei Wohnungen überprüft, ob sich visuell ein Zusammenhang zwischen CO₂-Gehalt, Lufttemperatur und relativer Feuchte feststellen lässt. Dabei wird in Abbildung 44 bis Abbildung 47 jeweils im oberen Diagramm rot die Raumlufttemperatur (bezogen auf die Primärachse) und orange die relative Feuchte (bezogen auf die Sekundärachse) dargestellt. Beim unteren Diagramm ist jeweils die CO₂-Konzentration grün (bezogen auf die Primärachse) und nochmals in orange die relative Feuchte dargestellt.



Wohnzimmer Wohnung BB:b (R)

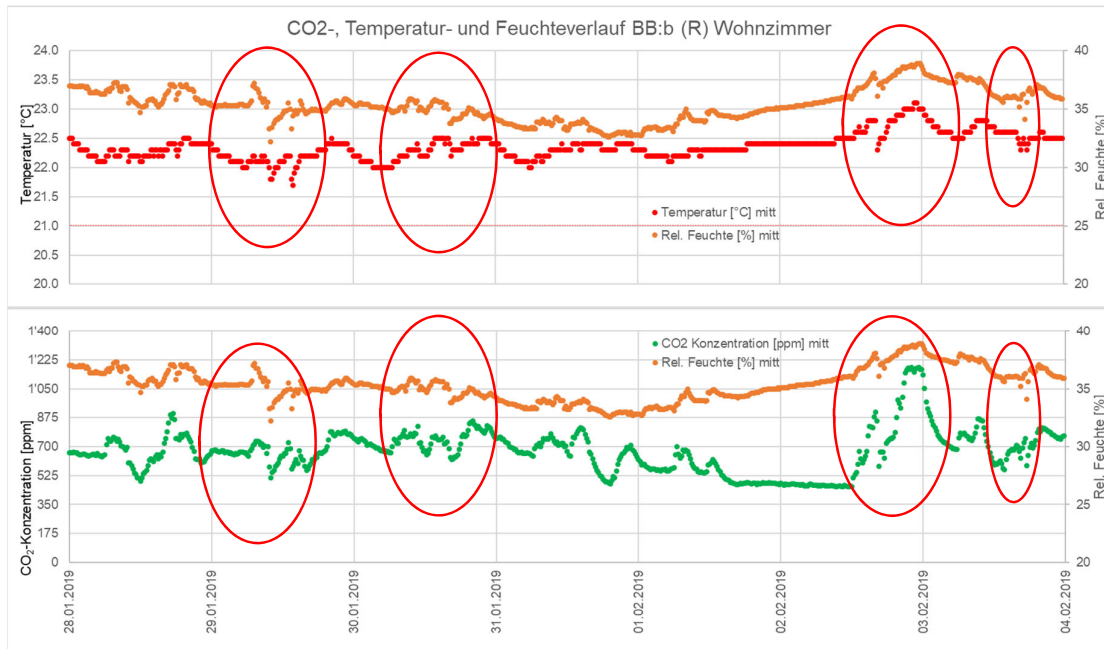


Abbildung 44: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung BB:b (R) für 3 typische Tage vom Wohnzimmer

Im Wohnzimmer der Wohnung BB:b (R) kann visuell ein geringer Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration und der relativen Raumluftfeuchte festgestellt werden. Die Raumlufttemperatur sinkt nie unter 21.5 °C, es sind auch keine schnellen Temperaturabsenkungen, als Indiz für eine Fensterlüftung, erkennbar (rote Ellipsen). Die relative Feuchte schwankt nur gering, sie bewegt sich zwischen 32 und 38 %.



Wohnzimmer Wohnung DT_3:a (P)

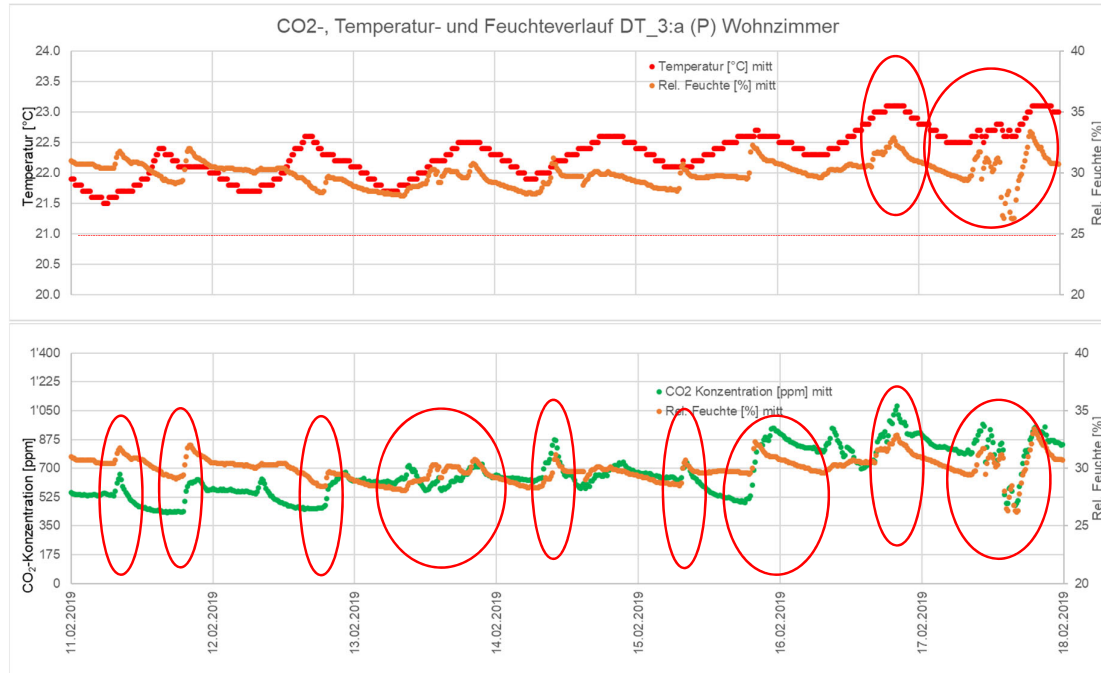


Abbildung 45: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung DT_3:a (P) Wohnzimmer

In Abbildung 45 ist visuell ein gewisser Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration und der relativen Raumlufffeuchte erkennbar. Die Raumlufftemperatur sinkt auch in diesem Raum nie unter 21.5°C. Auch hier ist kein Anzeichen für zusätzliches Fensterlüften erkennbar. Die relative Raumlufffeuchte liegt immer zwischen 23 und 33 %, ist insgesamt also sehr trocken (Vergleiche auch Abbildung 39).



Schlafzimmer Wohnung BB:b (R)

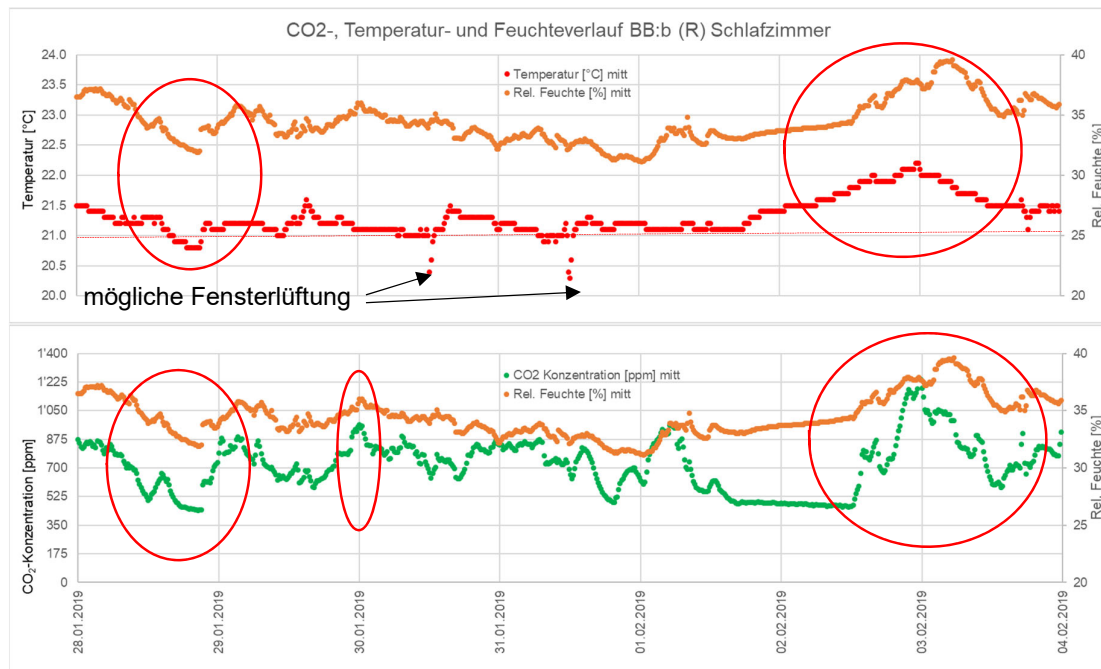


Abbildung 46: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung BB:b (R) Schlafzimmer

Im Schlafzimmer der Wohnung BB:b (R) ist eine sehr schwache Ähnlichkeit im zeitlichen Verlauf der CO₂-Konzentration und demjenigen der relativen Raumluftfeuchte erkennbar. An zwei Stellen zeigt sich ein rasches Absinken der Raumlufttemperatur, was ein Anzeichen für ein zusätzliches Fensterlüften sein kann. Die relative Raumluftfeuchte befindet sich immer zwischen 26 und 46%.



Schlafzimmer Wohnung DT_3:a (P)

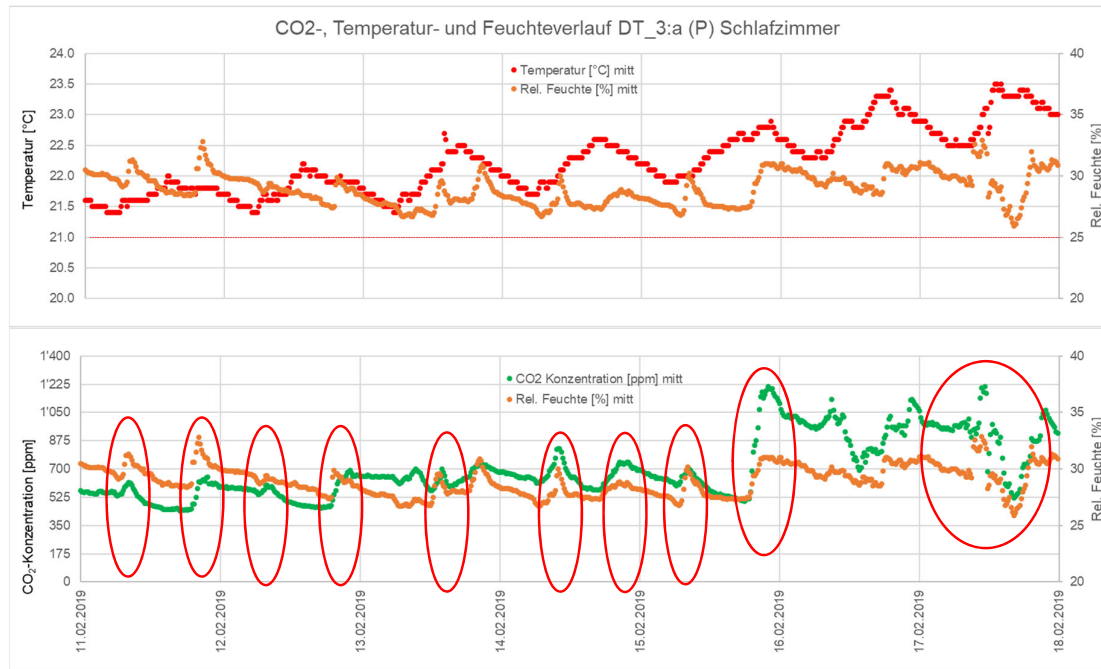


Abbildung 47: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung DT_3:a (P) Schlafzimmer

Die Verläufe der CO₂-Konzentration und der relativen Raumluftfeuchte im Schlafzimmer der Wohnung DT_3:a (P) lassen einen gewissen Zusammenhang erkennen. Die Raumlufttemperatur liegt meist über 21.5 °C, es ist kein rasches Absinken der Raumlufttemperatur erkennbar. Die Spannweite der relative Raumluftfeuchte liegt zwischen 26 und 37 %.



Bad Wohnung BB:b (R)

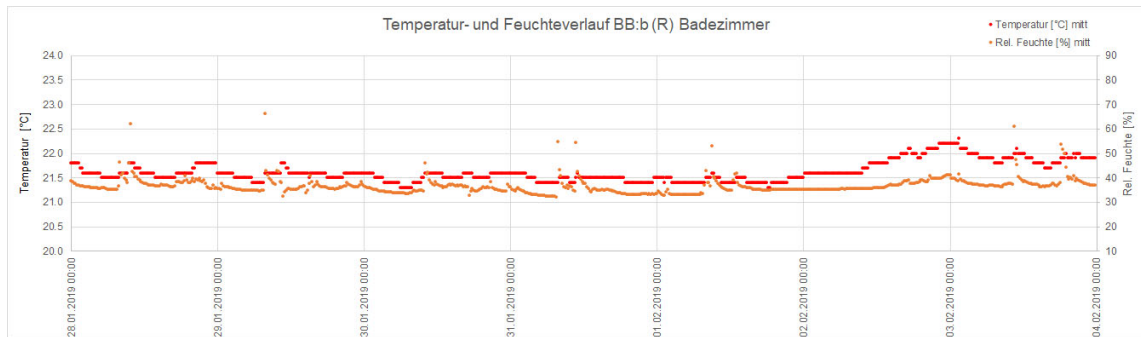


Abbildung 48: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung BB:b (R) Bad

Für eine langfristige Schimmelfreiheit in den Bädern ist es wichtig, dass die beim Duschen oder Baden erzeugte Feuchte rasch aus dem Raum abgeführt wird.

In dem fensterlosen Bad der Wohnung BB:b (R) steigt gemäss Abbildung 48 die relative Raumluftfeuchte (orange) nur sehr kurz an. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Feuchte sehr effizient über die Lüftung abgezogen wird. Im Bad werden 86 m³/h Luft abgesogen, dies entspricht ungefähr dem doppelten Volumenstrom, der in der Norm vorgeschlagen wird.

Bad Wohnung DT_3:a (P)

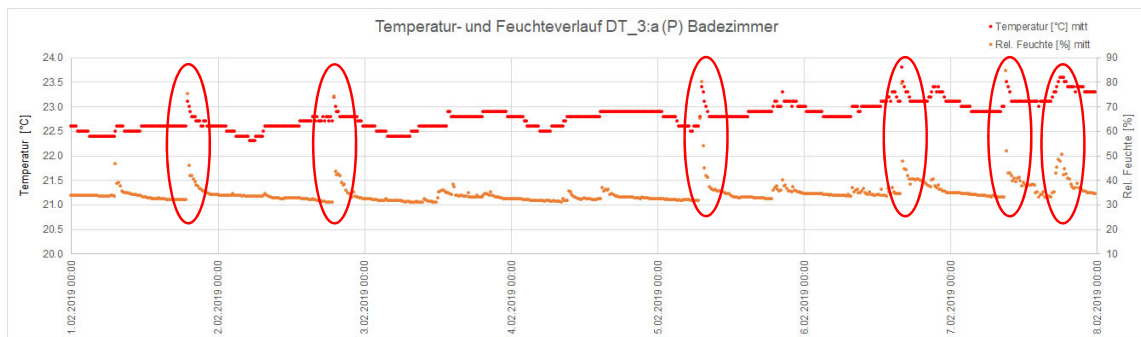


Abbildung 49: Übersicht der Langzeitmessung zur Wohnung DT_3:a (P) Bad

Abbildung 49 zeigt ein Bad mit Fenster in der Wohnung DT_3:a (P). Die relative Raumluftfeuchte ist mit Werten > 60 % immer auf einem hohen Wert, punktuell steigt die Feuchte auf über 80 %. Das schnelle Ansteigen und Absinken der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte deutet darauf hin, dass zuerst geduscht oder gebadet und danach zusätzliches über das Fenster gelüftet wird. Im Bad werden über den Abluftventilator 33 m³/h abgeführt, dies liegt knapp unter den geforderten 40 m³/h.



6.3.4 Zusammenfassung experimentelle Auswertungen

Um Rückschlüsse auf das Lüftungsverhalten der Bewohner zu ziehen wird die Korrelation zwischen der Aussenluft- und der Innenlufttemperatur untersucht. Es treten vorwiegend «sehr schwache» und «schwache» Korrelation auf. Insgesamt sind die aufgezeigten Zusammenhänge zu wenig konsistent, um konkrete Schlussfolgerungen ableiten zu können. Da das Aufzeichnungsintervall bei 15 Minuten liegt, ist anzunehmen, dass sich die betrachteten Korrelationen auf den Aussenlufteintritt durch die Fensterlüfter beziehen und weniger auf Fensterlüftungen (das Fenster müsste entweder lange und sehr häufig offenstehen oder per Zufall die Messdatenerfassung just ein kurzes, häufig auftretendes Lüftungsintervall «treffen»). Dass über tiefe Temperaturen im Raum nach der Stosslüftung eine solche erkannt wird, verhindern wohl zusätzlich die Aussenlufttemperaturen, die während der Messungen nicht sehr tief waren. So kühlen die Räume durch eine Fensterlüftung nicht so stark aus, dass durch die Messgeräte auch nach dem Schliessen der Fenster eine tiefe Lufttemperatur erfasst wird.

Der rechnerische Zusammenhang zwischen CO₂-Gehalt und der relativen Feuchte weist mit nur einer Ausnahme «sehr schwache» oder «schwache» Korrelationen auf. Die Ausnahme mit einer «mittleren» Korrelation bezieht sich auf eine Wohnung mit einem auffallend tiefen Aussenluftvolumenstrom. Die Werte lassen leider nicht auf einen systematischen Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und CO₂-Gehalt rückschliessen. In diesem Fall, und nach einem Ausschluss von Scheinkorrelationen, hätte im Idealfall zukünftig auf eine aufwändige CO₂-Messung verzichtet werden können. Davon ist allerdings abzuraten: sind CO₂-Werte erforderlich, so müssen sie weiterhin gemessen werden.

Ein visueller Zusammenhang zwischen Temperatur, relativer Feuchte und CO₂-Gehalt lässt sich bei einigen Räumen feststellen, bei anderen wiederum nicht. Es lassen sich auch einzelne Lüftungsereignisse erkennen. In einem Bad sind diese täglich zu identifizieren, in einem Wohnzimmer eher selten. Da das Aufzeichnungsintervall mit 15 Minuten gegenüber üblichen Intervallen einer Stosslüftung lange ist, können mit den Messdaten nur längere Fensterlüftungen zuverlässig festgestellt werden.



7 Vergleich zwischen Gebäudebegehungen, Messungen und Nutzerbefragung

Die Befragung zum Lüftungsverhalten zeigt, dass die meisten Bewohner tagsüber im Schnitt zwischen 2 und 10 Minuten lüften. Nur wenige Nutzer haben das Fenster tagsüber länger offen stehen. Es wäre nun interessant zu sehen, ob sich das selbstberichtete Lüftungsverhalten in den Messdaten spiegelt. Bezogen auf die Auswertung der Messdaten wird in Abschnitt 6.3.4 aufgezeigt, dass die rechnerische Analyse aufgrund der Messdatenerfassung alle 15 Minuten wohl eher einen Zusammenhang zwischen dem Raumluftzustand und dem Aussenluftvolumenstrom der Fensterlüfter erfasst und nicht Änderungen infolge von Fensterlüftungen. Aus demselben Grund kann die visuelle Analyse nur längere Fensterlüftungsereignisse erfassen. Diese sind eher nicht oder nur sehr selten zu sehen. Dies deckt sich mit der Nutzerbefragung, bei der die meisten Nutzer 1-2 mal pro Tag lüften, dafür aber nur 1-5 Minuten. Nur 8 % der Nutzer haben gemäss eigenen Angaben das Fenster zwischen 10-20 Minuten geöffnet. Das reale und das selbstberichtete Verhalten scheint bezüglich längerer Fensteröffnungszeiten konsistent zu sein.

Die Befragung zeigt, dass die Bewohner der Gebäudetypen BB und DT_3 die Raumtemperatur als angenehm mit einer leichten Tendenz in Richtung « zu kühl » einstufen. Im Gebäudetyp ZH_3 und ZH_5 ist die Zufriedenheit etwas höher mit einer Tendenz zu « warm ». Dieses Ergebnis ist nicht deckungsgleich mit den Messergebnissen für alle Räume, bei denen Gebäudetyp ZH_3 und ZH_5 nicht die höchsten Raumlufttemperaturen aufweisen. Dieser Widerspruch wird auch dann nicht aufgelöst, wenn man die Art der Wärmeverteilung berücksichtigt (Fussbodenheizung: ZH_3 und BB, Radiatoren: ZH_5 und DT_3). Unabhängig von der Wärmeverteilung können aber die Bewohner in allen gemessenen Gebäudetypen die Raumtemperatur selber regulieren. Die Raumtemperatur scheint damit bis zu einem gewissen Grad der subjektiven Bewertung zu unterliegen.

Die Raumluftfeuchte wird von allen Befragten als eher trocken wahrgenommen. Dieses Votum deckt sich genau mit dem von Gebäudetyp ZH_5, etwas weniger trocken wird die Luft in den Gebäudetypen DT_3, BB und ZH_3 bewertet. Bei den Messungen werden im Gebäudetyp DT_3 in einer Wohnung die höchsten relativen Luftfeuchten gemessen, in einer anderen Wohnung im Gebäudetyp ZH_3 werden die tiefsten Werte gemessen. Die Bewertung der Luftfeuchte durch die Bewohner scheint nicht das Auftreten von Schimmel (im Bad) einzuschliessen. Die Frage nach Schimmel wird im Fragebogen zwar separat gestellt, es wäre aber auch denkbar gewesen, dass eine Wohnung, in der Schimmel im Bad auftritt, gleichzeitig auch als feucht bewertet wird. Schimmel scheint im Gebäudetyp DT_3 durchaus aufzutreten, da bei der Gebäudebegehung in einer von zwei Wohnungen im Bad Schimmel festgestellt wird und Schimmel im Bad auch bei der Befragung von den Bewohnern angegeben wird ($N = 2/5$). Allerdings wird auch in den Gebäudetypen BB ($N = 1/14$, rel. Feuchte im Bad $\bar{x} = 41\%$ und 43%) und ZH_5 ($N = 3/18$, rel. Feuchte im Bad $\bar{x} = 43\%$ und 45%) in der Befragung über Schimmel berichtet. Im Gebäudetyp DT_3 deckt sich das dokumentierte und das selbstberichtete Schimmelvorkommen mit den zu tiefen gemessenen Frischluftstraten. In keiner der Messwohnungen wird bei den Gebäudebegehungen Schimmel dokumentiert.

