



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 16.02.2026

LowTechLue: Low-tech Lüftungen in Bürogebäuden



Datum: 16.02.2026

Ort: Bern

Subventionsgeberin:
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW / Institut Nachhaltigkeit und 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, INEB, FHNW, Caroline.Hoffmann@fhnw.ch
Claudia Hauri, IGE, HSLU, claudia.hauri@hslu.ch
Alex Primas, HSLU, alex.primas@hslu.ch
Damian Galli, HSLU, damian.galli@hslu.ch

BFE-Projektbegleitung:
Martin Ménard, menard@lowtechlab.ch
Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502516-01

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



Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt geht es um einfache Lüftungskonzepte und Lüftungsanlagen in Bürogebäuden. Ziel ist es herauszufinden, wie sich diese einfachen Lüftungskonzepte in der Praxis bewähren und Planungshinweise für Büro- und Verwaltungsgebäude zu geben. Dazu werden zehn Gebäude mittels Gebäudebegehungen, im Winter und Sommer mit jeweils einer Befragung der Benutzenden sowie gleichzeitigen Kurz- und Langzeitmessungen in acht Räumen (vier Gebäude) untersucht. Ergänzt werden diese Untersuchungen mit Berechnungen der Grauen Treibhausgasemissionen (THGE), um Aussagen zum Einsparungspotential von low-tech Lüftungen im Vergleich zu Standardlüftungsanlagen machen zu können. Alle zehn Gebäuden weisen eine reduzierte, oder keine mechanische Lüftungstechnik auf. Die vier Messgebäude werden allesamt über manuell oder automatisch betriebene Fenster belüftet. In allen Messgebäuden, vor allem in den Grossraumbüros, ist die Belegung eher tief, wodurch die von der Belegung abhängigen Lüftungswärmeverluste die Standardwerte unterschreiten. Bei der Befragung von 553 Benutzenden gibt es insgesamt grosse Unterschiede zwischen den Gebäuden. Dies betrifft auch die Messgebäude, von denen ein Gebäude und ein Gebäudeteil in vielen Aspekten positiver bewertet werden als die anderen Gebäude, ein Gebäude und ein Gebäudeteil sind im Mittelfeld und ein Gebäude wird weniger gut bewertet.

Beim Vergleich zwischen Sommer und Winter zeigt sich, dass in allen Gebäuden vor allem die Raumlufttemperatur und Störungen durch Lärm von aussen signifikant unterschiedlich bewertet werden. Dabei empfinden im Winter rund 41 % der Befragten die Raumtemperatur als «etwas zu kalt» oder «zu kalt», 50 % finden es angenehm. Im Sommer ist es 64 % der Befragten «etwas zu warm» oder «zu warm», ein Drittel findet die Raumtemperatur angenehm. Die Messungen zeigen, dass im Winter der thermische Komfort und die Raumlufttemperatur innerhalb von Kategorie I (hohes Mass an Erwartungen, MaE) oder II (mittleres MaE) liegen. Im Sommer ist die Spannweite mit Messergebnissen in Kategorie I bis III (moderates MaE) grösser. Lärm von aussen wird von 78 % der Befragten im Winter «nie» oder «selten» als Störung wahrgenommen, im Sommer geben dies nur 42 % an. Mit der Luftqualität sind 60 % aller Befragten «etwas zufrieden» oder «zufrieden», im Sommer sind dies nur 40 %. Die Messergebnisse zeigen eine umgekehrte Tendenz mit Werten in Kategorie I bis II im Winter und besseren Werten in Kategorie I im Sommer.

Beim Vergleich des Energiebedarfs zwischen einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (80 %) und zusätzlicher Fensterlüftung sowie einer natürlichen Lüftung bei realer Nutzung zeigen sich für Grossraumbüros deutlich höhere Energiebedarfswerte bei der mechanischen Lüftung. In Einzel- und Gruppenbüros ist der Energiebedarf mit mechanischer Lüftung nur etwas höher. In beiden Fällen ist die Luftqualität mit einer mechanischen Lüftungsanlage konstant und zeitweise besser als mit einer natürlichen Lüftung.

Bezogen auf die Grauen THGE fallen für die Messgebäude Werte zwischen 0.1 und 1.2 kg/(m² a AE) für die Lüftung an. Die höheren Werte rühren von einer mechanischen Lüftung auf Teilflächen.



Résumé

Ce projet concerne des concepts et des installations de ventilation simples pour bâtiments administratifs. L'objectif du projet est de découvrir comment ces concepts de ventilation simples font leurs preuves dans la pratique, et de donner des conseils de planification pour bâtiments administratifs. À cette fin, dix bâtiments sont examinés au moyen d'inspections, en hiver et en été, avec un questionnaire destiné aux utilisateurs et des mesures à court et à long terme simultanées dans huit pièces (quatre bâtiments). Ces études sont complétées par des calculs des émissions de gaz à effet de serre (GES) afin de pouvoir se prononcer sur le potentiel d'économies des systèmes de ventilation low-tech par rapport aux systèmes de ventilation standard. Les dix bâtiments présentent tous une ventilation mécanique réduite, voire inexistante. Les quatre bâtiments mesurés sont tous ventilés par des fenêtres à commande manuelle ou automatique. Dans tous les bâtiments mesurés, en particulier dans les bureaux en open space, le taux d'occupation est plutôt faible, ce qui fait que les pertes de chaleur liées à la ventilation sont inférieures aux valeurs standard. L'enquête menée auprès de 553 utilisateurs révèle des différences importantes entre les bâtiments. Cela vaut également pour les bâtiments mesurés, dont un bâtiment et une partie de bâtiment sont évalués de manière plus positive que les autres bâtiments à bien des égards, un bâtiment et une partie de bâtiment se situent dans la moyenne et un bâtiment est moins bien évalué.

La comparaison entre l'été et l'hiver montre que, dans tous les bâtiments, la température ambiante et les nuisances sonores extérieures sont évaluées de manière très différente. En hiver, environ 41 % des personnes interrogées trouvent la température ambiante « un peu trop froide » ou « trop froide », tandis que 50 % la trouvent agréable. En été, 64 % des personnes interrogées trouvent qu'il fait « un peu trop chaud » ou « trop chaud », tandis qu'un tiers trouve la température ambiante agréable. Les mesures montrent qu'en hiver, le confort thermique et la température ambiante se situent dans les catégories I (attentes élevées) ou II (attentes moyennes). En été, l'écart entre les résultats des mesures est plus important, avec des valeurs comprises entre les catégories I et III (attentes modérées). En hiver, 78 % des personnes interrogées ne sont « jamais » ou « rarement » gênées par les bruits extérieurs, contre seulement 42 % en été. 60 % des personnes interrogées sont « plutôt satisfaites » ou « satisfaites » de la qualité de l'air, contre seulement 40 % en été. Les résultats des mesures montrent une tendance inverse, avec des valeurs comprises dans les catégories I à II en hiver et de meilleures valeurs dans la catégorie I en été.

La comparaison des besoins énergétiques entre une installation de ventilation mécanique avec récupération de chaleur (80 %) et ventilation complémentaire par ouverture des fenêtres, et une ventilation naturelle en conditions d'occupation réelles, montre que les besoins énergétiques sont nettement plus élevés pour la ventilation mécanique dans les bureaux en open space. Dans les bureaux individuels et collectifs, les besoins énergétiques avec une ventilation mécanique ne sont que légèrement supérieurs. Dans les deux cas, la qualité de l'air est constante avec un système de ventilation mécanique et parfois meilleure qu'avec une ventilation naturelle.

En ce qui concerne les GES, les valeurs pour les bâtiments mesurées se situent entre 0,1 et 1,2 kg/(m² a SRE) pour la ventilation. Les valeurs les plus élevées sont dues à une ventilation mécanique dans certaines parties d'un bâtiment.



Summary

This project deals with simple ventilation concepts and systems in office buildings. The aim of the project is to explore how these simple ventilation concepts prove themselves in practice and to give planning advice for office and administration buildings. To this end, ten buildings are examined by means of building inspections in winter and summer, with a survey of users and simultaneous short- and long-term measurements in eight rooms (four buildings). These investigations are supplemented by calculations of embedded greenhouse gas emissions in order to be able to make statements about the savings potential of low-tech ventilation systems in comparison to standard ventilation systems. All ten buildings have reduced or no mechanical ventilation technology. The four measurement buildings are all ventilated via manually or automatically operated windows. In all measurement buildings, especially in the open-plan offices, occupancy is rather low, which means that the occupancy-dependent ventilation heat losses are below the standard values. The survey of 553 users revealed significant differences between the buildings. This also applies to the measurement buildings, one of which and one part of which are rated more favourably than the other buildings in many respects, one building and one part of a building are in the middle range, and one building is rated less favourably.