Erstaunlicherweise wird im Gebäudetyp DT_3 die Raumluftqualität mit dem besten Ergebnis der gesamten Befragung bewertet. Allerdings ist dieses Urteil mit Vorsicht zu behandeln, da in diesem Gebäudetyp nur sehr wenige an der Befragung teilnehmen ($N = 5$). Da die Grösse und Belegung der Wohnungen variiert, könnte eine Annahme sein, dass die Frischluftzufuhr in den anderen (nicht messtechnisch untersuchten) Wohnungen ausreichend ist. Die Befragungsergebnisse für die vier Wohnungen, in denen der gemessene Aussenluftvolumenstrom den Anforderungen entspricht (BB, ZH_5:a (Br) und ZH_3 :a (Sch)) zeigen, dass die Bewohner mit der Luftqualität weniger zufrieden sind, als der Gesamtdurchschnitt. Zum Gebäude ZH_3 ist allerdings anzumerken, dass die Lüftungsanlage



zum Zeitpunkt der Befragung intermittierend betrieben wird. Die Messungen finden aber unter Dauerbetrieb der Anlage statt, da die Anlage seit dem 11.2018 umgestellt ist.

Die allgemeine Zufriedenheit mit den Fensterlüftern ist in drei der gemessenen Gebäudetypen hoch. Einzig im Gebäudetyp DT_3 ist sie tiefer.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Zusammenhang zwischen der Befragung und den Messungen eher schwach ist. Allerdings ist auch nicht bekannt, ob die Bewohner der Wohnungen, in denen Messungen durchgeführt wurden, auch an der Befragung teilgenommen haben. Rückblickend und für Nachfolgeprojekte ist es zu empfehlen, die Bewohner in Messwohnungen separat zu befragen. So könnte der Zusammenhang zwischen Nutzereindruck und Messergebnis besser hergestellt werden.



8 Planungshinweise aus dem Projekt

8.1 Um was geht es?

Dieses Dokument gibt Hinweise zum Einsatz und zur Planung von passiven Fensterlüftern in Wohnbauten. Diese Hinweise resultieren aus dem vorliegenden Forschungsprojekt FENLEG. Sie sind dazu gedacht eine sachgemässe Planung zu ergänzen und nicht als abschliessender und umfassender Planungsleitfaden zu verstehen.

Fensterlüfter sind Lüftungsgeräte oder -elemente, welche in das Fenster integriert sind oder in direktem Zusammenhang mit dem Fenster stehen. Häufig werden Aufsatzelemente, die in den Blendrahmen integriert oder oberhalb des Glasfalzes angebracht sind, eingesetzt. Etwas seltener werden Fensterfalzlüfter, die in den Fensterfalz integriert sind, eingebaut. Bei einer Druckdifferenz zwischen 2 und 10 Pa liegt der erreichbare Luftdurchlass von Falzlüftern in der Regel bei Werten zwischen 2 - 6 m³/h, jener von Aufsatzelementen zwischen 4 - 60 m³/h [28].

Die nachfolgenden Planungshinweise gelten für Fensterlüfter (ohne eingebauten Ventilator) im Zusammenhang mit zeitgesteuerten Abluftventilatoren in Küche und Bad oder einer permanent betriebenen Abluftanlage. Der Projektfokus liegt hauptsächlich auf der Lüftung zur Erhaltung der Bauschadensfreiheit. Die mit «→ Projekterfahrung» gekennzeichneten Erläuterungen beziehen sich auf die praktischen Erfahrungen, die aus Gebäudebegehungen, Nutzerbefragungen und Messungen resultieren.

8.2 Normative Hinweise zur Auslegung

Es gibt in der Schweiz keine Norm, die sich speziell auf Fensterlüfter konzentriert. Zum Teil lassen sich Aussagen aus Normen, die sich mit der Wohnungslüftung befassen, auf Fensterlüfter übertragen. Dies trifft auf Fragen zum vorgeschriebenen Mindestluftwechsel für Personen und Feuchteschutz, sowie Aussagen zu Lüftungskomponenten, die sich auf Fensterlüfter übertragen lassen, zu.

Anmerkung: zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Dokumentes ist FprSIA 382/5:2019-12 [10] noch nicht in Kraft, der Bezug auf sie ist hinsichtlich zukünftiger Planungen aber sinnvoll.

- Der erfolgreiche Einbau von Fensterlüftern erfordert eine gründliche Planung der gewünschten Volumenströme. Da diese Volumenströme auch von äusseren Gegebenheiten und wechselnden Druckunterschieden beeinflusst werden, ist das Vorsehen eines Sicherheitszuschlags zum Erreichen der Planungsziele zu empfehlen. Im Rahmen der Auslegung muss geklärt werden, ob die Fensterlüfter nur die Schimmelprävention (Feuchteschutzluftwechsel) oder auch den hygienischen Luftwechsel sicherstellen sollen.

Feuchteschutzluftwechsel: SIA 180:2014 [13] empfiehlt einen minimalen Aussenvolumenstrom für den Feuchteschutz. Dieser liegt je nach Feuchtlasten für eine Beispielwohnung mit 100 m² Wohnfläche zwischen 0.22 und 0.74 m³/(h·m²).

Hygienischer Luftwechsel: FprSIA 382/5:2019-12 sieht pro Raum, der auch als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt werden kann, 30 m³/h vor.

→ Projekterfahrung: Bei den Messungen zeigt es sich, dass der gemessene Aussenluftvolumenstrom den geforderten häufig unterschreitet. Aus manchen Planungsunterlagen lässt sich aber ableiten, dass der hygienische Luftwechsel angestrebt wurde (in acht Gebäudetypen ist eine Auslegung verfügbar, pro Raum mit Fensterlüfter werden Luftmengen zwischen 20 und 40 m³ angegeben). Berechnet man die theoretische Luftmenge, die bei 4 Pa Druckdifferenz über die Fensterlüfter in die Wohnung gelangen kann und vergleicht sie mit der (bei Druckdifferenzen zwischen ca. 2 und 17 Pa) gemessenen Luftmenge, so ist davon



auszugehen, dass a) eine detaillierte auf die Leistungsdaten des Fensterlüfters bezogene Auslegung nicht stattgefunden hat, b) der Planungswert als Zielwert, der auch unterschritten werden kann, verstanden wurde, oder c) von höheren Unterdrücken ausgegangen wurde.

- Druckdifferenz einfache Abluftanlage: Gemäss FprSIA 382/5 sind Aussenluft-Durchlässe in eingeschossigen Wohnungen auf 4 Pa Druckverlust auszulegen. Begründung: bei grösseren Druckdifferenzen kann ungewollt Luft aus angrenzenden, nicht zur Wohnung gehörenden, Zonen, in die Wohnung gelangen ($>$ Druckdifferenz = $>$ Fremdluft). In Kombination mit einfachen Abluftanlagen resultieren maximale Unterdrücke zwischen 4 Pa (Zuluftzone) und 6 Pa (Abluftzone).
→ Projekterfahrung: In drei der acht untersuchten Wohnungen wird diese Druckdifferenz deutlich überschritten.
- Überström-Luftdurchlass: Bei Lüftungskonzepten, die den Eintritt von Frischluft in einem Wohn- oder Schlafrum und das Abziehen der Abluft in einem anderen Raum, nämlich Küche und Bad vorsehen, müssen Überström-Luftdurchlässe vorgesehen werden. Diese können in Form von Türspalten (meist unten am Türblatt) realisiert werden. FprSIA 382/5:2019-12 gibt Hinweise zur Auslegung von Türspalten.
→ Projekterfahrung: Für die Tür zum Schlafzimmer werden in den acht Messwohnungen die Anforderungen erfüllt (normativ erforderlich: 4.0 – 10.0 mm, gemessen: 7.0 – 25.0 mm). In fünf von acht Wohnungen werden die Anforderungen an den Spalt im Bad nicht erfüllt (normativ erforderlich: 12.5 – 20.0 mm, gemessen: 7.0 – 21.0 cm).

8.3 Planungshinweise

8.3.1 Art und Ausstattung der Fensterlüfter

- Jeder Aufenthaltsraum (ausser den Abluftzonen Küche und Bad) muss eine Frischluftzufuhr (Fensterlüfter) aufweisen. Es sei denn, der Raum ist im Rahmen einer Kaskadenlüftung als Durchströmbereich vorgesehen.
→ Projekterfahrung: In fünf von 13 Gebäudetypen gibt es Aufenthaltsräume ohne Fensterlüfter, die auch nicht als Durchströmbereich funktionieren.
- Bei tiefen Aussentemperaturen tritt kalte Luft durch die Fensterlüfter in den Raum. Um Zugerscheinungen zu minimieren, empfiehlt es sich pro Raum lieber mehrere Fensterlüfter mit kleinem Luftdurchlass einzubauen.
→ Projekterfahrung: In der Nutzerbefragung werden Falzlüfter vom thermischen Komfort her besser beurteilt als Aufsatzelemente.
- Aus hygienischen Gründen sind Fensterlüfter mit Filter vorzusehen (gemäss FprSIA 382/5 sind diese für Aussenluft-Durchlässe vorgeschrieben). Ob mit Filter oder ohne gilt es zu berücksichtigen, dass ein Fensterlüfter Teil der technischen Gebäudeausrüstung ist und regelmässig gewartet und gereinigt werden muss. Es empfiehlt sich dafür einen Zyklus vorzusehen und bei Mietwohnungen eine Reinigung über die Hausverwaltung (Hauswart) zu veranlassen.
→ Projekterfahrung: Ein regelmässiger Filterwechsel ist (noch) nicht Standard.
- Bei verstellbaren Fensterlüftern kann das eintretende Luftvolumen durch die Nutzer reguliert werden. Dies kann dazu führen, dass das Lüftungskonzept in der Realität von der Planung abweicht. Andererseits zeigt es sich, dass verstellbare Fensterlüfter nicht abgeklebt (d. h. ganz geschlossen) werden. Damit besteht die Hoffnung, dass verstellbare Fensterlüfter angepasst und nicht verschlossen werden.



→ Projekterfahrung: bei den Gebäudebegehungen und in der Nutzerbefragung zeigt es sich, dass nur Fensterlüfter mit fixem Luftdurchlass abgeklebt werden.

- An lärmbelasteten Standorten ist der Einsatz von Fensterlüftern kritisch zu hinterfragen. Weitere Informationen zum Thema Luftschalldämmung und Fensterlüfter sind in [28] zu finden.

→ Projekterfahrung: In der Nutzerbefragung nimmt mehr als die Hälfte der Befragten Geräusche von aussen «manchmal» oder «immer» als Störung wahr.

8.3.2 Abluftanlage und Wärmeabgabe

- Ob die Abluftanlage permanent oder intermittierend läuft, hängt vom Lüftungskonzept ab. Bei richtiger Dimensionierung sind beide Betriebsarten möglich.
→ Projekterfahrung: Die Nutzerbefragung zeigt, dass die permanent betriebenen Anlagen von den Nutzern in Bezug auf Lärm etwas besser bewertet werden.
- Auch bei der Abluftanlage ist auf ein regelmässiges Wechseln der Filter zu achten.
→ Projekterfahrung: Bei den Gebäudebegehungen wird deutlich, dass bei den Abluftanlagen ein regelmässiger Filterwechsel nur bei fünf (von 13) Gebäuden Standard ist.
- Soll der hygienisch erforderliche Luftwechsel über Fensterlüfter im Zusammenhang mit einer Abluftanlage realisiert werden, so muss geprüft werden, ob gemäss den kantonalen Energievorschriften (s. Vollzugshilfe En-105 zur MuKE n 2014) eine WRG oder Abwärmenutzung verlangt wird.
→ Projekterfahrung: Bei fünf Gebäuden nutzt der Verdampfer einer Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung die Wärme aus der Abluft.
Anmerkung: Ob der Wirkungsgrad verbessert, resp. die Energieeffizienz erhöht wird, hängt von den erreichbaren «Seasonal Coefficient of Performance» ab. Dies wurde im Projekt nicht untersucht.
- Eine Wärmeverteilung über Heizkörper ist im Zusammenhang mit Fensterlüftern vorteilhafter als über Flächenheizungen, da so das Zugluftisiko reduziert wird.
→ Projekterfahrung: In der Nutzerbefragung werden Fensterlüfter bezüglich Zugluft im Zusammenhang mit Radiatoren etwas besser bewertet.

8.3.3 Luftdichtheit

- Bei Gebäuden mit einfachen Abluftanlagen sollte gemäss FprSIA 382/5 die Luftdichtheit den Zielwert gemäss SIA 180:2014 erreichen, sodass die Frischluft tatsächlich über die Fensterlüfter in die Wohnung gelangt und nicht über Undichtheiten.
→ Projekterfahrung: Vier von acht Wohnungen unterschreiten den Zielwert von 0.6, keine Wohnung überschreitet den Grenzwert von 1.6 m³/(h m²). Die meisten Leckagen treten im Bereich der Fenster und im Einbaubereich der Fensterlüfter auf.

8.3.4 Planung und Einregulierung

- Zur Auslegung des Abluftvolumenstromes wird im Merkblatt 2023 empfohlen, einen Faktor von 1.3 zu verwenden. Dies entspricht dem optimalen Abluftvolumenstrom bei einer Gebäudedichtheit von 1.0 h⁻¹ und 3 Pa Unterdruck resp. 0.7 h⁻¹ und 5 Pa. in der FprSIA 382/5 wird eine Dichtheit von 0.6 h⁻¹ gefordert.
Damit das System optimal funktioniert, soll der Faktor für den Abluftüberschuss je nach Gebäudedichtheit und angestrebtem Unterdruck angepasst werden. Die Zu- und Abluftvolumenströme sowie der Unterdruck sollten zwingend bei der Einregulierung geprüft



und allenfalls angepasst werden.

→ Projekterfahrung: In fünf von acht Wohnungen wurde ein mehr als 10% zu tiefer Abluftvolumenstrom und in zwei von acht Wohnungen ein mehr als 10% zu hoher Abluftvolumenstrom gemessen.

8.4 Hinweise für den Betrieb

- Ist der Überström-Luftdurchlass (Türspalt) richtig dimensioniert, so müssen die Zimmertüren nicht immer offen stehen.
→ Projekterfahrung: Die Messung der Luftvolumenströme mit offenen und geschlossenen Zimmertüren innerhalb der Wohnung zeigt, dass kein nennenswerter Unterschied der Luftmengen bei geschlossenen und geöffneten Türen besteht.
- Eine Nutzerinformation ist aus Sicht der Autoren sinnvoll. Hier kann z. B. darauf hingewiesen werden, dass ergänzende Stosslüftungen sinnvoll sind und eine Dauerlüftung zu vermeiden ist, da sonst in den Räumen mit geschlossenen Fenstern über die Fensterlüfter keine Frischluft in den Raum gelangt. Weiter ist ein Hinweis darauf, dass die Filter der Fensterlüfter regelmässig gewechselt werden müssen, zu empfehlen.
→ Projekterfahrung: ein Effekt der Nutzerinformation auf die Zufriedenheit der Nutzer mit den Fensterlüftern kann nicht nachgewiesen werden. Allerdings eine schwache Tendenz dazu, Dauerlüftung im Winter zu vermeiden.

9 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.

10 Publikationen

Veröffentlicht:

- Brenet 2018 (Zürich): «Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) - Die Sichtweise der Nutzer », Caroline Hoffmann, Alex Primas, Achim Geissler, Heinrich Huber
- ABS 2019 (Bern): «Passive window ventilation openings in every-day use, Caroline Hoffmann, Achim Geissler, Claudia Hauri, Heinrich Huber.
- D-A-CH-Treffen Wohnungslüftung 2020: «Fensterlüfter in Wohngebäuden im praktischen Einsatz – Projekterfahrungen», Caroline Hoffmann, Achim Geissler, Claudia Hauri, Heinrich Huber (nur Vortrag).



Eingereicht und peer review durchlaufen (Tagung wegen Covid-19 abgesagt):

- IAQ 2020: Indoor Environmental Quality Performance Approaches (Athen): «Passive Window Ventilation Openings in Every-Day use», Caroline Hoffmann, Achim Geissler, Claudia Hauri, Heinrich Huber.
- Symposium Wohnungslüftung und Symposium Schullüftung 2020 (Stuttgart): «Fensterlüfter in Wohngebäuden im praktischen Einsatz (Sanierung und Neubau)», Caroline Hoffmann, Achim Geissler, Claudia Hauri, Heinrich Huber.



11 Referenzen

- [1] SIA 382/1, *Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Schweiz, 2014, pp. 1–82.
- [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] W. Ott, M. Jakob, M. Baur, Y. Kaufmann, and A. Ott, “Mobilisierung der energetischen Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand,” BFE, Bern, 2005.
- [4] H. Huber, *Komfortlüftung in Wohngebäuden - Systeme, Konzepte, Umsetzung*, 1st ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2016.
- [5] C. Hoffmann, A. Geissler, and H. Huber, “Fensterlüfter in der Gebäudesanierung,” *Bauphysik*, vol. 37, no. 3, pp. 169–178, 2015.
- [6] K. Völkl and C. Korb, *Deskriptive Statistik - Eine Einführung für Politikwissenschaftlerinnen und Politikwissenschaftler*, 1st ed. Heidelberg: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Springer VS), 2018.
- [7] F. Brosius, *SPSS - Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse*, 8th ed. Frechen: mitp Verlags GmbH & Co. KG, 2018.
- [8] H. Huber, C. Stünzi, C. Sibold, and D.-S. Kunz, “ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung,” IEBau, FHNW (im Auftrag des BFE), Muttenz, 2018.
- [9] SIA 2023, *Lüftung in Wohnbauten (Merkblatt)*. Schweiz, 2008, pp. 1–56.
- [10] FprSIA 382/5, *Lüftung in Wohnbauten - Vernehmlassung Entwurf*. Zürich, Schweiz, 2019.
- [11] SIA 180.206, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015)*. Schweiz, 2015.
- [12] DIN EN, *DIN EN 13829:2001-02: "Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 13829:2000*. 2001.
- [13] SIA 180, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. Schweiz, 2014, pp. 1–72.
- [14] G. Notter and M. Wehrli, *Richtlinie Luftdichtheit bei Minergie-Bauten(RiLuMi), Version 2020.1*. Schweiz, 2020.
- [15] W. Frank, *Berichte aus der Bauforschung - Raumklima und Thermische Behaglichkeit*. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn KG, 1975.
- [16] C. Hoffmann, “Nicht-visuell wirksame Beleuchtungen - Messtechnischer und qualitativer Vergleich von fünf Lichtlösungen,” *LICHT*, no. 11–12, pp. 81–89, 2016.
- [17] ift Rosenheim, *Fensterlüfter, Teil 2: Empfehlungen für die Umsetzung von Lüftungstechnischen Massnahmen im Wohnungsbau*. Rosenheim, 2010, pp. 1–24.
- [18] D. Reichel, *Zur Zuluftsicherung von nahezu fugendichten Gebäuden mittels dezentraler Lüftungseinrichtungen - Dissertation*. Dresden: Technische Universität Dresden, 1999.
- [19] V. Dorer and A. Pfeiffer, “Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL), Schlussbericht,” Bundesamt für Energie BFE, Dübendorf, 2002.
- [20] 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.



- [21] 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.
- [22] H. Künzle, *Wohnungslüftung und Raumklima*, 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] S. Caillou and P. Van den Bossche, "Lüftung von Wohngebäuden: eine neue TI und ein Rechentool," *Kontakt*, vol. 4, pp. 26–27, 2016.
- [26] M. Maivel, K. Kuusk, R. Simson, J. Kurnitski, and T. Kalamees, "Status on the Ground - Overview of existing surveys on energy performance related quality and compliance," QUALICheck, 2015.
- [27] A. Primas, H. Huber, C. Hauri, and M. Näf, "Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie," EnFK Regionalkonferenz Ostschweiz, Horw, 2018.
- [28] C. Hoffmann, A. Geissler, and H. Huber, "Fensterlüfter - Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen (Schlussbericht)," Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie und Gebäudegechnik, Zürich, 2015.



12 Résumé détaillé

12.1 Introduction

La ventilation des bâtiments répond à deux objectifs fondamentaux : d'une part, elle sert à maintenir la qualité de l'air et donc l'hygiène, et d'autre part, elle garantit que le bâtiment est exempt de dommages structurels. Ce travail de recherche porte essentiellement sur l'absence de dommages structurels.

Lorsque les bâtiments bénéficient d'une rénovation énergétique, cela se résume souvent au seul remplacement des fenêtres. Sans ventilation mécanique garantissant un renouvellement d'air bien défini, des problèmes d'humidité peuvent survenir à cause de fenêtres désormais plus étanches à l'air. Il est possible d'y remédier en installant par ex. des aérateurs de fenêtre. Ce sont des éléments de ventilation qui sont intégrés dans la fenêtre ou qui y sont directement reliés. Le projet se concentre sur les aérateurs de fenêtre passifs, c'est-à-dire sans ventilateur. Afin d'assurer une ventilation de base indépendante de l'utilisateur, les aérateurs de fenêtre sont également de plus en plus utilisés dans les nouveaux bâtiments. Par conséquent, le présent projet de recherche inclut aussi bien de nouveaux bâtiments que des bâtiments existants (voir tableau 1).

Au total, 13 types de bâtiments résidentiels équipés d'aérateurs de fenêtre passifs intégrés sont mis à l'étude. Quatre d'entre eux sont des bâtiments neufs, tandis que huit sont des immeubles d'habitation rénovés. L'un des bâtiments se compose de sections rénovées et de sections nouvellement construites. Six des rénovations sont des rénovations totales (remplacement des fenêtres et isolation des murs extérieurs). Dans deux bâtiments, seules les fenêtres ont été remplacées. Les concepts de ventilation de tous les bâtiments sont basés sur une combinaison d'aérateurs de fenêtre avec une ventilation, soit selon les besoins et contrôlée par une minuterie, soit de base et permanente via des ventilateurs d'extraction d'air dans la cuisine et les salles de bains. Dans cinq bâtiments, l'évaporateur d'une pompe à chaleur utilise la chaleur de l'air usé pour améliorer l'efficacité énergétique du système.

L'objectif des travaux de recherche est de découvrir comment les aérateurs de fenêtre intégrés font leurs preuves dans la pratique. Dans une première phase, le projet comprend l'évaluation du concept de planification, des inspections de bâtiments et des sondages auprès des résidents. Dans une deuxième phase, des mesures sont effectuées dans quatre bâtiments, chacun comportant deux appartements (marqués * dans le tableau 1).



Tableau 1 : Types de bâtiments étudiés. Abréviations utilisées : HC = immeuble d'habitation collective, IGH = immeuble à grande hauteur, N = bâtiment neuf, T = rénovation totale, F = remplacement de fenêtres, Appt. = appartement, A = élément apposé, B = cadre, AeFe = aérateur de fenêtre, AFD = élément diffuseur d'air frais, i = intégré, (*) = bâtiment de mesure

Abbr.	Nbre, type et lieu	# Appt.	N / T / F	AeFe / AFD	Produit	Ajus-table?
WT	1 HC Winterthur	10	N	AeFe (A i. à B)	Invisivent EVO AKD, Renson	J
GS	2 HC Basel	22	T	AeFe, en feuillure	Ego Kiefer Secco sans filtre	N
SD	2 HC Studen	30	T	AeFe, en feuillure haut B / côté B	Regelair "Forte"	N
HO	1 HC Horw	12	T	AFD	Helios ALD ZLA 100	J
DT_1	2 HH Dietikon	78	T	AeFe (A i. à B) / AFD (mur, tiers sup.)	Helios ALEF 45 / Helios ZTV-100	N / J
DT_2	1 HC Dietikon	35	T	AeFe (A i. à B)	Helios ALEF 45	N
DT_3 (*)	2 HH Dietikon	32	T	AeFe (A i. à B)	Helios ALEF 45	N
BB (*)	3 HC Biberstein	22	N	AeFe (A i. à B)	Aerex AL-dB-450-40	J
ZH_1_1 de ZH_1_9	9 HC Zürich	278	N	AeFe (A au-dessus B)	Anjos, L 30 S	N
ZH_2	1 HC Zürich	10	F	AeFe (A i. à B)	Trivent ZEF-S	J
ZH_3 (*)	1 HC Zürich	14	N	AeFe (A i. à B)	Sonoslot – P475, Renson	J
ZH_4	1 HC Zürich	4	F	AeFe (A i. à B)	Aerex AL_db_450	J
ZH_5 (*)	2 HC Zürich	26	N / T	AeFe, (A, au-dessus B, en partie côté B)	Siegenia Aeromat VT, Type DF2	N

12.2 Méthodologie

12.2.1 Visites de bâtiments

Les visites des bâtiments se déroulent entre le 26.02. et le 26.03.2018 et portent sur deux à trois appartements par type de bâtiment. Lors de l'inspection, le système de ventilation ainsi que le nombre et la position des aérateurs de fenêtre seront comparés avec la planification. En outre, il sera vérifié si les aérateurs des fenêtres ont été manipulés, par exemple scotchés, et la présence de moisissures dans l'appartement considérée. Les appartements ainsi examinés ne sont pas nécessairement identiques aux appartements dans lesquels les mesures sont effectuées.

Informations complémentaires → Chapitre 3.3.



12.2.2 Sondage auprès des habitants

Des questionnaires ont été distribués lors de l'inspection des bâtiments et ont pu être retournés anonymement dans un délai de quatre semaines. Les données ont été collectées du 26.02. au 24.05.2018. Le questionnaire porte sur l'hiver et comporte 19 questions sur les caractéristiques du logement, le flux d'informations, les paramètres de satisfaction, le comportement de la ventilation en hiver ainsi que le confort thermique, la qualité de l'air intérieur et le confort acoustique. Si une évaluation est demandée, le questionnaire propose une échelle avec cinq valeurs caractéristiques (échelle de Likert). Les corrélations (Kendall-Tau-b, τ_b) sont évaluées comme suit : > 0 à $0,2 =$ "corrélations très faibles", $> 0,2$ à $0,4 =$ "corrélations faibles". L'importance est représentée par une * (= significatif) pour le niveau de 5 % et par ** (= très significatif) pour le niveau de 1 %.

Informations complémentaires → Chapitre 3.4.

12.2.3 Mesures

Dans quatre types de bâtiments, des mesures à court et à long terme sont effectuées dans deux appartements respectivement. Les mesures à court terme se concentrent sur les débits d'air, l'étanchéité à l'air (accent mis sur l'appartement, pas de mesure dans l'appartement voisin) et les pressions différentielles générées par le ventilateur d'extraction. Le risque de courants d'air est mesuré mais non évalué (voir 1.3.3). Les mesures à court terme sont effectuées dans chaque appartement pendant environ huit heures au cours de la période du 19.10. au 20.11.2018. Les mesures à long terme menées à intervalles de 15 minutes comprennent la teneur en CO_2 de l'air, la température et l'humidité relative de l'air intérieur et extérieur de même que et le mode de fonctionnement du ventilateur d'extraction. Les données de mesure seront collectées d'octobre/novembre 2018 à avril/mai 2019. Les résultats des mesures sont rapportés avec l'incertitude de mesure spécifiée par le fabricant. L'incertitude de mesure est donc plutôt sous-estimée.

Informations complémentaires → Chapitre 3.5.

Au moment de la planification des bâtiments, les normes en vigueur sont SIA 203:2009, SIA 382:2014 et SIA 180:2014. Une partie de l'évaluation des résultats des mesures se réfère à ces normes. Toutefois, étant donné que certains sujets ne sont pas couverts par ces normes et que des indications pour planifications futures sont également données, la norme FprSIA 382/5:2019-12 est également mise en œuvre. Il est supposé un débit d'air frais nécessaire par personne de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant la journée et de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ la nuit. Selon la norme SIA 180, la limite pour une température ambiante confortable pendant la période de chauffage est comprise entre $20,5$ et $25,0$ °C (la température de l'air ambiant est ici appliquée) et pour l'humidité relative, entre 30 et 70 %. La teneur en CO_2 de l'air ambiant est évaluée au moyen de classes de qualité de l'air ambiant selon les normes SIA 382/1 et FprSIA 382/5. Selon la norme SIA 382/1, la classe RAL 2 décrit "l'air ambiant de qualité moyenne" (concentration en $\text{CO}_2 < 1000 \text{ ppm}$), la classe RAL 3 "l'air ambiant de qualité modérée" (concentrations en CO_2 de 1000 à 1400 ppm). Sans accord particulier, c'est la classe RAL 3 selon la norme FprSIA 382/5, qui doit être visée pour les bâtiments résidentiels.

Informations complémentaires → Chapitre 3.6.

12.3 Résultats

12.3.1 Visites de bâtiments

L'examen des filtres lors des inspections montre que les filtres des aérateurs de fenêtre sont rarement changés. Cela suggère que les utilisateurs eux-mêmes ne sont pas conscients du fait que les éléments techniques des bâtiments nécessitent un entretien régulier. L'entretien régulier est effectué



lorsque le gardien en est responsable, comme c'est le cas dans certains grands immeubles des coopératives de logement. Des moisissures ont pu être détectées dans un type de bâtiment, dans la salle de bains (DT_3).

Informations complémentaires → Chapitre 4.

12.3.2 Sondage auprès des habitants

Sur un total de 570 questionnaires distribués, 270 ont été retournés. Le taux de réponse moyen est de 42 %. Les deux paragraphes suivants résument les principaux résultats et traitent de certains aspects du concept technique du bâtiment sur la base du sondage.

Résultats principaux

La plupart des utilisateurs reportent qu'ils ventilent pendant la journée entre 2 et 10 minutes (45 %, $N = 107$, temps de ventilation total). Un moins grand nombre d'utilisateurs ouvre la fenêtre pendant la journée entre 6 et 20 minutes (15 %, $N = 36$, temps de ventilation total). Environ 60 % des personnes interrogées ressentent "parfois" ou "toujours" des courants d'air près des aérateurs de fenêtres. Environ 30 % n'ont émis aucune plainte ($\bar{x} = 2,0$ (2 = "parfois", 3 = "fréquemment"), $s = 1,6$, $N = 212$).

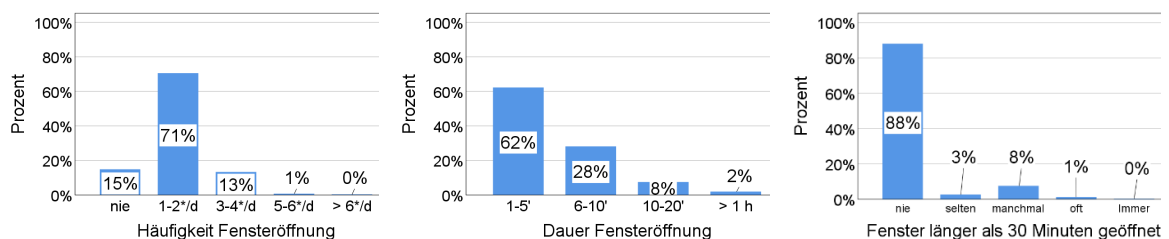


Image 50: Comportement des utilisateurs concernant la ventilation par les fenêtres

Environ 26 % des personnes interrogées perçoivent la température ambiante comme "froide" ou "trop froide". Cela contraste avec 16 % qui ont "chaud" ou "trop chaud" ($\bar{x} = 2,8$ (2 = "froid", 3 = "agréable"), $s = 1,2$, $N = 126$ parmi 217). L'air dans les appartements est "plutôt sec" ou "trop sec" pour 47 %. L'air sec pourrait également résulter du comportement à l'utilisation, car le groupe qui se plaint de l'air trop sec est celui qui ventile un peu plus longtemps. Plus de la moitié des utilisateurs jugent l'humidité de l'air agréable ($\bar{x} = 3,8$ (3 = "agréable", 4 = "sec"), $s = 0,95$, $N = 114$ parmi 215). Plus de la moitié sont "assez satisfaits" ou "satisfaits" de la qualité de l'air ambiant ($\bar{x} = 3,9$ (3 = "modéré", 4 = "plutôt satisfaits"), $s = 1,2$, $N = 115$ parmi 207). Au total, environ 8 % des personnes interrogées font état de moisissures ($N = 21$ parmi 263). Dans ce groupe, les moisissures apparaissent dans 95 % des cas dans la salle de bains. Les moisissures se produisent tant pour les types de bâtiments nouvellement construits que rénovés.

Le bruit de l'extérieur est perçu dans environ 60 % des cas comme "parfois" perturbant ou "toujours" perturbant. Les bruits gênants de l'installation ne sont "jamais" perçus par environ 70 % des utilisateurs ($\bar{x} = 0,60$ (0 = "jamais", 1 = "rarement"), $s = 1,1$, $N = 232$). Juste la moitié des personnes interrogées emménageraient à nouveau dans un appartement équipé d'aérateurs de fenêtre et d'un système d'extraction d'air, elles sont donc satisfaites du système ($\bar{x} = 1,0$, $D = 2$ (1 = "peut-être", 2 = "oui"), $N = 251$).

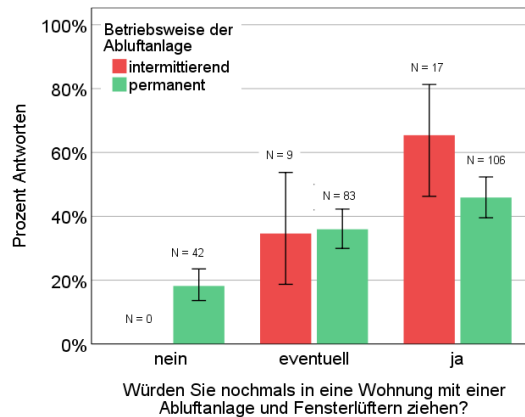


Image 51: Satisfaction apportée par les aérateurs de fenêtres selon le mode de fonctionnement de l'installation d'extraction d'air, avec intervalle de confiance de 95 %.

Concepts techniques de bâtiments munis d'aérateurs de fenêtre

Une question qui se pose dans le concept technique du bâtiment est le mode de fonctionnement du ventilateur d'extraction d'air. Les personnes sondées sont divisées en deux groupes : l'un avec un ventilateur d'extraction en fonctionnement permanent et l'autre avec un ventilateur d'extraction fonctionnant par intermittence. La comparaison ne montre guère de différences entre les deux groupes en termes de confort thermique, de qualité de l'air ambiant et de satisfaction à l'égard des aérateurs de fenêtre. Cependant, on constate une corrélation ténue mais hautement significative entre le fonctionnement du ventilateur d'extraction et le niveau de bruit. Cela suggère qu'un ventilateur d'extraction fonctionnant par intermittence occasionne un bruit plus gênant (ventilateur d'extraction fonctionnant par intermittence / en permanence et bruit gênant: $\tau_b = -0,187^{**}$).

D'autres points sont le type et l'équipement (supplémentaire) des aérateurs de fenêtre. En ce qui concerne le type d'aérateurs de fenêtre, l'hypothèse selon laquelle les aérateurs en feuillure (combinés avec radiateurs) provoquent moins de courants d'air que les aérateurs au-dessus de la fenêtre, est confirmée (figure 1, aérateurs de fenêtre au-dessus de la fenêtre : $\bar{x} = 2,2$ (0 = jamais, 1 = rarement, 2 = parfois), $N = 191$; aérateurs en feuillure : $\bar{x} = 0,48$, $N = 21$, $\tau_b = -0,371^{**}$). Cette interprétation reste valide, même si les aérateurs en feuillure et les aérateurs de fenêtre au-dessus de la fenêtre ne sont comparés qu'avec les radiateurs (la comparaison précédente incluait également les bâtiments avec chauffage au sol) : Les valeurs moyennes des deux groupes diffèrent sensiblement et on constate une faible corrélation très significative entre les courants d'air et la position des aérateurs de fenêtre (aérateurs de fenêtre au-dessus de la fenêtre : $\bar{x} = 2,0$, $N = 35$; aérateurs en feuillure : $\bar{x} = 0,48$, $N = 21$; aide à l'interprétation : 0 = "jamais", 1 = "rarement", 2 = "parfois", $\tau_b = -0,301^{**}$). Pour les bâtiments avec chauffage au sol, une comparaison entre les types d'aérateurs de fenêtre tenant compte des courants d'air ne peut pas être réalisée, car les types de bâtiments étudiés avec aérateurs en feuillure sont tous équipés de radiateurs. En combinaison avec les aérateurs de fenêtre, la distribution de la chaleur par les radiateurs provoque moins de courants d'air que les systèmes de chauffage par le sol (figure 2, courants d'air avec a) les radiateurs : $\bar{x} = 1,5$, $N = 56$ et b) le chauffage par le sol : $\bar{x} = 2,3$ (1 = jamais, 2 = rarement, 3 = parfois), $N = 156$; $\tau_b = -0,207^{**}$).

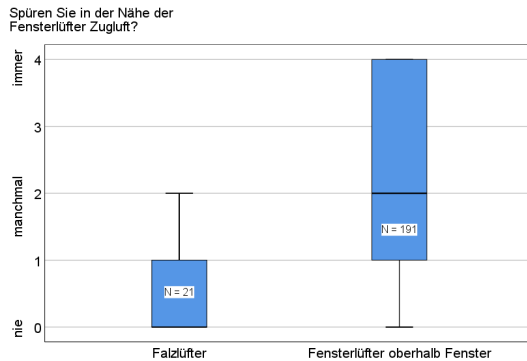


Image 52: : Boxplot Satisfaction relative aux courants d'air en fonction de la position de l'aérateur de fenêtre

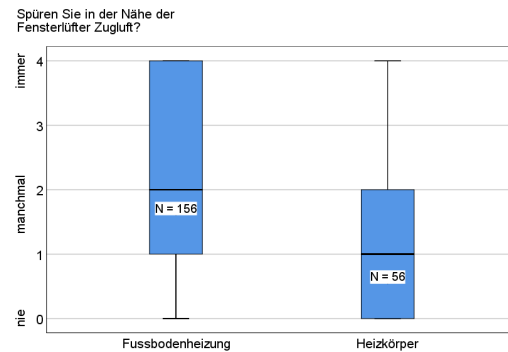


Image 53: Evaluation des courants d'air en fonction de la répartition de la chaleur

. Aide à l'interprétation : la box (ou boîte) du boxplot indique la fourchette entre le 25 % et le 75 % percentile (25 % percentile = 25 % de toutes les valeurs sont égales ou inférieures à cette valeur). La ligne au milieu de la boîte indique la position de la médiane. Les valeurs les plus grandes et les plus petites sont indiquées par des lignes horizontales à l'extérieur de la boîte. Si ce tiret est directement adjacent à la case (par exemple la boîte de droite), cela signifie par exemple que la valeur la plus élevée correspond au 75 % percentile

Que les aérateurs de fenêtre soient munis de filtres ou qu'ils soient ajustables par les utilisateurs n'a aucune influence significative sur l'évaluation du confort thermique, de la qualité de l'air ou de la satisfaction relative aux aérateurs de fenêtre. Cependant, il peut être démontré que les aérateurs de fenêtre ajustables ne sont pas scotchés par les utilisateurs (insatisfaits) (aérateurs de fenêtre non ajustables / ajustables N = 216 / 35, aérateurs scotchés non ajustables / ajustables, N = 19 / 0). Une information aux utilisateurs permet d'éviter une ventilation prolongée pendant la journée.

Informations complémentaires → Chapitre 5.

12.3.3 Mesures

Mesures à court terme

En raison des températures extérieures élevées aux dates prévues pour les mesures, la différence de température entre intérieur et extérieur n'est pas assez élevée pour tirer des conclusions significatives de l'évaluation du risque de courant d'air.

La densité de construction (qa50) est comprise entre 0,5 (BB) et $1,3 \pm 10 \text{ \% m}^3/(\text{h m}^2)$ (ZH_3). La médiane est de $0,7 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. La norme FprSIA 382/5 exige le respect de la valeur cible selon la norme SIA 180:2014 pour les bâtiments équipés de systèmes d'extraction d'air simples. Tous les bâtiments se trouvent en-dessous de la valeur limite de $1,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, quatre bâtiments sur huit respectent (rétroactivement) la valeur cible de $0,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Le type de bâtiment ayant l'étanchéité la



plus haute (BB) et la plus faible (ZH_3) est dans chaque cas un bâtiment neuf. La plupart des fuites se produisent dans la zone des fenêtres et dans l'espace d'implantation des aérateurs de fenêtre.

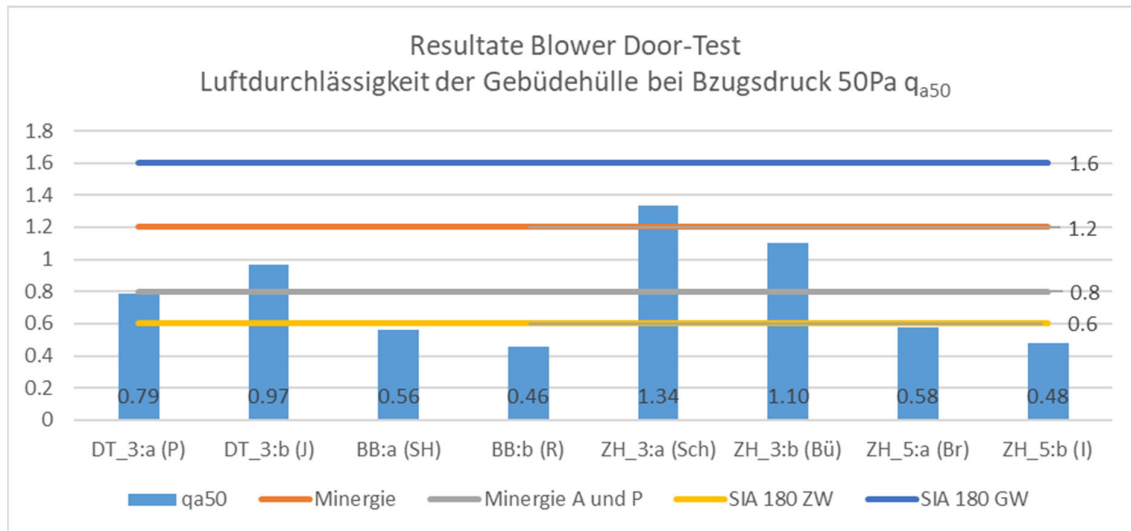


Image 54: Aperçu de la perméabilité à l'air sous la pression 50 Pa q_{50} .

Le tableau 2 compare les débits d'air mesurés et planifiés. Les mesures sont effectuées sous différentes conditions extérieures et les différences de pression qui en résultent. Cela se reflète également dans les résultats. En raison de conditions de vent défavorables, aucune mesure n'a pu être effectuée dans un des appartements (ZH_5:b). Avec les portes des pièces fermées, le débit est compris entre $38 (\pm 6)$ et $166 (\pm 7)$ m³/h. Cela correspond à un débit compris entre 8 et 62 m³/h (± 5 %) par personne vivant dans l'appartement. En se basant sur un débit d'air frais recommandé de 30 m³/h pendant la journée, la demande n'est assurée que dans quatre appartements (type de bâtiment BB, ZH_5:a et ZH_3:a). Dans trois appartements (type d'immeuble DT_3 et ZH_3:b), l'objectif ne peut pas être atteint. Si l'on rapporte le débit mesuré aux différents aérateurs de fenêtre, il apparaît clairement que les valeurs diffèrent manifestement entre les différents produits. Dans les types de bâtiments ZH_3 et ZH_5, le débit se situe entre 8 et 20 m³/h (± 4 m³), dans les types de bâtiments BB et DT_3, le débit atteint des valeurs allant jusqu'à 30 m³/h (± 2 m³).

La comparaison calculée entre le débit d'air frais théoriquement possible par les aérateurs de fenêtre (à une pression négative de 4 Pa choisie comme base de comparaison) montre que, concernant le dimensionnement, le débit requis par la norme ne peut être atteint dans aucun appartement (valeurs au chapitre 6.1). Il faut donc supposer que des débits plus faibles ou des pressions négatives plus élevées ont déjà été pris en compte au niveau du dimensionnement. Si l'on compare les différences entre les débits d'air neuf et d'air extrait, on constate que dans trois appartements (types de bâtiments ZH_3 et ZH_5), les débits d'air neuf et d'air extrait sont presque identiques et que l'excédent d'air extrait est donc inférieur à 30 %. Dans les appartements BB et DT_3:a, l'excès d'air vicié dépasse de loin 30 %, ce qui entraîne des pressions négatives nettement plus élevées (supérieures à 100 - 200 %). La mesure des débits d'air avec des portes ouvertes et fermées dans les appartements ne peut pas confirmer une corrélation entre la différence des volumes d'air avec des portes ouvertes et fermées et la taille de l'interstice entre le battant de la porte et son cadre.

Informations complémentaires → Chapitre 6.1.



Tableau 2 : Comparaison des débits par aérateur de fenêtre (données du fabricant et mesures) et par appartement. Abréviations utilisées: a = appartement 1, b = appartement 2, AF = air frais, AV= air vicié extrait

	DT_3	BB	ZH_3	ZH_5
Aérateur de fenêtre	Helios ALEF 45	Aerex AL-dB-450-40r	Sonoslot –P475, Renson	Siegenia Aeromat VT, Type DF2
Débit déclarés selon le fabricant par aérateur (m³/h)	@ 2 Pa: 12 @ 4 Pa: 18 @ 8 Pa: 28 @10 Pa: 34	@ 4 Pa: 14.0 @ 8 Pa: 20.0 @10 Pa: 22.0	@ 2 Pa: 8.3 @ 4 Pa: 11.8 @ 8 Pa: 17.0 @10 Pa: 19.2	@ 5 Pa: 25
Débit mesuré (m³/h) par aérateur	8 (± 4 m³) - 28 m³/h (± 2 m³)	18 (± 4 m³) - 30 m³/h (± 2 m³)	8 (± 4 m³) - 20 m³/h (± 4 m³)	9 (± 4 m³) - 18 m³/h (± 4 m³)
Débit (m³/h) selon SIA 2023*	a: AF 120 a: AV 156 b: AF 120 b: AV 156	a: AF 60 a: AV 78 b: AF 120* b: AV 156*	a: AF 60 a: AV 78 b: AF 90 b: AV 117	a: AF 60 a: AV 78 b: AF 150 b: AV 195
Débit mesuré (m³/h)	a: 72 (± 6) @ 9 Pa b: 42 (± 8) @ 2 (± 0.15) Pa	a: 107 (± 4) @ 17 (± 0.17) Pa b: 166 (± 7) @ 11 (± 0.15) Pa	a: 62 (± 7) @ 5 (± 0.15) Pa b: 68 (± 10) @ 3 (± 0.15) Pa	a: 38 (± 6) @ 3-4 (± 0.15) Pa b: n. a.