A comparison between summer and winter shows that, in all buildings, the room temperature and disturbances from outside noise are rated significantly differently. In winter, around 41 % of respondents find the room temperature 'slightly too cold' or 'too cold', while 50 % find it comfortable. In summer, 64 % of respondents find it 'slightly too warm' or 'too warm', while one third find the room temperature pleasant. The measurements show that in winter, thermal comfort and room air temperature fall within categories I (high level of expectation, LoE) or II (medium LoE). In summer, the range of measurement results is greater, reaching from categories I to III (moderate LoE). External noise is 'never' or "rarely" perceived as a disturbance by 78 % of respondents in winter, compared to only 42 % in summer. 60 % of all respondents are 'somewhat satisfied' or 'satisfied' with the air quality in winter, compared to only 40 % in summer. The measurement results show a reverse trend, with values in categories I to II in winter and better values in category I in summer.

When comparing the energy demand of a mechanical ventilation system with heat recovery (80 % recovery rate) and additional window ventilation to natural ventilation under real occupancy conditions, mechanical ventilation shows significantly higher energy requirements for open-plan offices. In individual and group offices, the energy demand with mechanical ventilation is only slightly higher. In both cases, the air quality with a mechanical ventilation system is constant and at times better than with natural ventilation.

In terms of embedded greenhouse gas emissions, the measured buildings generate values between 0.10 and 1.2 kg/(m² a AE) for ventilation. The higher values are due to mechanical ventilation in some areas.



Kernbotschaften

- *Gebäude mit natürlicher Lüftung erreichen im Winter überwiegend einen guten bis moderaten thermischen Komfort.*
Bei Gebäuden mit natürlicher Lüftung über Fenster ist der gemessene thermische Komfort im Winter bei geöffnetem Fenster für die Dauer der Lüftung mittelmässig (Kategorie II bis III, mit einem mittleren bis moderaten Mass an Erwartungen, MaE). Sobald die Fenster wieder geschlossen sind, normalisiert sich die Raumtemperatur und der thermische Komfort sowie die Raumlufttemperatur sind gut (Kategorie I bis II, mit einem hohen bis mittleren MaE). Die Befragung der Benutzenden bestätigt dies: rund 50 % sind im Winter mit der Raumtemperatur zufrieden, 40 % finden es «etwas kalt», oder «zu kalt».
- *Eine Nachtlüftung lohnt sich, aus Sicht der Nutzer verbessert sie den sommerlichen Komfort.*
In Gebäuden mit hoher oder mittlerer Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung wird deren Wirksamkeit am höchsten bewertet. In den Gebäuden ohne Kühlleistung sowie mit automatischer, oder manueller Nachtlüftung fällt die Bewertung etwas kritischer aus. In den Gebäuden ohne Nachtlüftung wird die Temperatur morgens beim Betreten des Raumes insgesamt als wärmer beurteilt. In zwei Messgebäuden liegt die Raumlufttemperatur in Kategorie II und in jeweils einem Gebäude in Kategorie I oder III. Die Befragungen zeigen, dass es rund 64 % der Befragten «etwas zu warm» oder «zu warm» ist.
- *Die wahrgenommene Raumluftqualität ist in Gebäuden mit natürlicher und mechanischer Lüftung vergleichbar gut.*
Die Raumluftqualität wird von den Benutzenden in Gebäuden mit natürlicher und mit mechanischer Lüftung ähnlich bewertet. Die Messungen zeigen, dass im Winter die vier Messgebäude in der Kategorie I bis II liegen, im Sommer in der Kategorie I. Da die Belegung im vorliegenden Projekt bei allen Messgebäuden eher tief ist, könnten die Ergebnisse bei hoher Belegung anders ausfallen.
- *Die Lüftungsverluste sind aufgrund einer eher tiefen Belegung, gering.*
Die berechneten Luftwechsel über die Zuluftöffnungen weisen eine Spannweite auf und sind in Realität tiefer als die Standardwerte ($0.07 - 0.44 \text{ h}^{-1}$, bzw. 0.7 und 1.1 h^{-1}). Dies gilt auch für die resultierenden Lüftungswärmeverluste, die mit realer Belegung streuen und tiefer sind als die Lüftungswärmeverluste mit Standardbelegung ($1.7 - 7.9 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$, bzw. $7.8 - 10.8 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$). Der Energiebedarf für eine natürliche Lüftung mit realer Belegung ist im Vergleich mit einer mechanischen Lüftung mit ergänzender Fensterlüftung deutlich tiefer oder etwas tiefer, allerdings ist die Luftqualität bei der mechanischen Lüftung konstant und zeitweise besser.
- *Die grauen Treibhausgasemissionen für Lüftung und Kälteabgabe steigen deutlich mit dem Technisierungsgrad der Gebäude und sind bei natürlicher Lüftung ohne maschinelle Kühlung am geringsten.*
Gebäude mit natürlicher Lüftung und ohne Kühlung weisen die niedrigsten grauen THGE für Lüftung und Kälteabgabe auf ($< 0.3 \text{ kg/m}^2\cdot\text{a}$). Mit zunehmendem Einsatz von Zu- und Abluftanlagen sowie Kühl- und Kältesystemen steigen die grauen THGE an. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere mechanische Lüftungs- und Kühlsysteme einen relevanten Beitrag zu den grauen Emissionen leisten, auch wenn einzelne Komponenten (z. B. Wärmepumpen, Abwärmennutzung) nicht vollständig berücksichtigt werden.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Kernbotschaften	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	12
Formelverzeichnis	12
Glossar	13
1 Ausführliche Zusammenfassung	15
1.1 Projektumfang.....	15
1.2 Fragestellungen aus der Projektierung	16
1.2.1 Auslegung.....	16
1.2.2 Energiebedarf (Erstellung und Betrieb).....	17
1.3 Fragestellungen aus dem Betrieb und der Bewirtschaftung	18
1.3.1 Schäden.....	18
1.3.2 Thermischer Komfort.....	18
1.3.3 Raumluftqualität.....	20
1.3.4 Akustischer Komfort	20
1.3.5 Verhalten Benutzende	21
1.3.6 Lüftungssystem	21
1.4 Bewertung low-tech Ansatz	21
2 Einleitung	24
2.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	24
2.2 Projekt.....	24
3 Vorgehen	28
3.1 Gebäudeauswahl.....	28
3.2 Verständnis Planungskonzept.....	28
3.2.1 Gebäudebegehungen	28
3.2.2 Befragung Planende.....	28
3.3 Befragung Benutzende.....	28
3.3.1 Durchführung Befragung Benutzende	28
3.3.2 Aufbau des Fragebogens und statistische Methoden zur Auswertung	29
3.3.3 Gruppierungen der Ergebnisse	31
3.4 Messungen und Messgebäude	34
3.4.1 Vorbereitung Messungen	34