- Le débit d'air extrait est mesuré de la façon suivante : AV= 1.3 x AF

Mesures à long terme

Dans la plupart des appartements, la température de l'air ambiant est comprise entre 20,5 et 25,0 °C, domaine requis pour la température ambiante selon la norme SIA 180. Cependant, la température de l'air et la température de fonctionnement ne peuvent être comparées que si la température radiante moyenne et la température de l'air sont très similaires. C'est généralement le cas dans les bâtiments bien isolés. Les résultats des mesures permettent donc de déduire que la température se situe dans une fourchette acceptable. La valeur moyenne $\bar{x}$ pour toutes les pièces (déterminées séparément) et pour toute la période se situe entre 20,5 et 24,5 °C ($\bar{x}$: 20,2 - 24,6 (± 0,1 °C)). La pièce ayant la température la plus élevée diffère d'un appartement à l'autre. Dans trois appartements, c'est le salon (min - max $\bar{x}$ = 21,9 - 23,8 ; $\bar{x}$ = 21,9 - 24,0, (± 0,1 °C)), dans quatre appartements, c'est la salle de bains (plage de $\bar{x}$ = 21,6 - 24,5 ; $\bar{x}$ = 21,6 - 24,6, (± 0,1 °C)) et dans un appartement, la chambre à coucher est la pièce la plus chaude (plage de $\bar{x}$ = 20,5 - 23,4 ; $\bar{x}$ = 20,2 - 23,5, (± 0,1 °C)).

L'humidité relative répond également aux exigences de la norme SIA 180 (entre 30 % et 70 % d'humidité relative). Dans les salles de séjour, la valeur moyenne $\bar{x}$ se situe entre 31 et 45 % ($\bar{x}$: 30 - 46 % (± 2 %)). Dans les chambres à coucher, $\bar{x}$ se situe entre 34 et 49 % ($\bar{x}$: 32 - 49 (± 2 %)). Il est peu surprenant que, dans tous les appartements, les valeurs moyennes maximales atteignant 36 et 77 % ($\bar{x}$: 35 - 82 % (± 2 %)) soient enregistrées dans la salle de bains. La valeur moyenne la plus élevée est mesurée dans la salle de bains de l'appartement DT_3:b (J). La valeur moyenne la plus basse se trouve dans une salle de séjour (ZH_3:a (Sch)).

Les valeurs moyennes des teneurs en CO₂ relevées dans les salles de séjour se situent entre $\bar{x}$ 590 et 1530 ppm ($\bar{x}$: 560 - 1500 ppm (± 70 - 100 ppm)). Dans la chambre à coucher, $\bar{x}$ se trouve entre 650 et 3440 ppm ($\bar{x}$: 660- 3550 ppm (± 70 - 160 ppm)). La classification de la qualité de l'air intérieur (QAI) en fonction de la teneur en CO₂ selon la norme SIA 382/1:2014 [1] montre qu'une QAI moyenne (RAL 2) est atteinte dans six appartements pendant près de 60 % du temps. Dans un seul logement



(ZH_3:b), la qualité de l'air intérieur est classée modérée à faible (RAL 3 - 4) pendant environ 60 % du temps. Dans un autre logement (DT_3:b), la QAI est faible (RAL 4) pendant plus de 80 % du temps. Comme la norme FprSIA 382/5:2019-12 exige le RAL 3, les valeurs relatives au CO₂ dans six des appartements mesurés sont supérieures à l'objectif.

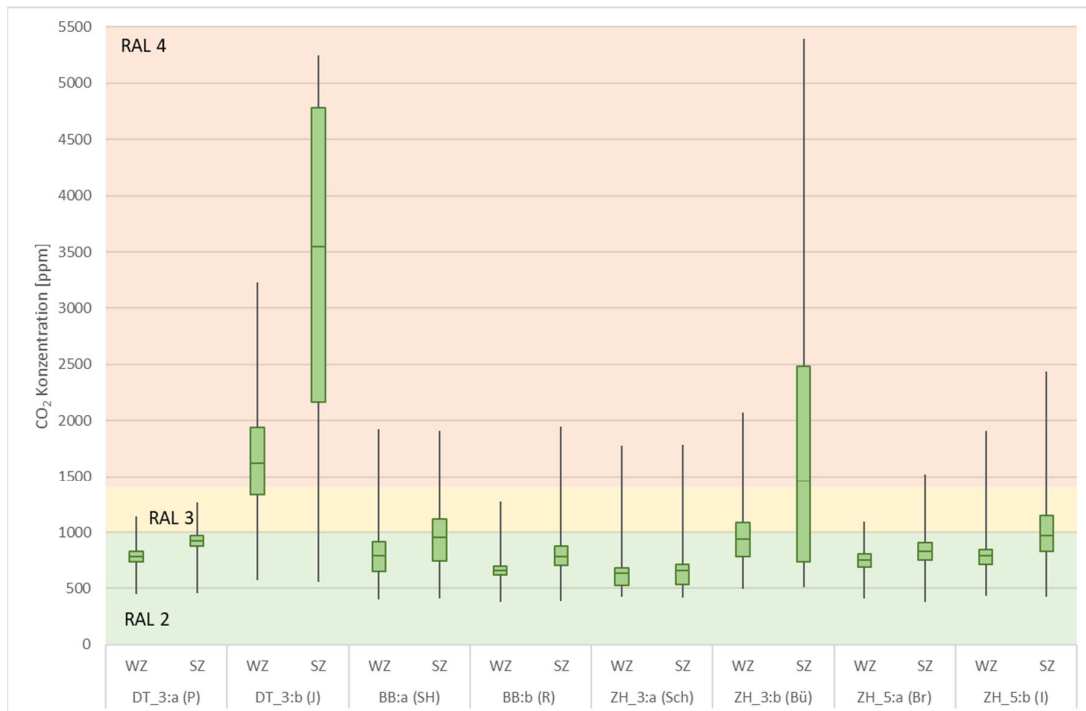


Image 55: Distribution de la concentration de CO₂ (valeurs min, max, médiane et percentile 25-75 %). Code couleur : vert clair = RAL 2 (air intérieur de qualité moyenne, jusqu'à 1 000 ppm) ; jaune clair = RAL 3 (air intérieur de qualité moyenne, 1 000 à 1 400 ppm) ; rouge clair = RAL 4 (air intérieur de qualité faible, supérieur à 1 400 ppm).

La considération qualitative du mode de fonctionnement du ventilateur d'extraction d'air consiste à vérifier les informations issues de la planification du bâtiment. Dans trois types de bâtiments se trouve un ventilateur central d'extraction d'air fonctionnant en permanence (ZH_3, ZH_5 dans les salles de bains, DT_3 dans les salles de bains et cuisines). Les mesures confirment que les ventilateurs d'extraction d'air sont toujours en marche. Le type d'immeuble BB dispose d'un ventilateur d'extraction par appartement, qui peut être déclenché soit par la teneur en CO₂ de l'air, soit par l'interrupteur d'éclairage de la salle de bains, soit par un autre interrupteur. Dans l'appartement BB:a, le ventilateur d'extraction d'air est souvent désactivé (manuellement ou via le capteur de CO₂), dans l'appartement BB:b, il n'est jamais éteint. Cela se reflète également dans les mesures de CO₂, où l'appartement BB:b se situe presque toujours dans la classe RAL 2, tandis que la chambre à coucher de l'appartement BB:a se situe dans la classe RAL 3 pendant 40 % du temps.

Informations complémentaires → Chapitre 6.2.

Interprétations des expériences

Afin de tirer des conclusions sur le comportement de ventilation des habitants à partir des données mesurées, la corrélation entre température extérieure et intérieure est étudiée. Cependant, les correspondances mises en évidence ne sont pas assez cohérentes dans l'ensemble pour permettre toute conclusion. L'évaluation visuelle de l'évolution dans le temps de la température, de l'humidité



relative et du CO₂ par rapport au comportement de ventilation permet d'identifier certaines périodes prolongées d'ouverture de fenêtres. Cependant, ces cas sont très isolés et ne se produisent pas dans tous les appartements. Cela pourrait s'expliquer par l'intervalle d'enregistrement de 15 minutes, qui n'enregistre pas de modifications de ventilation brèves, ainsi que par les températures extérieures plutôt modérées pendant la période de mesure, qui ne permet pas aux appartements de trop se refroidir, d'où l'absence de mesures de températures visiblement basses. Une relation mathématique consistante entre la teneur en CO₂ et l'humidité relative pourrait idéalement remplacer la mesure du CO₂. Malheureusement, les valeurs ne permettent pas de tirer de conclusion sur une relation permanente entre l'humidité relative et la teneur en CO₂.

Informations complémentaires → Chapitre 6.3.

12.3.4 Comparaison des visites, mesures et sondages

Le sondage montre que seuls quelques utilisateurs, à savoir 8%, gardent la fenêtre ouverte pendant 10 à 20 minutes dans la journée (90% des utilisateurs ouvrent la fenêtre plus brièvement). Les données de mesure ne peuvent pas être utilisées pour enregistrer de la ventilation intermittente. L'analyse visuelle des données mesurées montre que les événements de ventilation plus longs ne sont pas ou très rarement rencontrés. Le comportement réel et auto-déclaré semble être correct en ce qui concerne la durée prolongée d'ouverture des fenêtres.

Les résultats du sondage et des mesures de la température de l'air ambiant ne sont pas concordants. Les types de bâtiments dont les habitants signalent des températures ambiantes plutôt chaudes au cours du sondage n'ont pas tendance (ou seulement légèrement) à montrer des températures chaudes dans les résultats des mesures.

De manière générale, l'air ambiant est perçu par les habitants comme plutôt sec. L'air sec pourrait être dû aussi au comportement des utilisateurs, car le groupe qui se plaint de l'air sec ventile un peu plus longtemps. Les valeurs mesurées se situent tendanciellement dans la moyenne inférieure des valeurs considérées comme acceptables dans les normes. On ne peut pas nécessairement en déduire une relation plus précise entre sondage et mesure de l'humidité relative : les différentes évaluations entre les types de bâtiments ne concordent pas avec les valeurs mesurées.

Dans trois types de bâtiments (BB, ZH_5, DT_3), le sondage fait état de moisissures (dans la salle de bains), dans DT_3 elles sont également détectées lors de l'inspection. Dans ce type de bâtiment, cela coïncide avec des taux d'air frais trop faibles selon les mesures.

Pour les types de bâtiments dans lesquels un débit d'air suffisamment important est mesuré (BB, ZH_5:a et ZH_3:a), le sondage montre que la satisfaction des habitants quant à la qualité de l'air est légèrement moins élevée que dans la moyenne générale des réponses. La meilleure évaluation de la qualité de l'air se produit dans le type de bâtiment ayant les débits mesurés les plus faibles (DT_3). Comme la taille et le taux d'occupation des appartements varient, on peut supposer que l'apport d'air frais dans les autres appartements (non mesuré) est suffisant.

La satisfaction générale à l'égard des aérateurs de fenêtre est supérieure à la moyenne dans trois des types de bâtiments mesurés. Il n'y a que dans le type de bâtiment DT_3 qu'il est plus bas.

La liste montre que la corrélation entre le sondage et les mesures est plutôt faible. On ne sait pas si les habitants des appartements mesurés sont ceux qui ont répondu à l'enquête. Rétrospectivement, cela est à recommander pour tous projets de suivi, si l'accent est mis sur le lien entre les impressions de l'utilisateur et les résultats de mesures.

Informations complémentaires → Chapitre 7



12.3.5 Est-ce que les aérateurs de fenêtres sont recommandables?

L'une des premières questions posées par le projet consiste à savoir si les aérateurs de fenêtre permettent un renouvellement d'air indépendant de l'utilisateur, afin d'éviter la formation de moisissures, en particulier dans le cadre d'une rénovation échelonnée. La quantité d'air nécessaire pour cela est inférieure au renouvellement d'air hygiénique pour les personnes. Sur les 13 types de bâtiments, huit sont des immeubles d'habitation collective entièrement rénovés. Dans deux types de bâtiments, seules les fenêtres ont été remplacées. La fréquence de moisissures reportée dans le sondage se situe dans la fourchette des bâtiments résidentiels classiques [2]. Les moisissures se produisent dans les nouveaux bâtiments (trois types de bâtiments et le type de bâtiment nouvelle construction / rénovation totale) et les rénovations (quatre types de bâtiments et le type de bâtiment nouvelle construction / rénovation totale). Cela laisse supposer que l'installation d'aérateurs de fenêtre n'empêche pas toujours la formation de moisissures. En outre, comme le montrent les mesures, le renouvellement par l'air extérieur nécessaire par personne n'est pas garanti en soi, même s'il était prévu dans la planification. La comparaison des résultats du sondage avec la littérature montre que les habitants, dans le cadre du présent projet, ventilent de façon assez modérée. Il est possible d'argumenter que le problème des moisissures pourrait être plus important sans aérateurs de fenêtre. D'autre part, il est également possible que les habitants considèrent qu'en raison des aérateurs de fenêtre, de la ventilation intermittente supplémentaire n'est plus nécessaire.

Comme le montrent les mesures, l'échange d'air extérieur requis par personne n'est pas garanti en soi par les aérateurs de fenêtre, même si ceci était prévu dans la planification. Pour garantir les aspects hygiéniques, une ventilation par à-coups supplémentaire par les utilisateurs est nécessaire.

Deux aspects doivent être soulignés dans l'enquête auprès des utilisateurs concernant les paramètres de confort. Tout d'abord, plus de la moitié des personnes interrogées perçoivent le bruit extérieur "parfois" ou "toujours" comme une perturbation. Il s'ensuit que les aérateurs de fenêtre ne sont pas recommandés dans les bâtiments situés dans des zones à forte circulation (voir également le chapitre 8). Deuxièmement, en ce qui concerne les courants d'air, les aérateurs en feuillure sont mieux notés que les aérateurs de fenêtre au-dessus de la fenêtre. Cela peut être dû en partie à la distribution de la chaleur (dans le projet, les aérateurs en feuillure ne sont utilisés qu'en combinaison avec des radiateurs), mais surtout aux volumes d'air possibles qui peuvent entrer dans la pièce par les aérateurs de fenêtre. Pour les aérateurs en feuillure, ils sont compris entre 2 et 6 m³/h (@ 2-10 Pa), pour les éléments apposés mesurés, ils sont compris entre 8,3 et 34 m³/h (@ 2-10 Pa). Pour un grand volume d'air, il faudra donc, selon la planification adoptée, accepter éventuellement une perte de confort.

Lors de la phase de conception, il faut préciser si les aérateurs de fenêtre doivent assurer la prévention des moisissures (échange d'air contre l'humidité) ou un échange d'air hygiénique. Si seule la protection des bâtiments doit être assurée, il faut trouver une autre solution pour assurer le renouvellement de l'air nécessaire sur le plan hygiénique (ventilation par à-coups, etc.).

Dans le cadre du dimensionnement, il faut préciser si les aérateurs de fenêtre doivent assurer la prévention des moisissures (renouvellement d'air contre l'humidité) ou un échange d'air hygiénique. L'installation efficace d'aérateurs de fenêtre nécessite une planification minutieuse des débits souhaités. Comme ces débits sont également influencés par des conditions externes et des différences de pression changeantes, il est recommandé de prévoir une marge de sécurité pour atteindre les objectifs de planification. Si l'objectif de base est un renouvellement d'air hygiénique, il faut réfléchir à un système de récupération de chaleur (récupération de la chaleur de l'air extrait, par exemple via pompe à chaleur). Selon le type de système et le concept de ventilation, cela est déjà prescrit par la norme SIA 382/1 et le MoPEC (par exemple, l'aide à l'exécution EN-105 pour le MoPEC 2014). Il convient également de rappeler que les aérateurs de fenêtres font partie de l'équipement



technique du bâtiment et nécessitent donc un entretien régulier (changement de filtre, nettoyage). Les utilisateurs doivent être bien informés afin d'être impliqués lorsqu'une ventilation supplémentaire s'avère nécessaire (par exemple, la ventilation par à-coups. Raison : si une fenêtre est ouverte en permanence, l'air d'alimentation entre principalement dans l'appartement par cette fenêtre. En raison des conditions de pression, aucun air frais ne pénètre dans les autres pièces par les aérateurs de fenêtres).

En tenant compte des recommandations de planification du chapitre 8, les aérateurs de fenêtre peuvent se révéler être un aspect judicieux du concept de ventilation.



13 Anhänge

13.1 Dokumentation Lüftungskonzept und Fensterlüfter

13.1.1 ZH_1_1 bis ZH_1_9



Fensterlüfter / Aussenluftdurchlass- element	Aufsatzelement
Einbauort	Im verbreiterten Blendrahmen
Produkt	Anjos L 30 S
Verstellbar	nein
Filter	Ja, max. G3
Unterströmöffnungen	teilweise Türspalte
Zentrale / Dezentrale	Zentral
Abluft	
Wärmerückgewinnung?	nein
Filter für Abluft	unbekannt

Abbildung 56: oben: Fensterlüfter von innen, unten: Fensterlüfter von innen, geöffnet

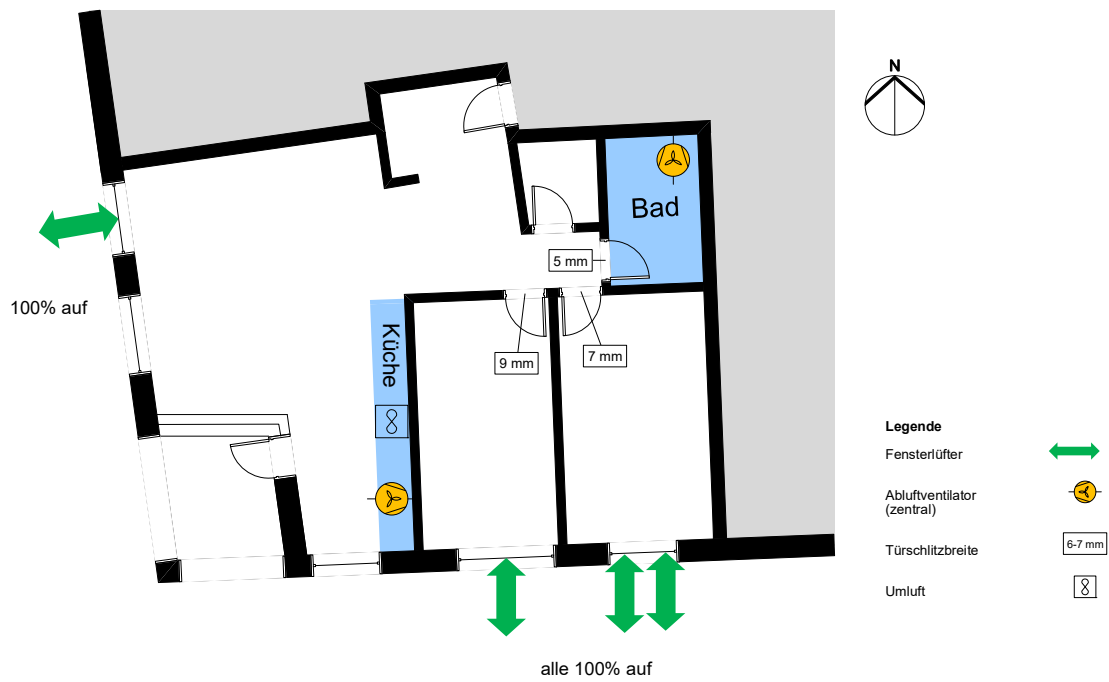
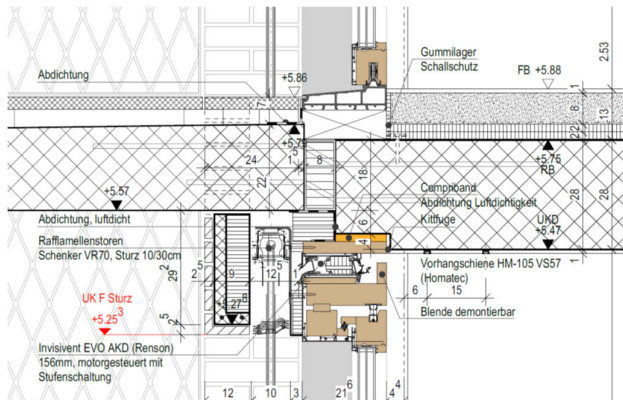


Abbildung 57: Lüftungssystem 3.5-Zimmer Wohnung, 4. OG



13.1.2 WT



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element**
Einbauort
Produkt

Verstellbar

Aufsatzelement

In Blendrahmen
Invisivent EVO
AKD

Ja, aus und 3
Stufen an mit
elektrisch
betriebenen
Stufenschalter

Filter
Unterströmöffnungen
Zentrale / Dezentrale
Abluft

Wärmerückgewinnung?
Filter für Abluft

Nein
Türspalte
Zentral, in der
Whg. Stufen-
schaltung
nein
ja

Abbildung 58: oben: Fensterlüfter von innen (Luftaustritt unterhalb Decke), unten: Detailzeichnung

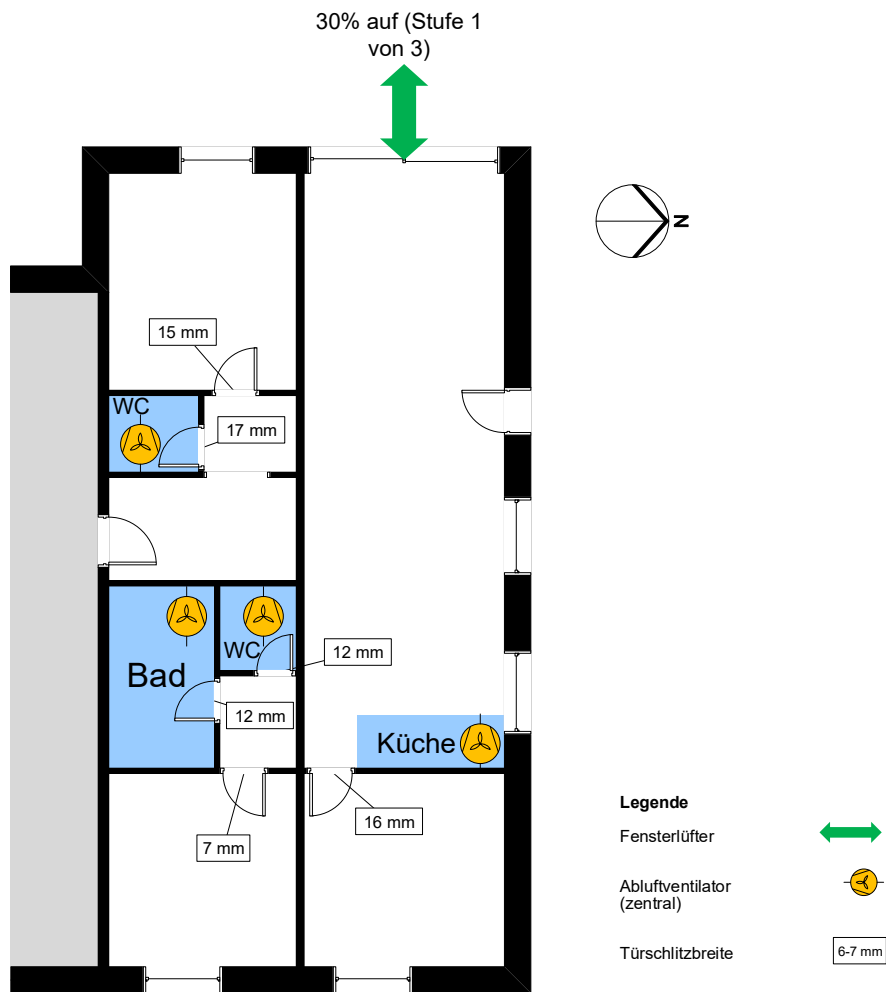


Abbildung 59: Lüftungssystem 4.5-Zimmer Wohnung, 2. OG



13.1.3 ZH_2



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

Fensterlüfter

Produkt

Aufsatzelement
integriert in
Blendrahmen

Verstellbar

Trivent ZEF-S

Filter

Ja

Unterströmöffnungen

Ja, M5

Zentrale / Dezentrale

Türspalte in Bad

Abluft

Zentral

Wärmerückgewinnung?

Ja über Wärmepumpe

Filter für Abluft

ja

Abbildung 60: oben: Fensterlüfter, unten: Filter

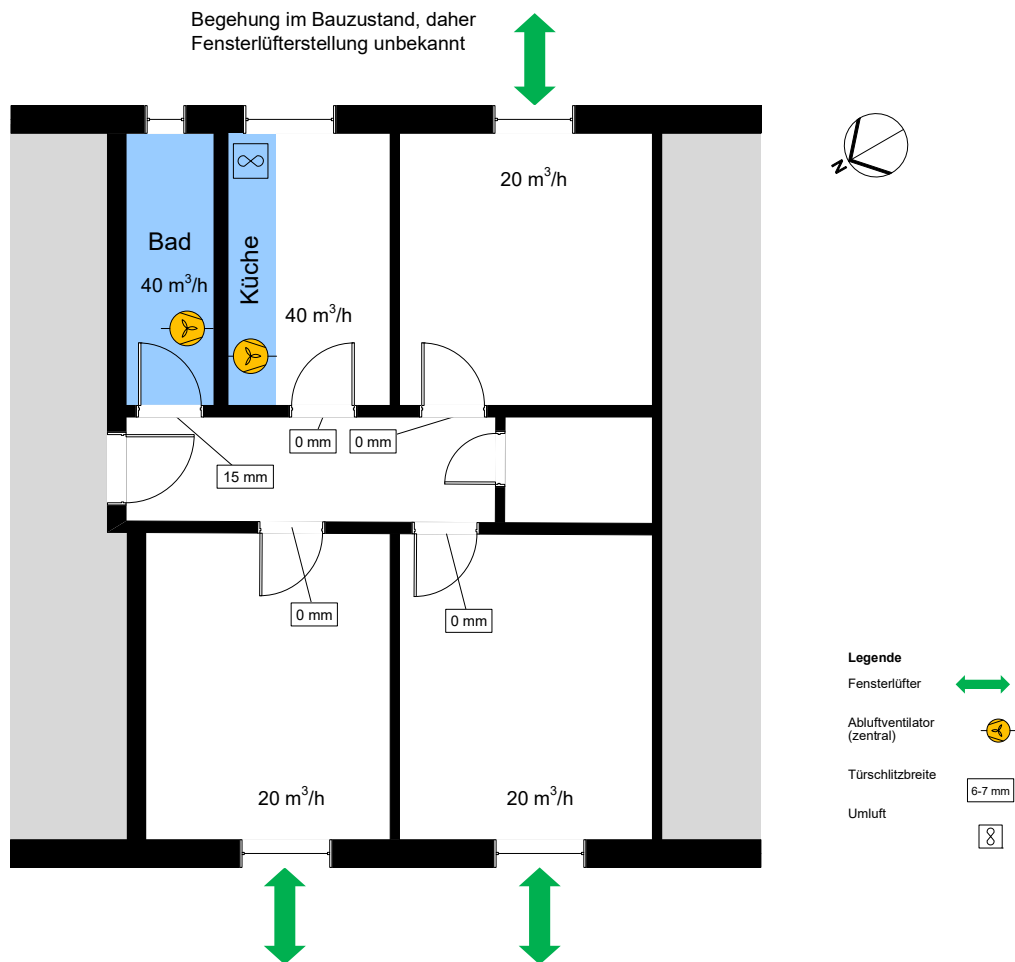


Abbildung 61: Lüftungssystem 3.5-Zimmer Wohnung 1. OG



13.1.4 ZH_3



Fensterlüfter / Aussenluftdurchlass-element	Fensterlüfter
Einbauort	Aufsatzelement integriert in Blendrahmen
Produkt	Sonoslot – P475, Renson
Verstellbar	ja
Filter	nur schall-absorbierend
Unterströmöffnungen	Spalt unterhalb Tür
Zentrale / Dezentrale Abluft	zentral
Wärmerückgewinnung?	Ja, über Wärmepumpe
Filter für Abluft	Nein, soll im Frühjahr 2018 nachgerüstet werden.

Abbildung 62: oben: Fensterlüfter innen, unten: Fensterlüfter aussen

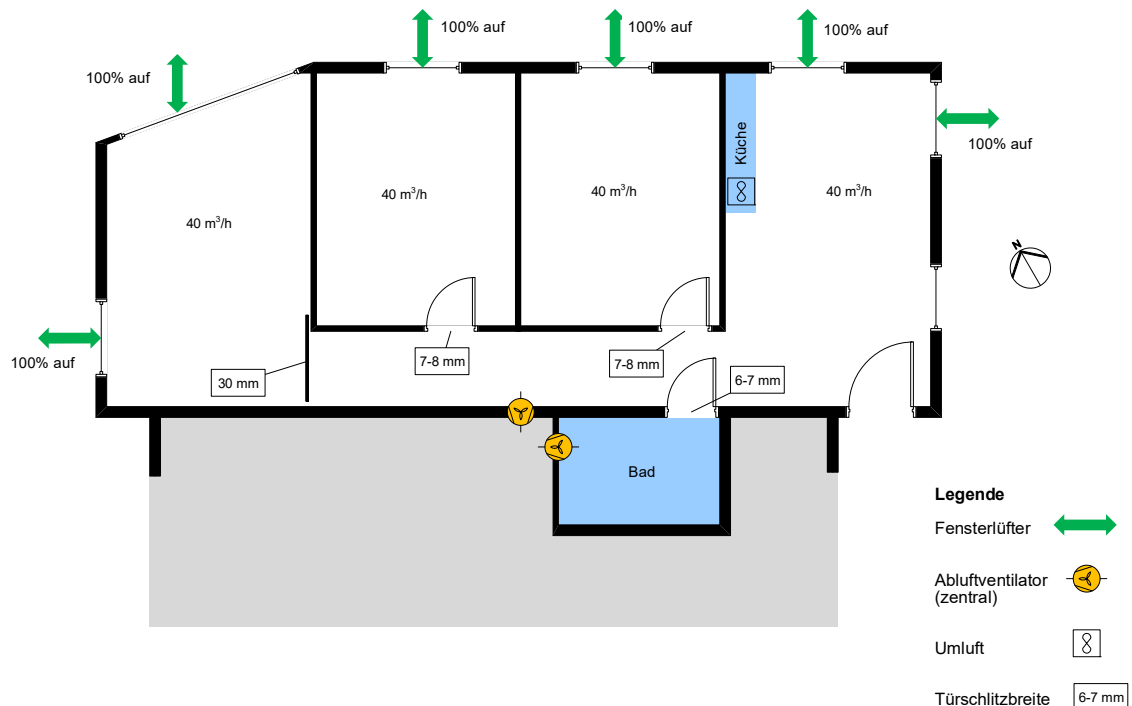


Abbildung 63: Lüftungssystem 4.5-Zimmer Wohnung, 3. OG



13.1.5 ZH_4



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

Fensterlüfter

**Produkt
Verstellbar
Filter**

Aufsatzelement
integriert in
Blendrahmen
Aerex AL_db_450
ja, G2

**Unterströmöffnungen
Zentrale / Dezentrale**

Spalt unterhalb Tür
zentral

Abluft

Wärmerückgewinnung?

nein

Filter für Abluft

unklar

Abbildung 64: oben: Fensterlüfter innen und aussen, unten: Überströmöffnung Tür

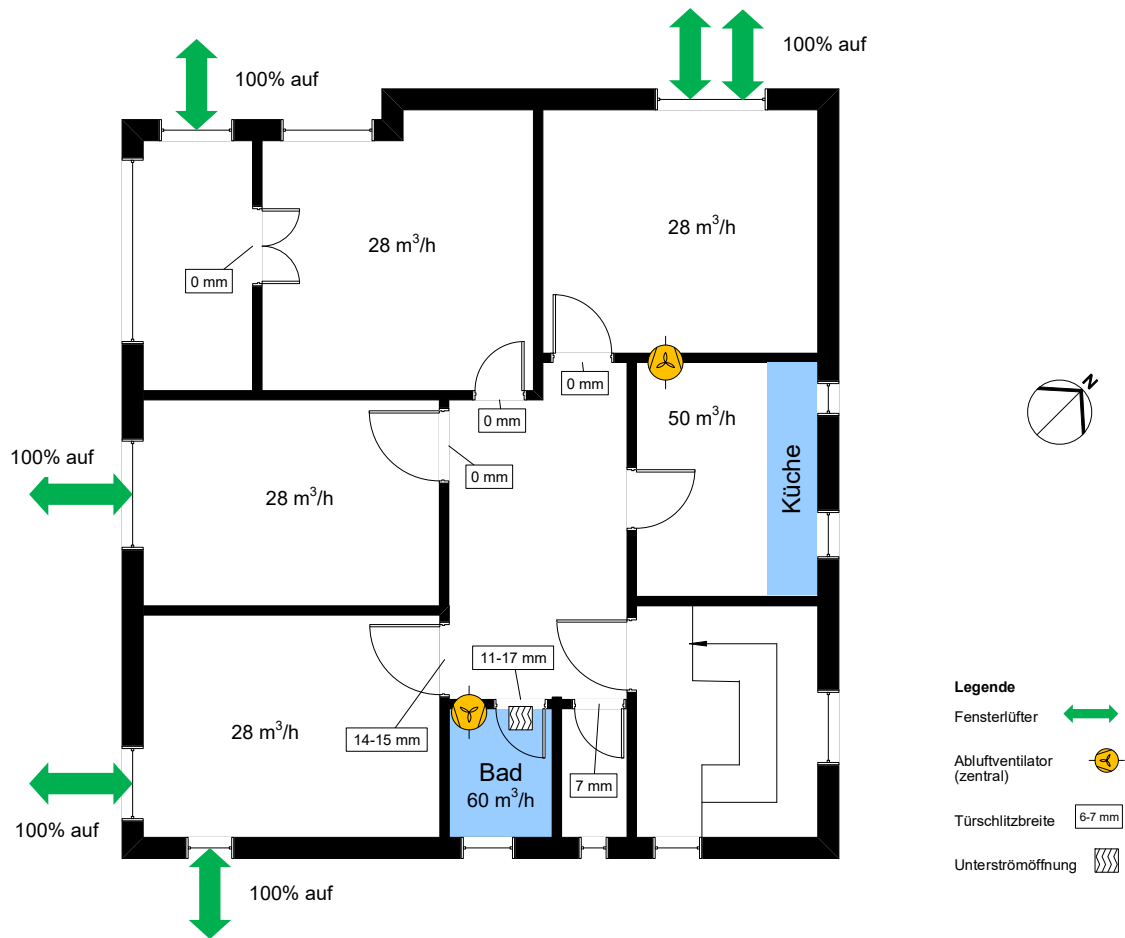


Abbildung 65: Lüftungssystem Wohnung 1. OG



13.1.6 GS



Fensterlüfter / Aussenluftdurchlass- element	Fensterfalzlüfter
Einbauort	Im Rahmen, umlaufend
Produkt	Ego Kiefer Secco ohne Filter
Verstellbar	nein
Filter	nein
Unterströmöffnungen	teilweise Türspalte
Zentrale / Dezentrale	Dezentrale
Abluft	Ventilatoren, 4 Stränge, 2 Auslässe über Dach
Wärmerückgewinnung?	nein
Filter für Abluft	unbekannt

Abbildung 66: oben: Falzlüfter im Rahmen, unten: Schmutzablagerungen

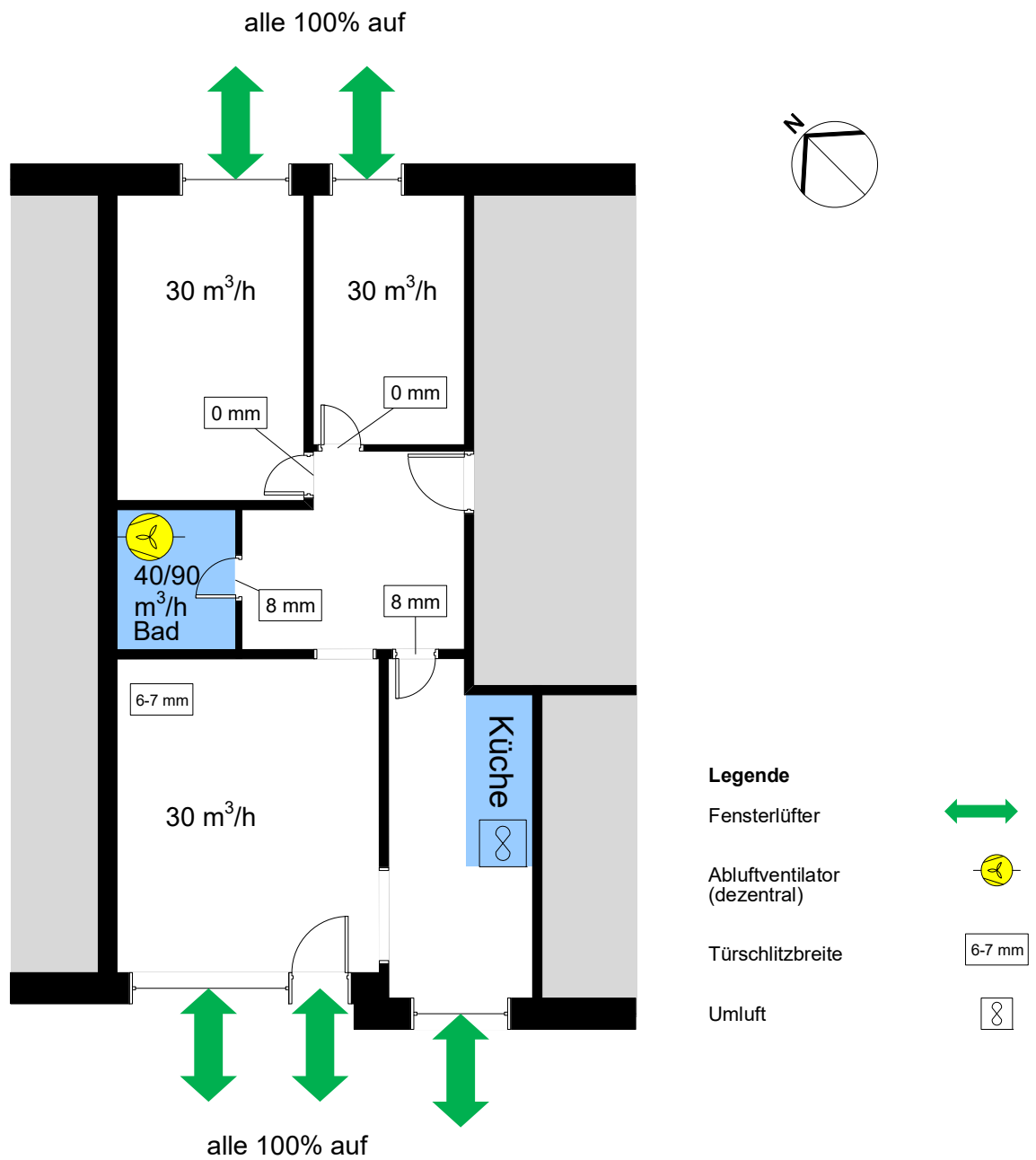
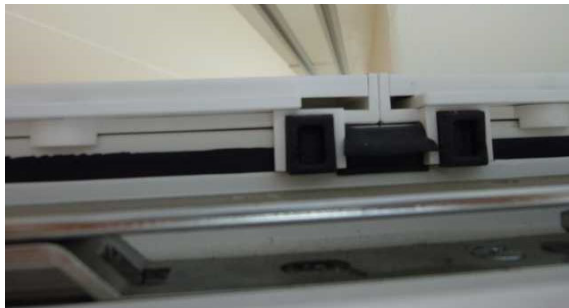


Abbildung 67: Lüftungssystem 3.5-Zimmer Wohnung, 1. OG



13.1.7 SD



Fensterlüfter / Aussenluftdurchlass- element	Falzlüfter
Einbauort	In Fensterfalz integriert
Produkt	Regelair "Forte"
Verstellbar	ja
Filter	nein
Unterströmöffnungen	keine
Zentrale / Dezentrale	Dezentral
Abluft	
Wärmerückgewinnung?	nein
Filter für Abluft	ja

Abbildung 68: oben: Falzlüfter innen (geöffnet), Mitte: Falzlüfter im Flügelrahmen, unten: Blendrahmen mit unterbrochenen Dichtungen

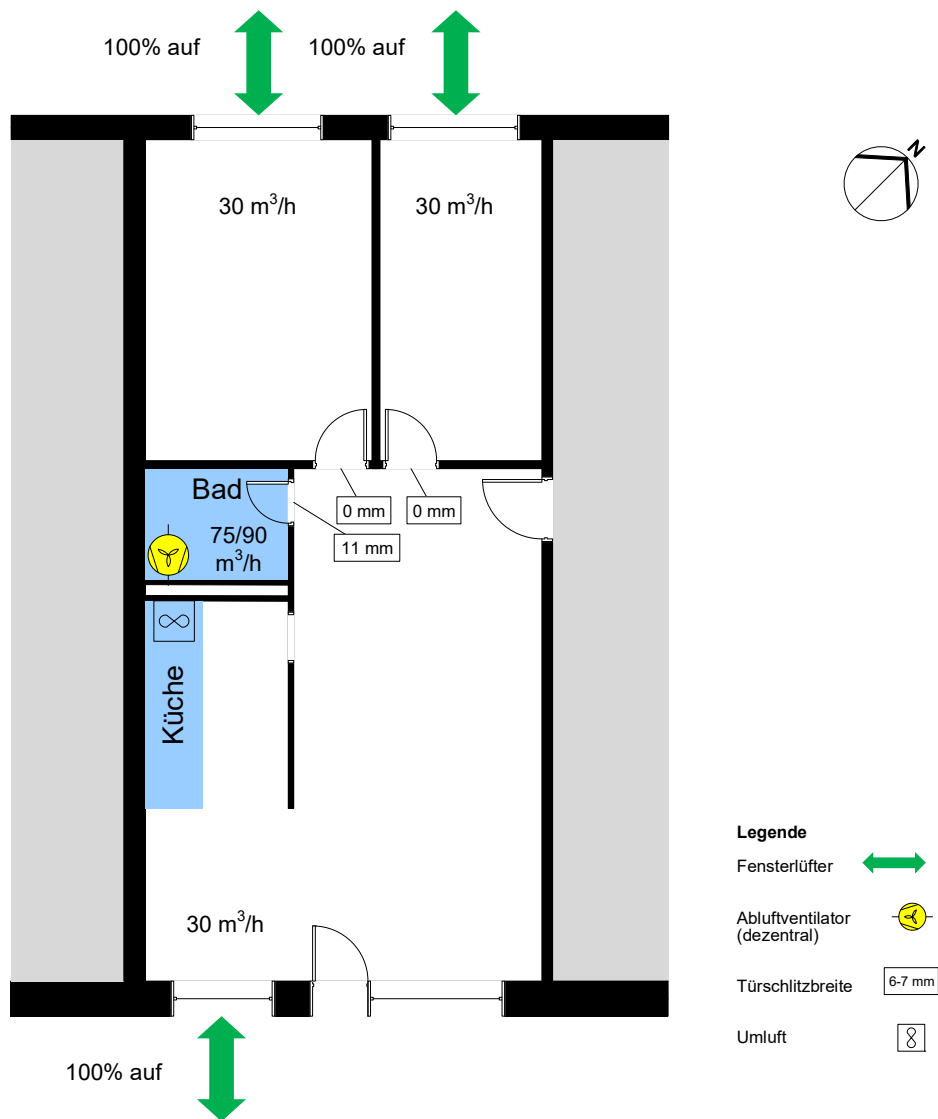


Abbildung 69: Lüftungssystem Wohnung EG



13.1.8 ZH_5



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

Produkt

Verstellbar

Filter

Unterströmöffnungen

**Zentrale / Dezentrale
Abluft**

Wärmerückgewinnung?