3.4.2	Eingesetzte Messtechnik.....	37
3.4.3	Vorgehen bei der Messung	38
3.4.4	Messperioden und Messplätze Kurz- und Langzeitmessungen.....	42
3.4.5	Auswertung der Messungen.....	43
3.5	Abschätzung Lüftungswärmeverluste und Luftwechselrate Winterhalbjahr.....	46
3.6	Graue Treibhausgasemissionen.....	47
3.7	Bewertung low-tech Ansatz.....	50
	Lüftungskonzept	51
	Graue Treibhausgas-emissionen für Lüftung und Kühlung	51
	Befragung Benutzende.....	52
	Kurzzeitmessung	52
	Langzeitmessung	52
4	Resultate Auswertung Planungskonzept und Gebäudebegehung	53
4.1	Bauschäden.....	53
4.2	Thermischer Komfort.....	53
4.2.1	Heizen und Kühlen	53
4.2.2	Zugerscheinungen im Winter.....	54
4.2.3	Bewertung low-tech Heizen und Kühlen	54
4.3	Raumluftqualität.....	56
4.3.1	Lüftungskonzept	56
4.3.2	Filterwechsel Lüftungsanlage.....	58
4.3.3	Bewertung low-tech Lüftung.....	59
4.4	Akustischer Komfort	59
4.5	Befragung Planende Lüftungskonzept	59
5	Resultate Befragung Benutzende	60
5.1	Rücklauf und Datenbereinigung	60
5.1.1	Winter	60
5.1.2	Sommer	60
5.2	Soziodemografische Merkmale	60
5.2.1	Winter	60
5.2.2	Sommer	61
5.3	Lüftungsverhalten und Schimmel	61
5.3.1	Winter	61
5.3.2	Sommer	62
5.4	Thermischer Komfort, Raumluftqualität und Lärm.....	65
5.4.1	Winter	65
5.4.2	Sommer	69
5.5	Information Benutzende	72
5.5.1	Winter	72