Filter für Abluft

Aufsatzelement

über Blendrahmen, in
wenigen Fällen
seitlich des
Fensterstocks

Siegenia Aeromat VT,
Typ DF2

nein

Ja, F7

Ja, Türspalte und in
Sonderfällen

Überströmöffnung
(Zehnder Comfoduct)

Zentral, aber mehrere
Anlagen für Siedlung

ja

Ja, F6

Abbildung 70: Aufsatzelement über Fenster

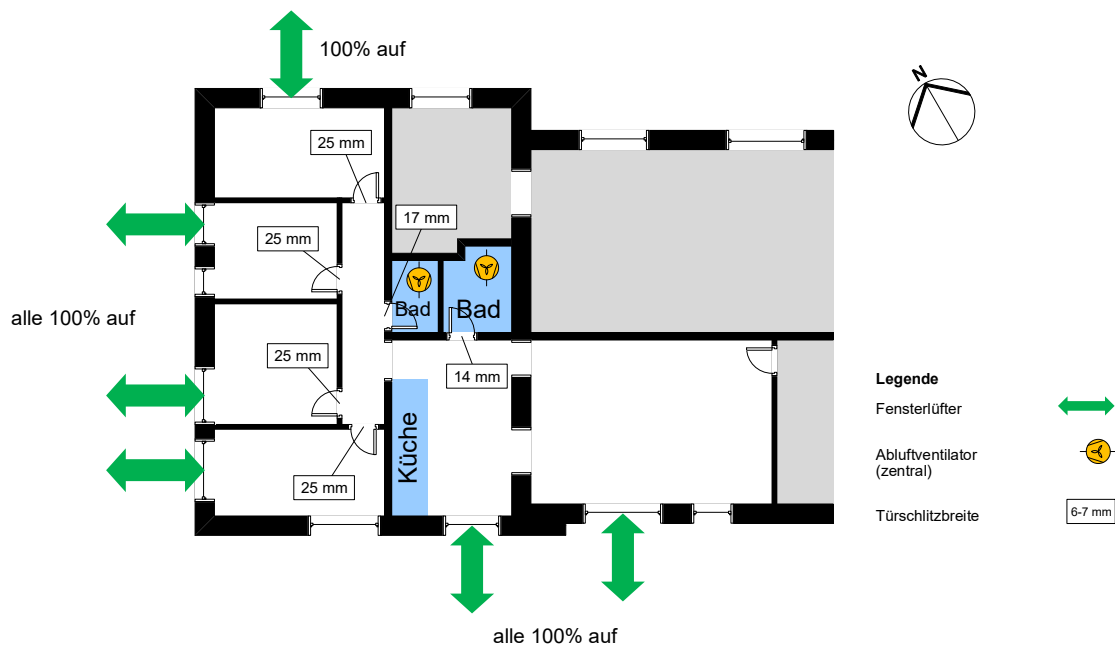


Abbildung 71: Lüftungssystem Familienwohnung 4. OG (im sanierten Altbau teil)



13.1.9 BB



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

**Produkt
Verstellbar
Filter
Unterströmöffnungen**

**Zentrale / Dezentrale
Abluft
Wärmerückgewinnung?
Filter für Abluft**

Fensterlüfter

Aufsatzelement
integriert in
Blendrahmen
Aerex AL-dB-450-40
Ja
Ja, G2
Türspalte und
Überströmöffnungen
Dezentral in der Whg.
Abluftelemente
nein
ja

Abbildung 72: oben: Fensterlüfter innen, unten: verschmutzter Fensterlüfter (Filter nicht gereinigt)

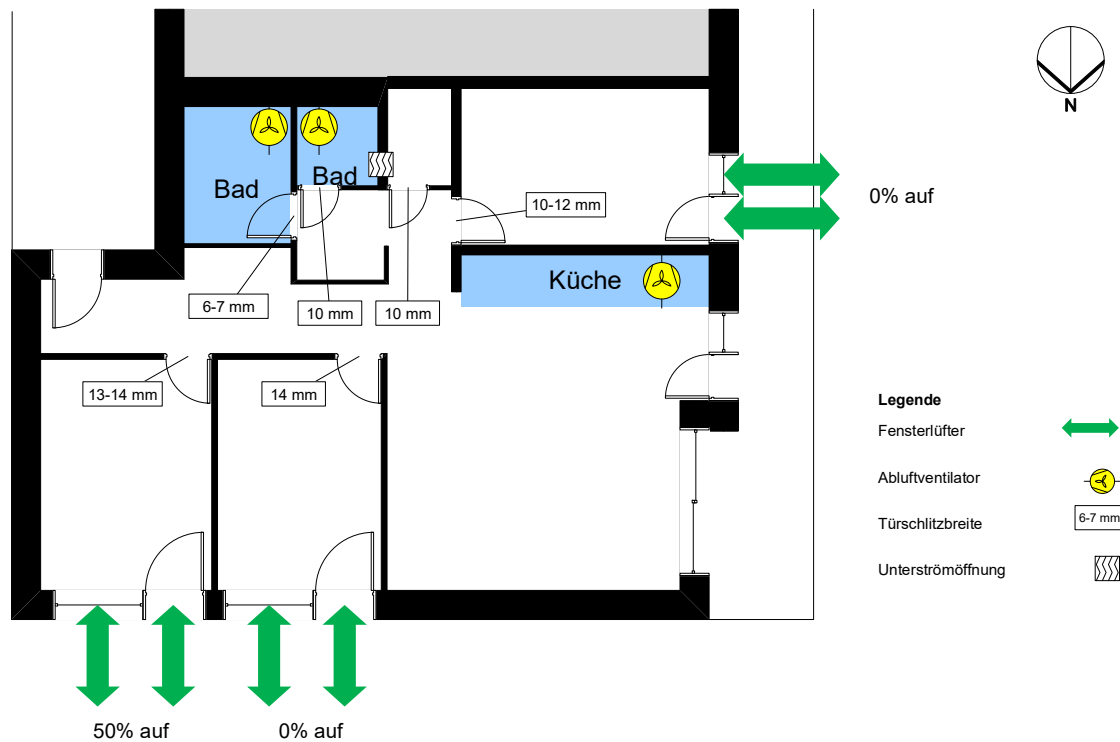


Abbildung 73: Lüftungssystem 4.5-Zimmer Wohnung (Nr. 121), OG



13.1.10 DT_1



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

**Produkt
Verstellbar
Filter
Unterströmöffnungen**

**Zentrale / Dezentrale
Abluft
Wärmerückgewinnung?
Filter für Abluft**

Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlasselement

Aufsatzelement integriert in
Blendrahmen (FeLü) /
Wand, oberes Drittel (ALD)

Aerex AL_db_450

nein

ja

Spalt unterhalb Tür, z. T.
Unterströmelemente

zentral

ja

ja

Abbildung 74: oben: Fensterlüfter innen, unten: verschmutzter Fensterlüfter (Filter nicht gereinigt)

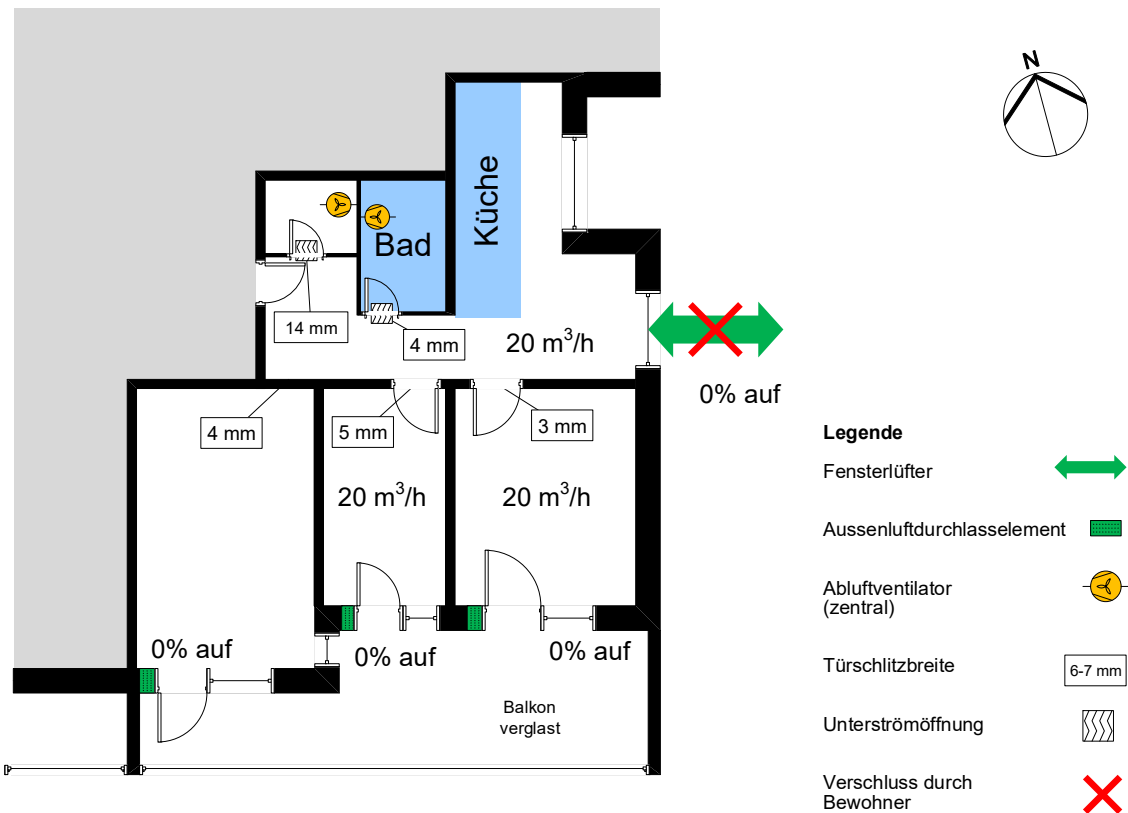


Abbildung 75: Lüftungssystem Wohnung 12. OG



13.1.11 DT_2



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

**Produkt
Verstellbar
Filter
Unterströmöffnungen
Zentrale / Dezentrale
Abluft
Wärmerückgewinnung?
Filter für Abluft**

Fensterlüfter

Aufsatzelement
integriert in
Blendrahmen
Aerex AL_db_450
nein
ja
Spalt unterhalb Tür
zentral

nein
ja

Abbildung 76: oben: Fensterlüfter innen (identisch mit DT_1)

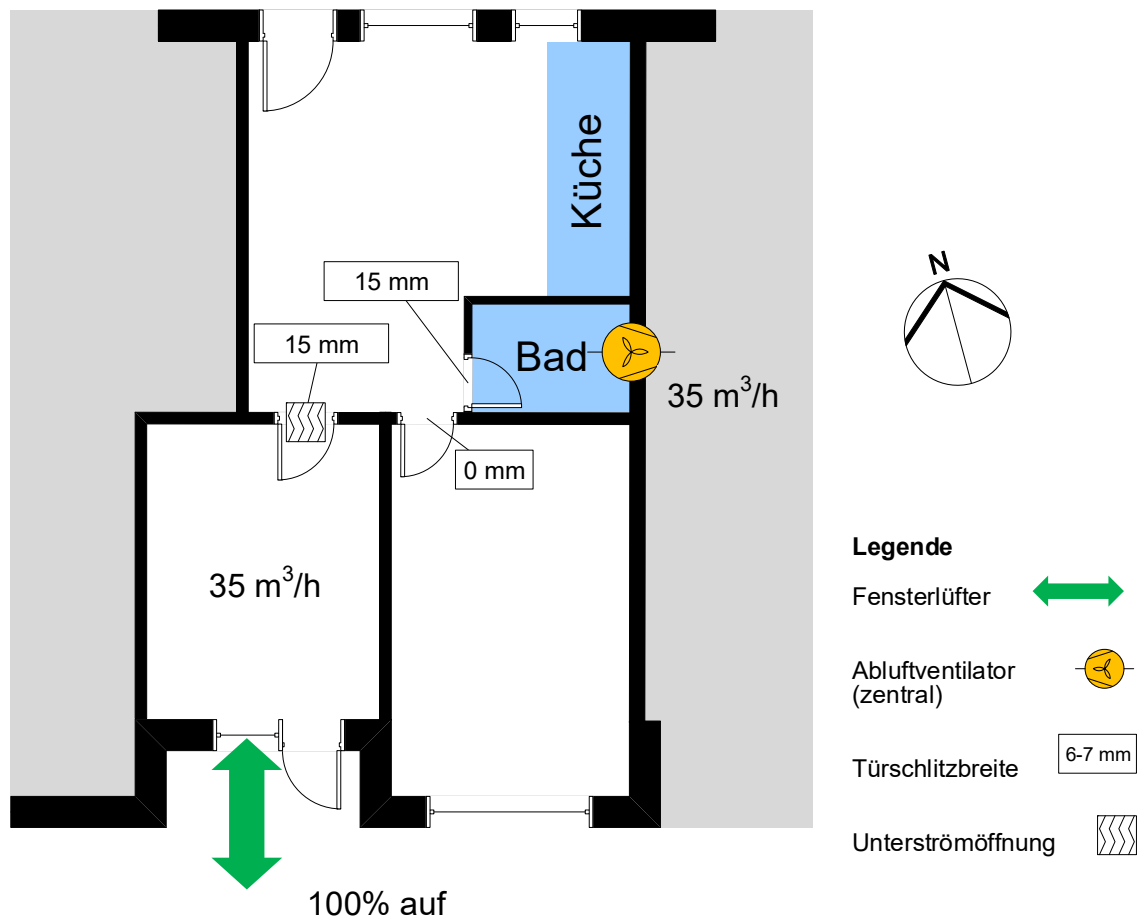


Abbildung 77: Lüftungssystem Wohnung 1. OG



13.1.12 DT_3



**Fensterlüfter /
Aussenluftdurchlass-
element
Einbauort**

**Produkt
Verstellbar
Filter
Unterströmöffnungen
Zentrale / Dezentrale
Abluft
Wärmerückgewinnung?
Filter für Abluft**

Fensterlüfter

Aufsatzelement
integriert in
Blendrahmen
Aerex AL_db_450
nein
ja
Spalt unterhalb Tür
zentral

ja
ja

Abbildung 78: oben: Fensterlüfter innen, unten: abgeklebter Fensterlüfter (10.OG)

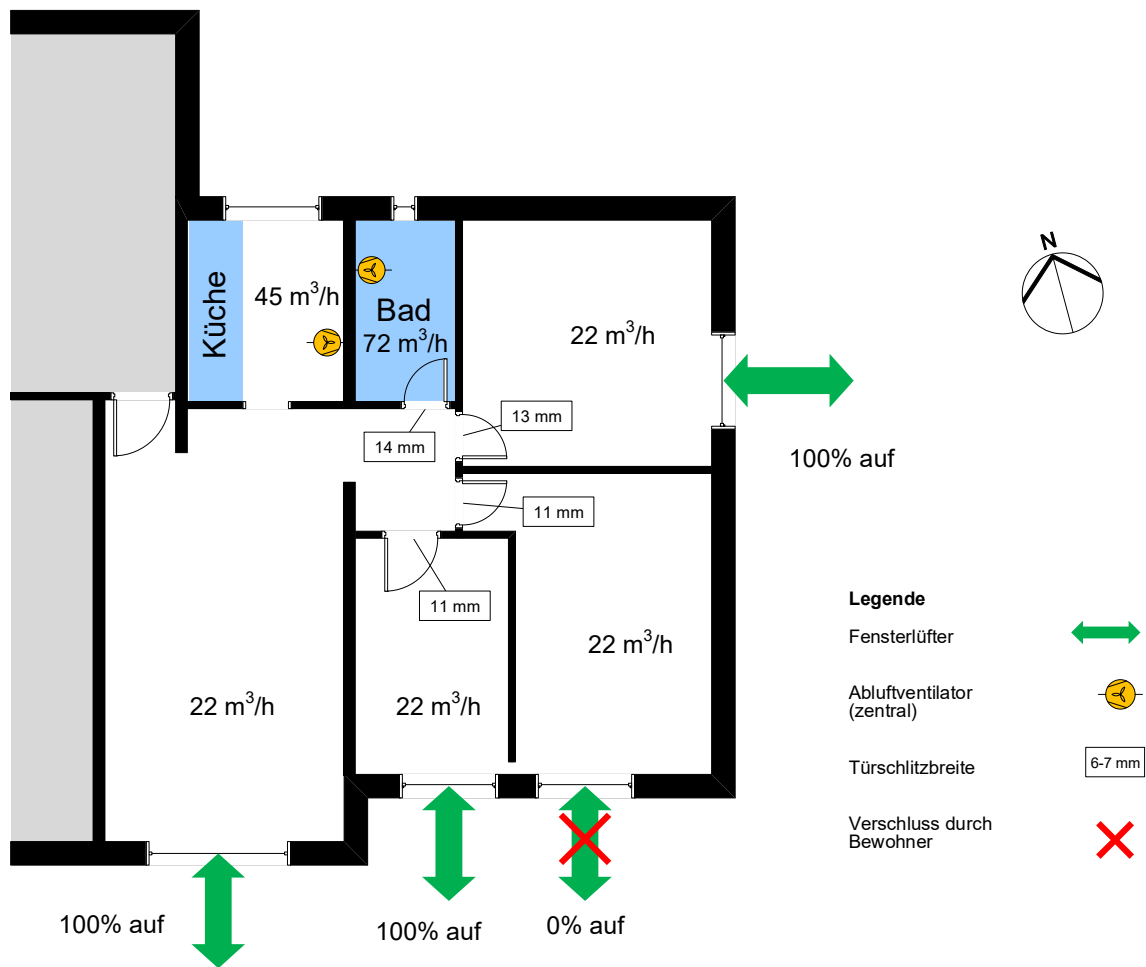


Abbildung 79: Lüftungssystem Wohnung 10. OG



13.1.13 HO



Fensterlüfter / Aussenluftdurchlass- element	Aussenluftdurchlasselemen t
Einbauort	Oberhalb Küchenschrank
Produkt	Helios ZLA 100
Verstellbar	Ja, über Drehung Abdeckung
Filter	Ja, G3
Unterströmöffnungen	z. T. Türspalte
Zentrale / Dezentrale	Zentral, in der Whg.
Abluft	Abluftelemente
Wärmerückgewinnung	nein
?	
Filter für Abluft	Abluftelement: nein, zentraler Ventilator: unbekannt

Abbildung 80: oben: ALD oberhalb Küchenschrank, unten: ALD ohne Abdeckung

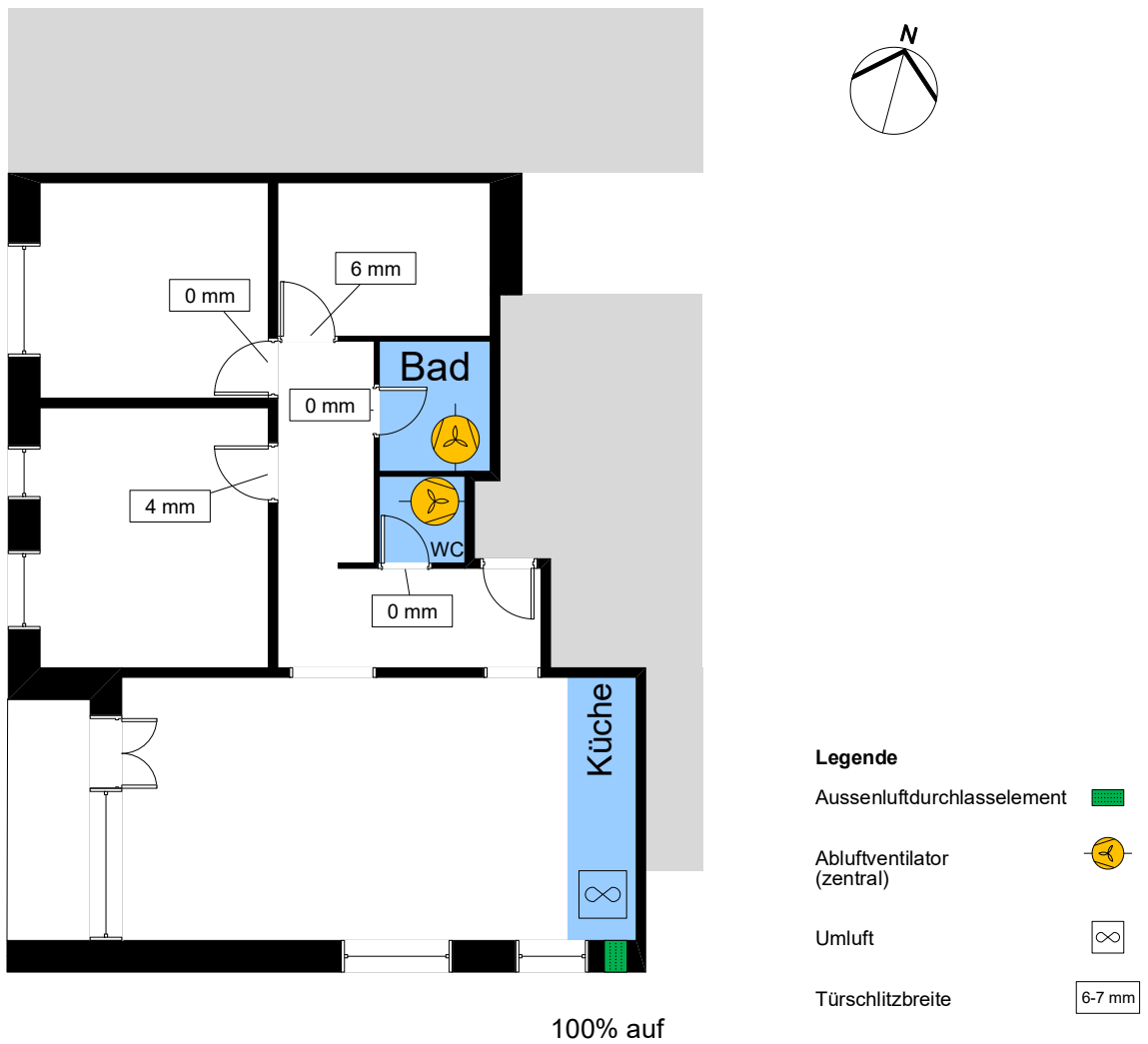


Abbildung 81: Lüftungssystem 4.5-Zimmer Wohnung, 1. OG



13.2 Dokumentation Messungen

13.2.1 Eingesetzte Messgeräte

Kürzel Gebäude	Messgerät	Messgrösse	Aufstellungsort	Messunsicherheit (Herstellerangaben)
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger 1.16HP237	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($+5^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$) Feuchte: $\pm 2\%$ rel. Feuchte ($10 \dots 85\%$, $0 \dots +40^{\circ}\text{C}$)
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger 1.16HP238	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C} \dots +58^{\circ}\text{C}$) Feuchte: $\pm 2\%$ rel. Feuchte ($10 \dots 85\%$, $0 \dots +40^{\circ}\text{C}$)
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : $50\text{ppm} + 3\%$ vom Messwert
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger 1.16HP245	Temperatur, Feuchte und CO_2	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : $50\text{ppm} + 3\%$ vom Messwert
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger 1.16HP246	Temperatur, Feuchte und CO_2	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : $50\text{ppm} + 3\%$ vom Messwert
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Schlafzimmer	Keine Angaben
ZH_3:a (Sch)	Datenlogger Votcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger 1.16HP247	Temperatur, Feuchte und CO_2	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : $50\text{ppm} + 3\%$ vom Messwert
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger 1.16HP243	Temperatur, Feuchte und CO_2	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : $50\text{ppm} + 3\%$ vom Messwert
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger DK660-6587	Temperatur, Feuchte und CO_2	Kinderzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K



				Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger 1.16HP214	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.1°C (+5°C...+45°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger 1.16HP215	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Büro	Keine Angaben
ZH_3:b (Bü)	Datenlogger Votcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
ZH_5:a (Br)	Datenlogger 1.16HP244	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:a (Br)	Datenlogger 1.16HP242	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:a (Br)	Datenlogger 1.16HP231	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_5:a (Br)	Datenlogger 1.16HP229	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_5:a (Br)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:a (Br)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Wohnen	Keine Angaben:



ZH_5:a (Br)	Datenlogger Voltcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Geschwindigkeit:
ZH_5:b (I)	Datenlogger DK660-6587	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Kinderzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:b (I)	Datenlogger 1.16HP197	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:b (I)	Datenlogger 1.16HP202	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:b (I)	Datenlogger 1.16HP233	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_5:b (I)	Datenlogger 1.16HP234	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
ZH_5:b (I)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
ZH_5:b (I)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Büro	Keine Angaben
ZH_5:b (I)	Datenlogger Voltcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
BB:b (R)	Datenlogger DK660- 66041	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Kinderzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:b (R)	Datenlogger 1.16HP198	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C



				CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:b (R)	Datenlogger 1.16HP199	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:b (R)	Datenlogger 1.16HP236	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
BB:b (R)	Datenlogger 1.16HP212	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
BB:b (R)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:b (R)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Atelier	Keine Angaben
BB:b (R)	Datenlogger Votcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
BB:a (SH)	Datenlogger DK660- 66042	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Büro	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:a (SH)	Datenlogger 1.16HP203	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:a (SH)	Datenlogger 1.16HP204	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
BB:a (SH)	Datenlogger 1.16HP232	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
BB:a (SH)	Datenlogger 1.16HP230	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)



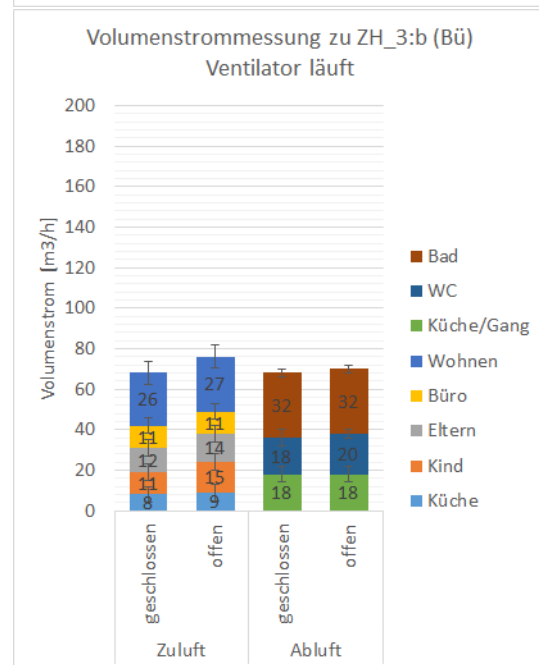
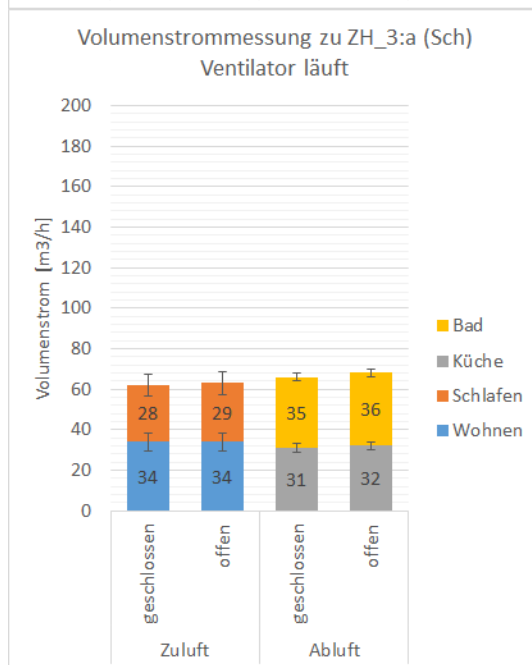
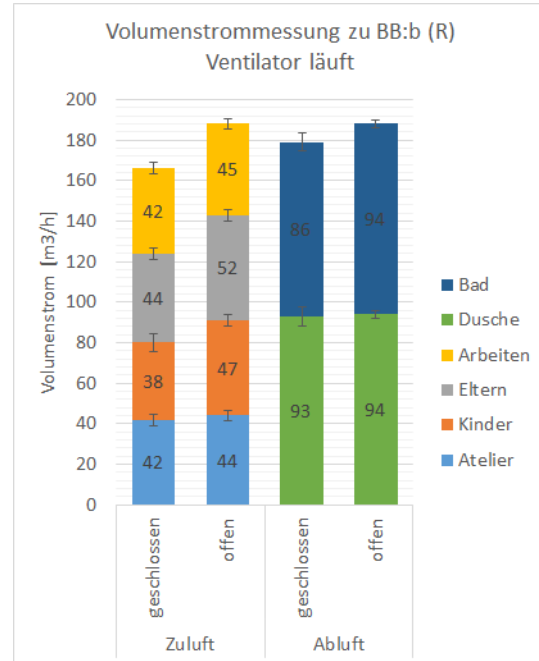
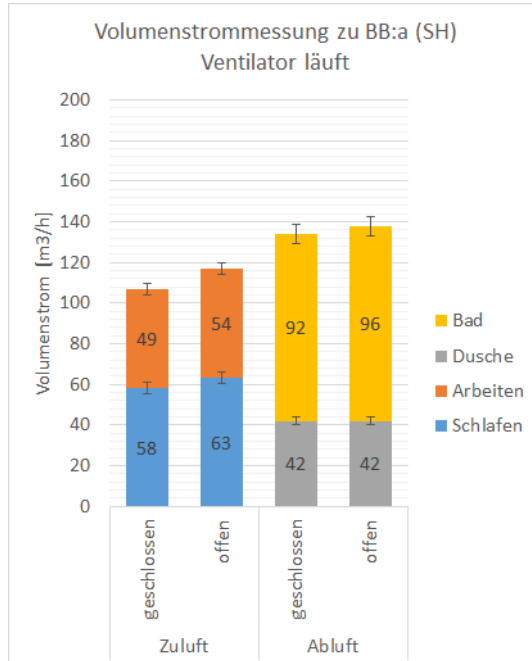
BB:a (SH)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C} \dots +58^{\circ}\text{C}$) Feuchte: $\pm 2\%$ rel. Feuchte ($10 \dots 85\%$, $0 \dots +40^{\circ}\text{C}$)
BB:a (SH)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Büro	Keine Angaben
BB:a (SH)	Datenlogger Voltcraft DL- 151 AN	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
DT_3:a (P)	Datenlogger DK660- 65878	Temperatur, Feuchte und CO_2	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:a (P)	Datenlogger 1.16HP194	Temperatur, Feuchte und CO_2	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:a (P)	Datenlogger 1.16HP201	Temperatur, Feuchte und CO_2	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:a (P)	Datenlogger 1.16HP207	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C} \dots +58^{\circ}\text{C}$) Feuchte: $\pm 2\%$ rel. Feuchte ($10 \dots 85\%$, $0 \dots +40^{\circ}\text{C}$)
DT_3:a (P)	Datenlogger 1.16HP235	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C} \dots +58^{\circ}\text{C}$) Feuchte: $\pm 2\%$ rel. Feuchte ($10 \dots 85\%$, $0 \dots +40^{\circ}\text{C}$)
DT_3:a (P)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Schlafen	Keine Angaben
DT_3:a (P)	Datenlogger EasyLog USB-3_1	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben
DT_3:b (J)	Datenlogger DK660- 65878	Temperatur, Feuchte und CO_2	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO_2 : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:b (J)	Datenlogger 1.16HP200	Temperatur, Feuchte und CO_2	Wohnzimmer	Temperatur: 0.3K ($0 \dots +40^{\circ}\text{C}$) sonst 0.5K

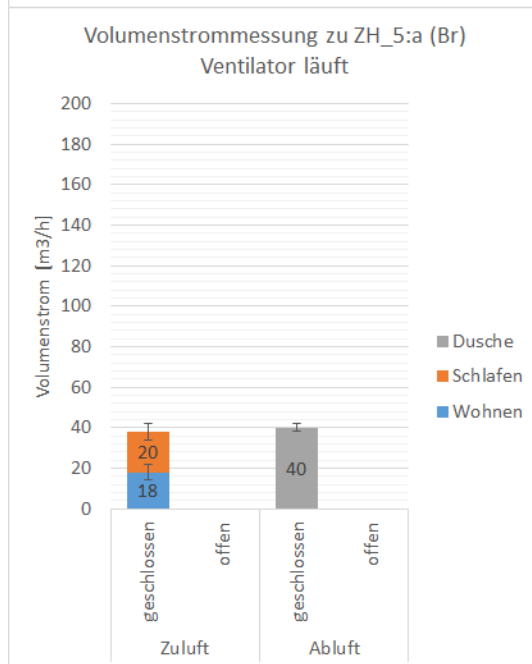
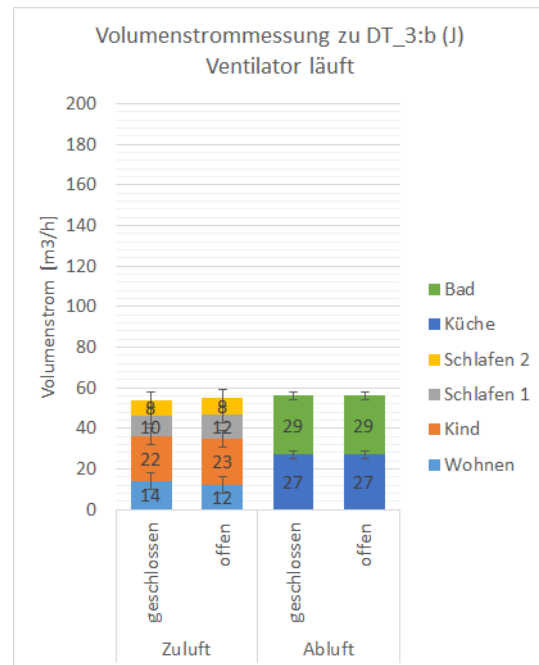
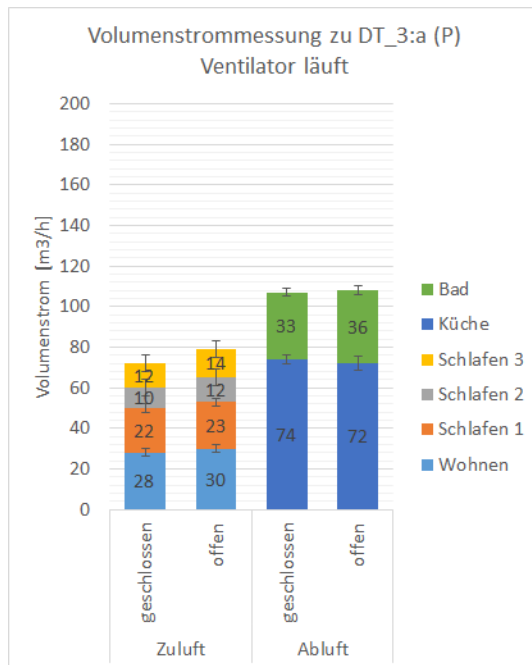


				Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C
				CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:b (J)	Datenlogger 1.16HP248	Temperatur, Feuchte und CO ₂	Schlafzimmer	Temperatur: 0.3K (0...+40°C) sonst 0.5K Feuchte: 2% rel. Feuchte bei 20°C CO ₂ : 50ppm + 3% vom Messwert
DT_3:b (J)	Datenlogger 1.16HP207	Temperatur und Feuchte	Bad	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
DT_3:b (J)	Datenlogger 1.16HP235	Temperatur und Feuchte	Aussen	Temperatur: ±0.2°C (-10°C...+58°C) Feuchte: ±2% rel. Feuchte (10...85%, 0...+40°C)
DT_3:b (J)	Datenlogger Tinytag Talk	Druck	Kinderzimmer	Keine Angaben
DT_3:b (J)	Datenlogger EasyLog USB-3_1	Volumenstrom	Ventilator	Keine Angaben



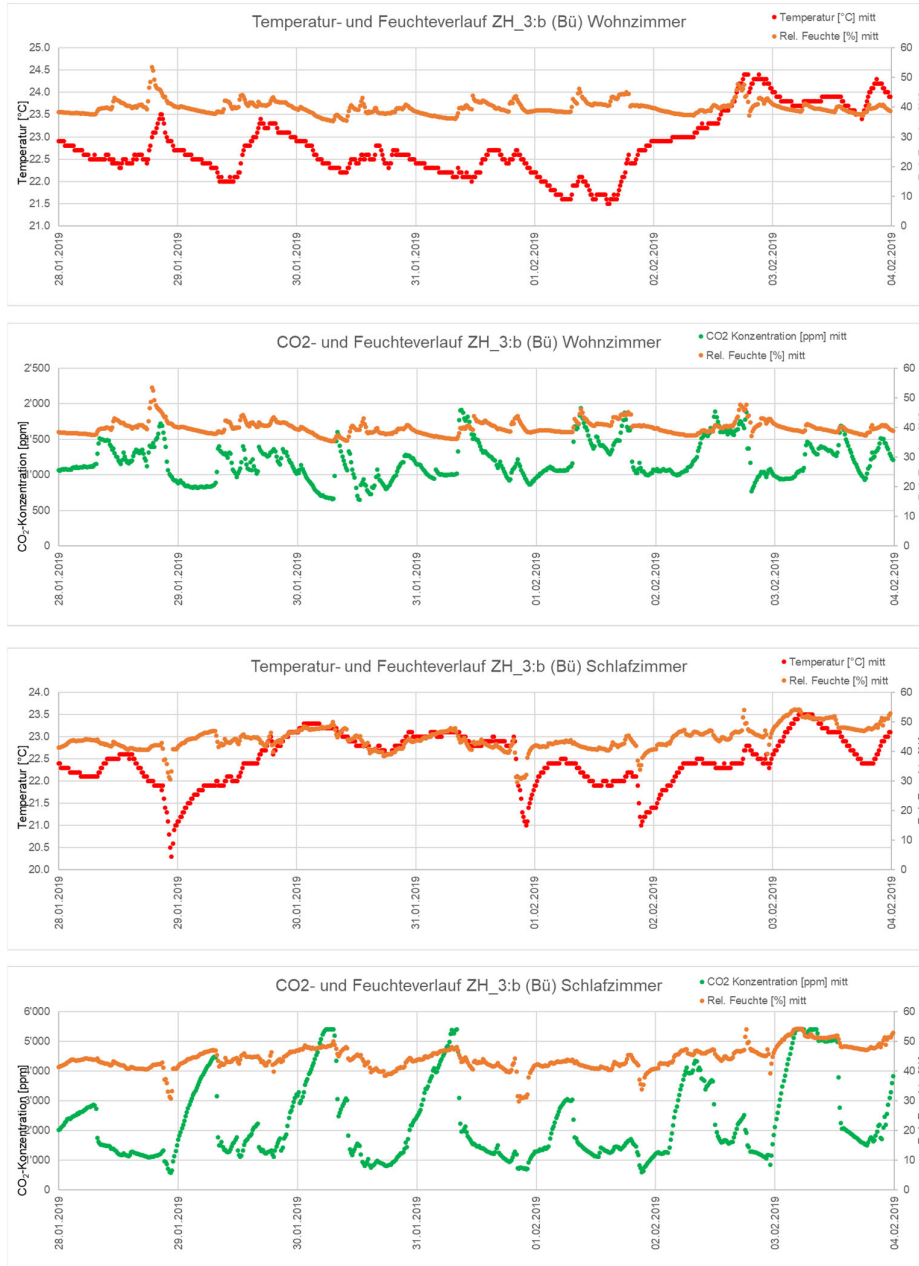
13.2.2 Volumenstrommessungen

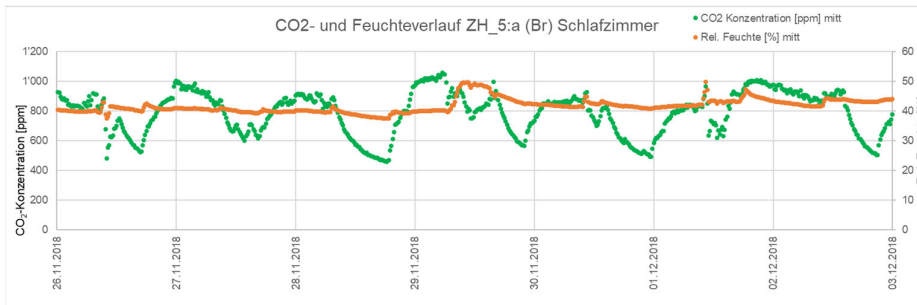
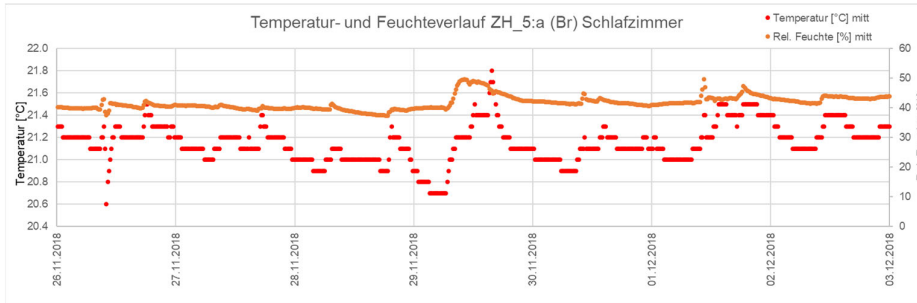
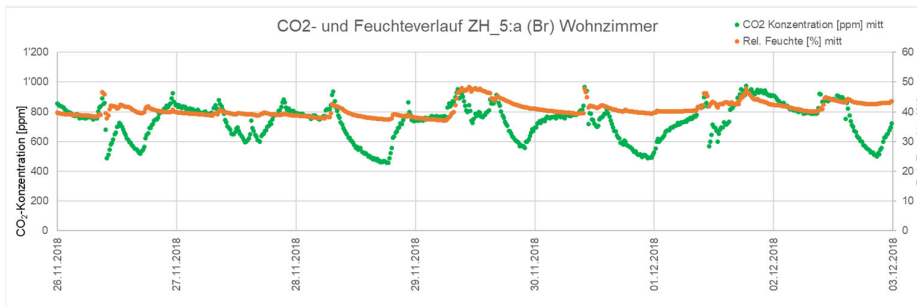
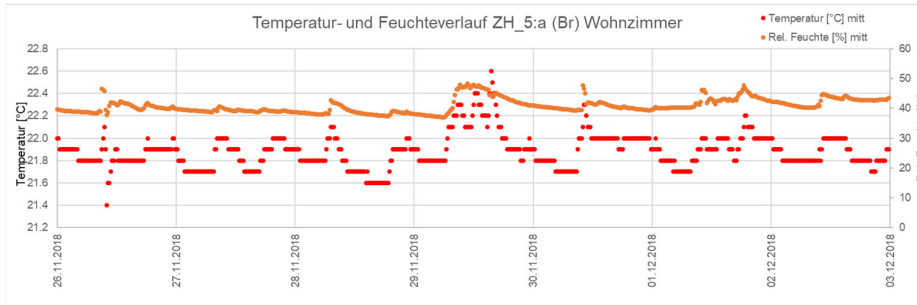


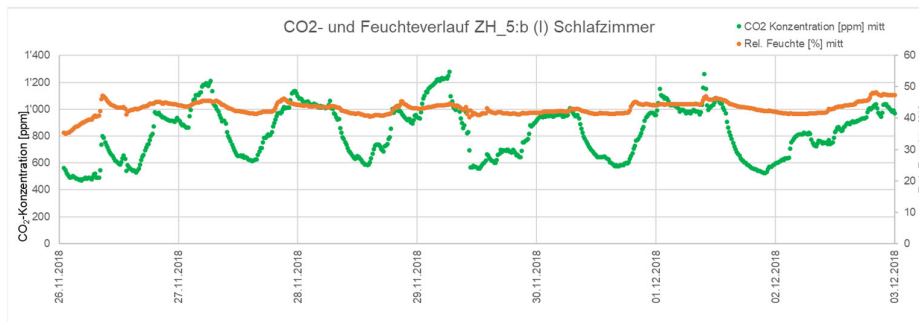
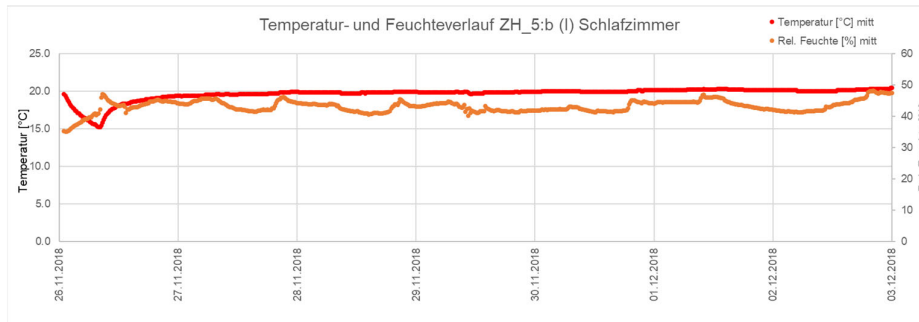
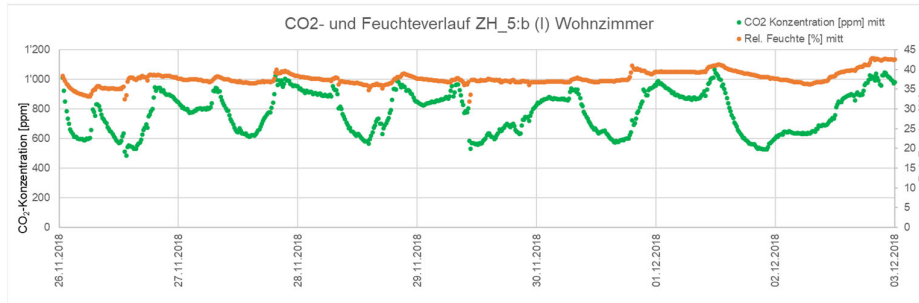
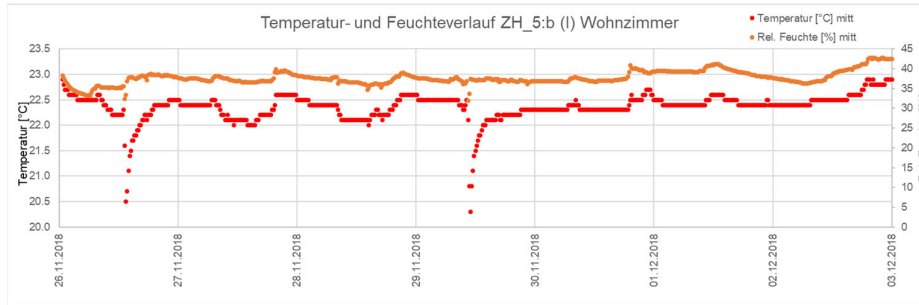


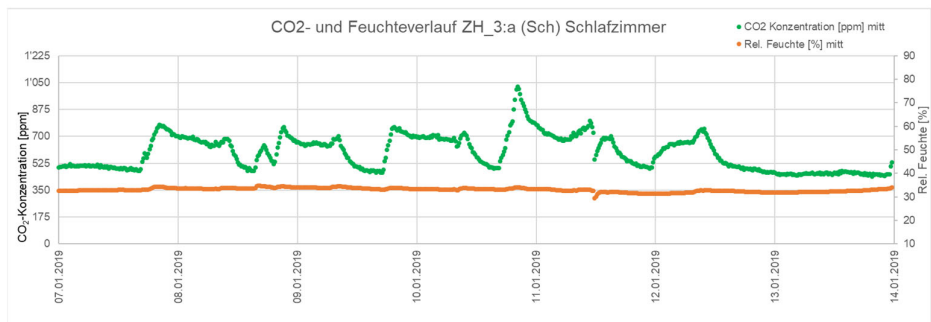
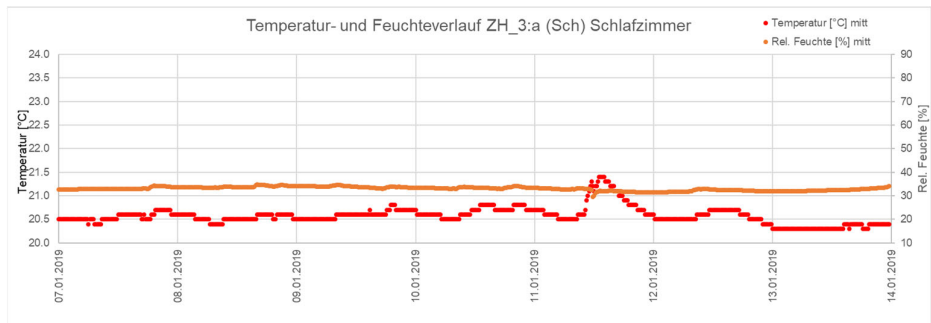
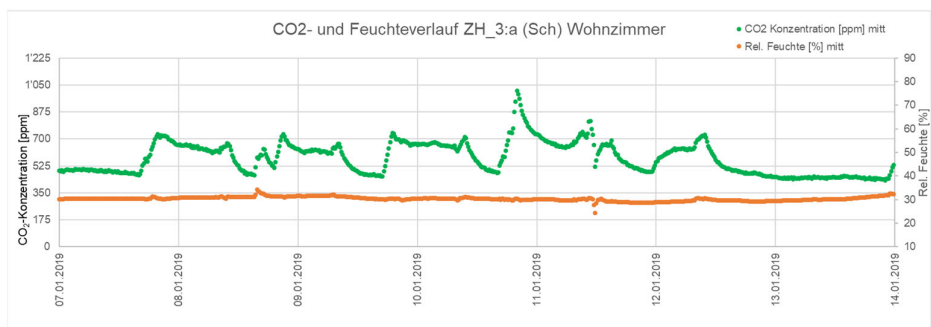
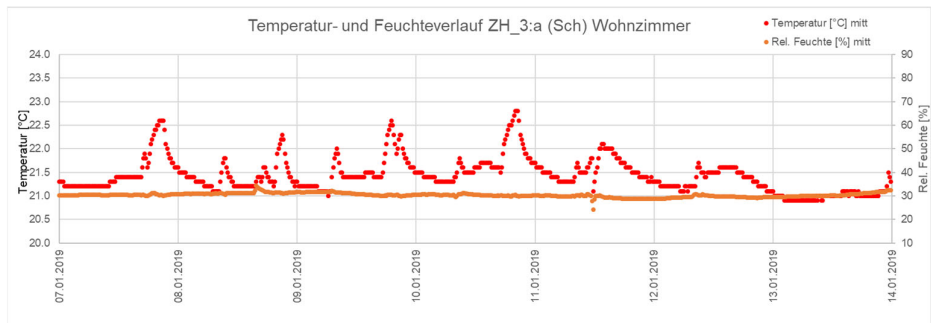


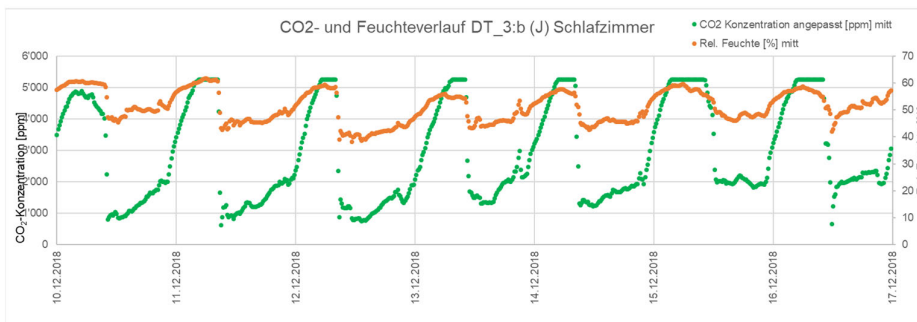
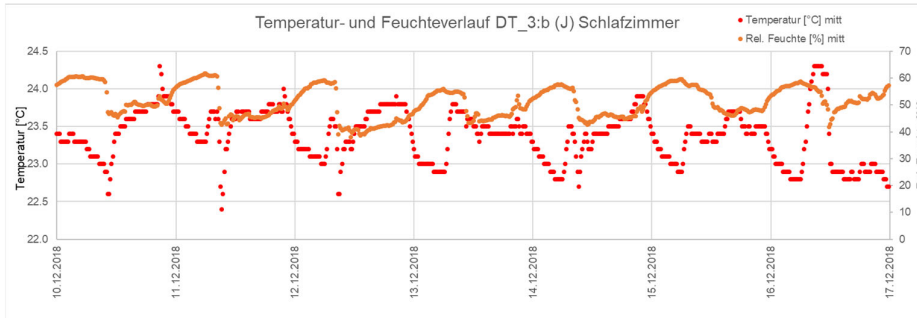
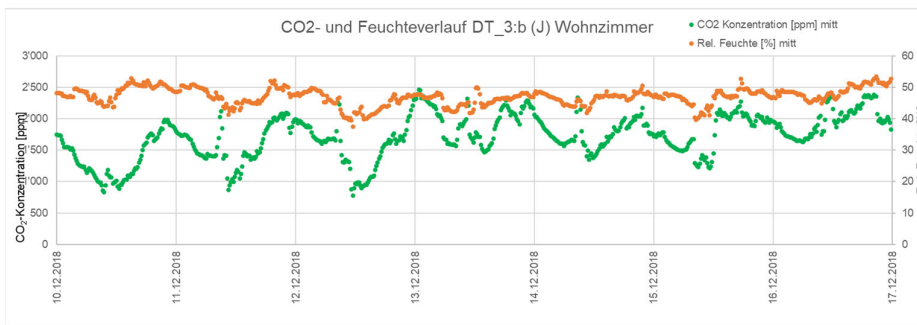
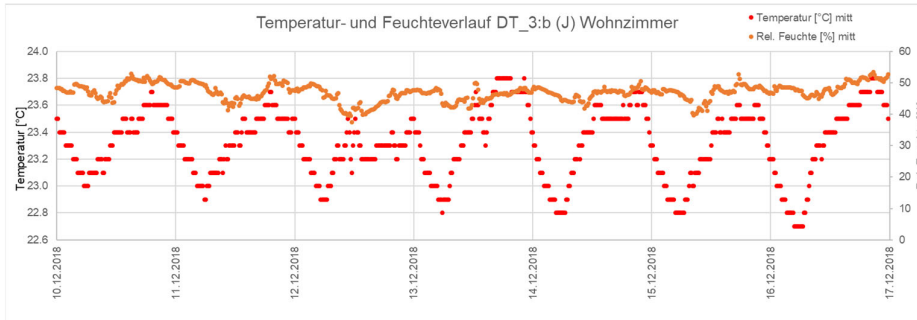
13.2.3 CO₂, Temperatur und relative Feuchte

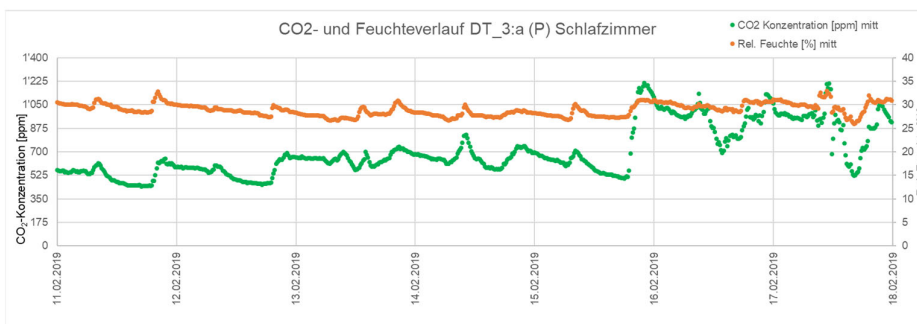
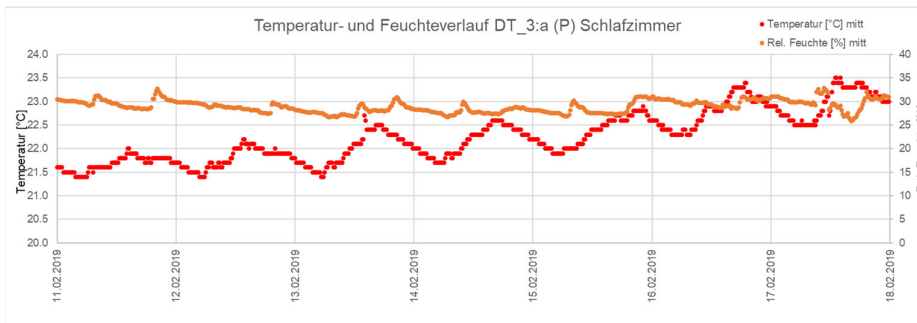
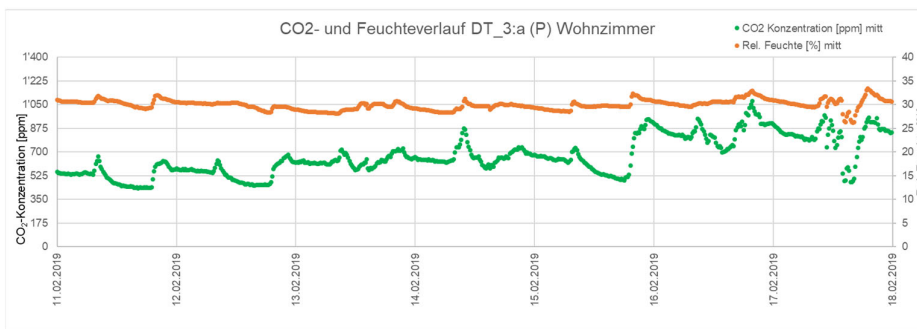
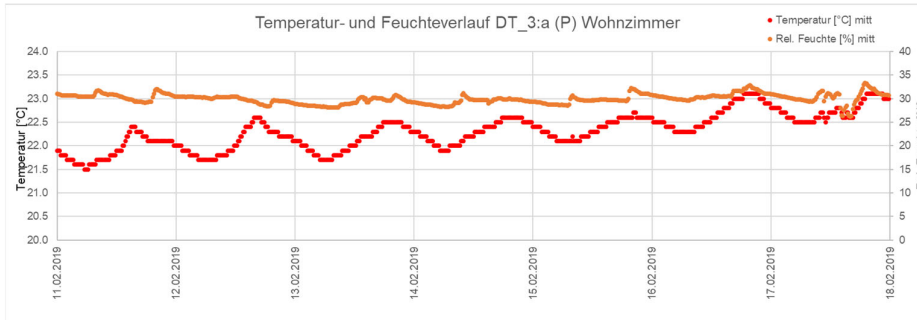


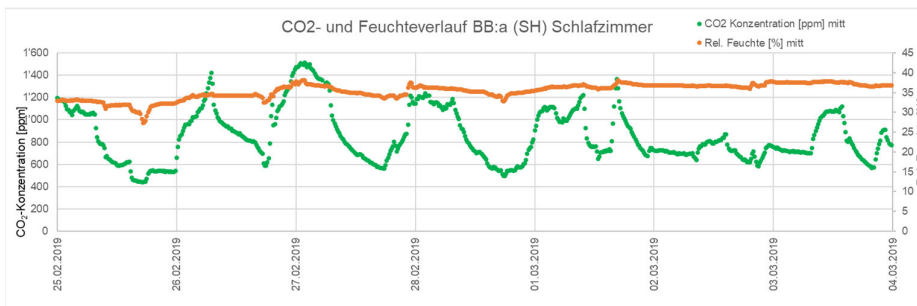
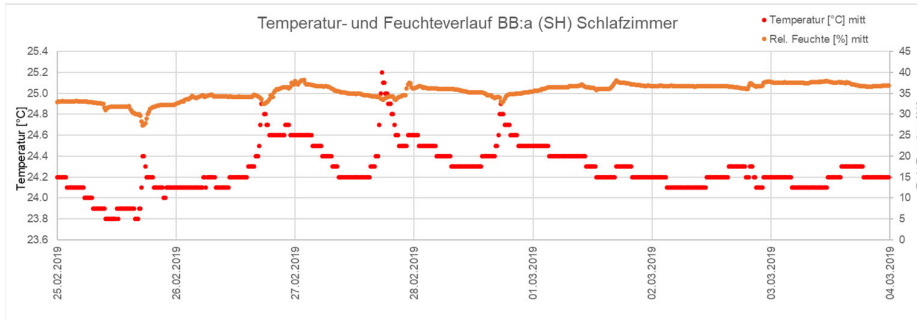
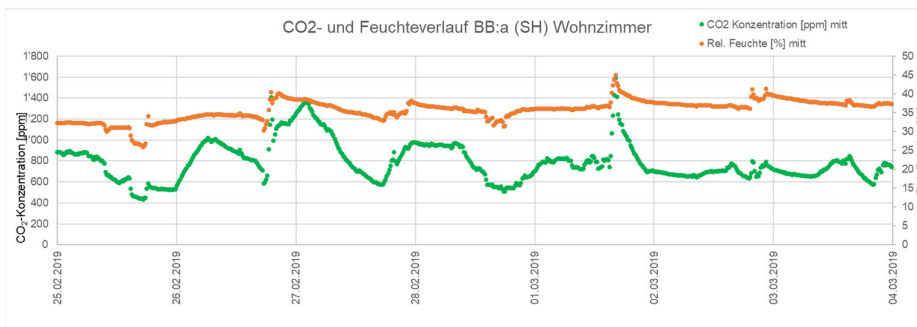
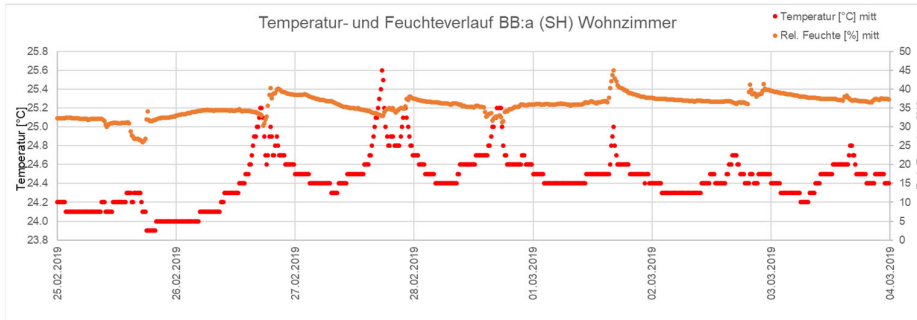


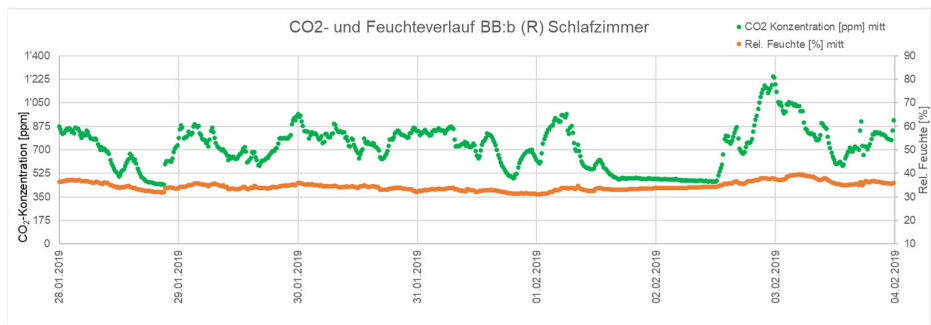
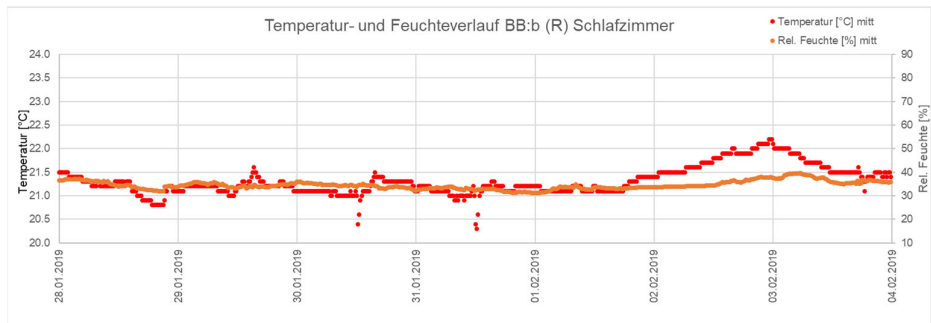
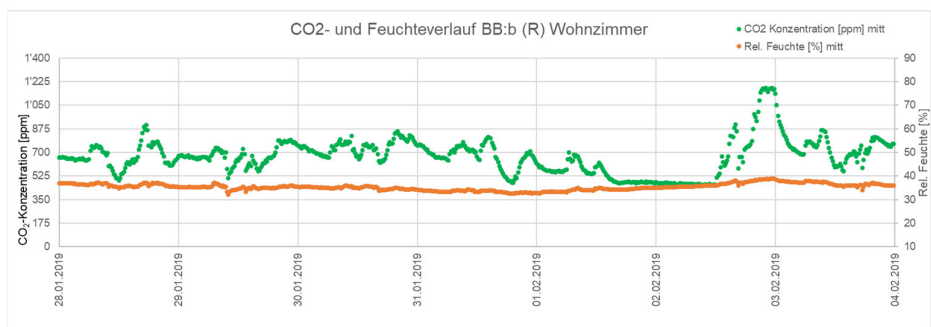
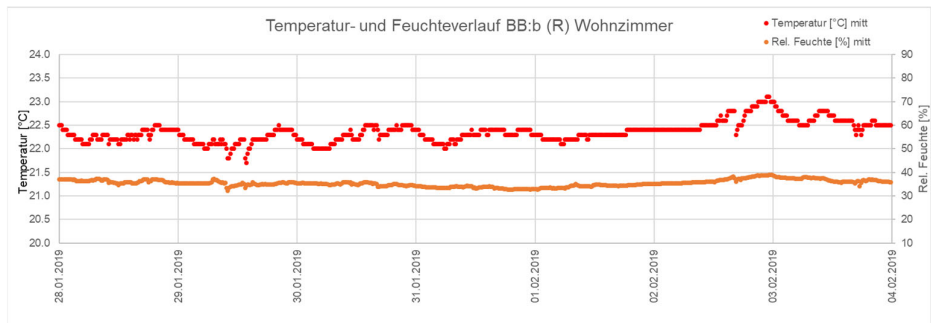














13.3 Nutzerbefragung



Muttenz, XX.XX.2018

BewohnerInnenbefragung - Fensterlüfter in Wohngebäuden

Liebe Bewohner/-innen der Liegenschaft x

Sie wohnen in einem Gebäude, das über Fensterlüfter und eine Abluftanlage verfügt. Bei diesem Lüftungstyp tritt die Aussenluft über einen sogenannten Fensterlüfter in der Nähe der Fenster in die Wohnung ein.



Fensterlüfter



Fensterlüfter



Fensterlüfter



Aussenluftdurchlasselement*

*Ein ähnliches
Produkt ist in
ihrer Wohnung
eingebaut*

Diese Art von Lüftungsanlagen untersuchen wir in einem Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, wie sich eingebaute Fensterlüfter in der Praxis bewähren. Neben Messungen interessieren uns auch Ihre praktischen Erfahrungen mit den Fensterlüftern und Ihre Meinung dazu. Daher wenden wir uns in Absprache mit der Hausverwaltung mit dieser Befragung an Sie.

Sie können uns helfen, künftige Lüftungskonzepte noch besser an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen!

Die Beantwortung der Fragen dauert maximal 10 Minuten. Bitte retournieren Sie den ausgefüllten Fragebogen anschliessen mit beiliegendem Antwortcouvert bis am XX.XX.2018 an uns.

Falls gewünscht können Sie die Befragung auch online ausfüllen. Bitte rufen Sie den folgenden Link auf: xxx

Ihre Angaben werden anonym erhoben, d. h. Sie müssen Ihren Namen nicht angeben und es werden keine Daten an die Verwaltung oder den Besitzer des Gebäudes weitergegeben. Falls Sie aber Angaben zu Ihrer Person machen möchten, so können Sie dies am Ende der Umfrage gerne tun.

Herzlichen Dank schon jetzt für Ihr Engagement!

Caroline Hoffmann
Projektleiterin

Für Rückfragen zur Befragung stehe ich gerne zur Verfügung: Caroline.hoffmann@fnnw.ch

* = Falls Aussenluftdurchlasselemente eingebaut sind, bitte die Befragung sinngemäss beantworten

**Fragebogen - Fensterlüfter in Wohngebäuden**

1. Welches der folgenden Smileys beschreibt Ihr generelles Wohlbefinden im Moment am besten (einschließlich Gesundheit, Zufriedenheit etc.)?

☺ ☐ ☐ ☹ ☐ ☐ ☹ ☐

2. Wie oft öffnen Sie die Fenster zum Lüften im Winter?

nie ☐ 1 - 2 mal pro Tag ☐ 3 - 4 mal pro Tag ☐ 5 - 6 mal pro Tag ☐ > 6 mal pro Tag ☐

3. Wie lange öffnen Sie die Fenster zum Lüften im Winter?

1 - 5 Minuten ☐ 6 - 10 Minuten ☐ 10 - 20 Minuten ☐ 20 - 60 Minuten ☐ > 1 Stunde ☐

4. Kommt es im Winter tagsüber vor, dass in Räumen die Fenster länger als 30 Minuten geöffnet sind (z.B. auf Kippstellung)?

nie ☐ ☐ manchmal ☐ ☐ immer ☐

5. Gibt es im Winter nachts Räume, in denen das Fenster immer offen (z. B. Kippstellung) ist?

Schlafzimmer ☐ Wohnzimmer ☐ Kinderzimmer ☐ Bad/WC ☐ Küche ☐

6. Spüren Sie im Winter in der Nähe der Fensterlüfter Zugluft?

nie ☐ ☐ manchmal ☐ ☐ immer ☐

7. Wie sind die Fensterlüfter eingestellt?

von uns nicht verändert ☐ manuell voll geöffnet ☐ Zwischenstellung ☐ manuell geschlossen ☐ abgeklebt ☐

8. Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität in Ihrer Wohnung (Frische, Düfte, etc.)

unzufrieden ☐ ☐ mittelmässig ☐ ☐ zufrieden ☐

9. Wie empfinden Sie die Luftfeuchtigkeit in Ihrer Wohnung im Winter?

zu feucht ☐ ☐ angenehm ☐ ☐ zu trocken ☐

10. Wie empfinden Sie die Temperatur in Ihrer Wohnung im Winter?

zu kalt ☐ ☐ angenehm ☐ ☐ zu warm ☐

11. Gibt es irgendwo in der Wohnung Schimmelpilz?

nein ☐ ja, im Bad ☐ ja, in der Küche ☐ ja, im Schlafzimmer ☐ ja, in einem anderen Raum ☐



12. Wurden Sie über die Abluftanlage und die Fensterlüfter in Ihrem Gebäude informiert?

nein
☐

teilweise
☐

ja
☐

13. Wurden Sie über das Lüftungsverhalten in einem Gebäude mit einer Abluftanlage und Fensterlüftern informiert?

nein
☐

teilweise
☐

ja
☐

14. Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen als Störung wahr?

nie
☐

☐

manchmal
☐

☐

immer
☐

15. Wie oft fühlen Sie sich durch die Geräusche der Abluftanlage in Bad und WC gestört?

nie
☐

☐

manchmal
☐

☐

immer
☐

16. Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Wohnung im Allgemeinen?

unzufrieden
☐

☐

mittelmässig
☐

☐

zufrieden
☐

17. Wenn Sie die Wahl hätten, würden Sie wieder in eine Wohnung mit einer Abluftanlage und Fensterlüftern ziehen?

nein
☐

eventuell
☐

ja
☐

18. Wie lange wohnen Sie bereits in diesem Gebäude?

< 1 Jahr
☐

1 - 2 Jahre
☐

3 - 5 Jahre
☐

5 - 10 Jahre
☐

>10 Jahre
☐

19. Auf welchem Stockwerk wohnen Sie?

Stockwerk: _____

Bemerkungen/Ergänzungen:

Freiwillige, aber für uns hilfreiche Angaben (speziell b und c)

- a. Vor-/Nachname: _____
- b. Anzahl Zimmer der Wohnung: _____
- c. Anzahl Personen, die die Wohnung bewohnen: _____