5.5.2	Sommer	73
5.6	Zufriedenheit mit der Lüftung.....	74
5.6.1	Winter	74
5.6.2	Sommer	74
5.7	Unterschiedliche Bewertung von NL und ML im selben Gebäude?.....	75
5.7.1	Winter	75
5.7.2	Sommer	76
5.8	Zusammenhang zwischen Gebäude und Zufriedenheit der Benutzenden	78
5.8.1	Winter	78
5.8.2	Sommer	81
5.9	Einfluss passive oder aktive Kühlung auf die Zufriedenheit der Benutzenden im Sommer.....	84
5.10	Befragungsergebnisse der Messgebäude	86
5.10.1	NL_auto_E1.....	86
5.10.2	NL_auto_M1	88
5.10.3	ML_NL_man_B1.....	90
5.10.4	NL_man_I1	93
5.11	Vergleich Winter und Sommer.....	94
5.11.1	Alle Gebäude	94
5.11.2	Messgebäude	98
5.12	Zusammenfassung und Diskussion Nutzerbefragung	102
5.12.1	Winter	102
5.12.2	Sommer	104
5.12.3	Vergleich Sommer und Winter.....	106
5.12.4	Bewertung low-tech	106
6	Resultate Messungen.....	108
6.1	Resultate Kurzzeitmessungen Winter	108
6.1.1	Volumenstrommessungen Abluft.....	108
6.1.2	Akustische Messungen.....	108
6.1.3	Thermische Behaglichkeit	110
6.1.4	Vergleich Kurzzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden.....	120
6.2	Resultate Kurzzeitmessungen Sommer	122
6.2.1	Thermische Behaglichkeit	122
6.2.2	Vergleich Kurzzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden.....	131
6.3	Resultate Langzeitmessungen Winter	132
6.3.1	Übersicht Temperaturverteilung	132
6.3.2	Übersicht relative Raumlufffeuchte.....	134
6.3.3	Übersicht CO ₂ -Konzentration	136
6.3.4	Wochenverläufe (Arbeitswoche Montag – Freitag)	138
6.3.5	Experimentelle Bestimmung Fensterlüftung/Türöffnung	146



6.3.6	Vergleich Langzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden	146
6.4	Resultate Langzeitmessungen Sommer	148
6.4.1	Übersicht Temperaturverteilung	148
6.4.2	Übersicht relative Raumlufffeuchte.....	150
6.4.3	Übersicht CO ₂ -Konzentration	151
6.4.4	Wochenverläufe (Arbeitswoche Montag – Freitag)	153
6.4.5	Vergleich Langzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden	160
6.5	Bewertung low-tec	161
6.5.1	Kurzzeitmessungen	161
6.5.2	Langzeitmessungen	162
7	Resultate Berechnungen	163
7.1	Abschätzung Belegung und minimal erforderlicher Luftmengen.....	163
7.1.1	Abschätzung Belegung bei realer Nutzung	163
7.1.2	Abschätzung Luftwechselrate und Lüftungswärmeverluste Winterhalbjahr.....	165
7.1.3	Plausibilisierung Ergebnisse Luftwechselrate	166
7.1.4	Energiebedarf	166
7.1.5	Bewertung low-tech	168
7.2	Graue Treibhausgasemissionen.....	169
7.2.1	Ergebnisse Berechnung	169
7.2.2	Plausibilisierung Ergebnisse.....	172
7.2.3	Bewertung low-tech	173
8	Übergreifende Bewertung low-tech Ansatz	174
8.1	Bewertung haustechnisches Konzept, Befragung Benutzende und Graue Treibhausgasemissionen (alle Gebäude).....	174
8.2	Bewertung Messung Messgebäude	175
8.3	Fazit Bewertungen.....	176
9	Publikationen	178
10	Dank	178
11	Literaturverzeichnis	178
12	Anhang	181
12.1	Übersicht Lüftungskonzept und passive Kühlung Untersuchungsgebäude.....	181
12.2	Fragebögen Winter	184
12.3	Fragebögen Sommer.....	190
12.4	Befragung Planende.....	194
12.5	Dokumentation Messungen.....	195
12.5.1	Eingesetzte Messgeräte	195
12.6	Dokumentation Messgebäude.....	197
12.6.1	Grundrisse und Messtellen Kurzzeitmessungen	197



12.6.2	Messtellen Langzeitmessungen	204
12.7	Auswertung der Messungen.....	206
12.8	Wintermessungen.....	216
12.8.1	Zugluft DR.....	216
12.8.2	Temperaturunterschied	218
12.8.3	PMV-Verläufe in Abhängigkeit des vertikalen Temperaturunterschieds	220
12.8.4	Experimentelle Bestimmung Fensterlüftung/Türöffnung	224
12.9	Details Berechnung Graue Treibhausgasemissionen	227
12.9.1	LuBo_Z1	228
12.9.2	ML_NL_man_Z2	230
12.9.3	LuBo_Z3	232
12.9.4	NL_auto_E1	234
12.9.5	NL_auto_L1	235
12.9.6	NL_auto_M1	235
12.9.7	FeLue_R1	238
12.9.8	NL_man_I1	240
12.9.9	ML_NL_man_B1.....	242



Abkürzungsverzeichnis

AE	Energiebezugsfläche
auto	automatisch
BKT	Betonkerntemperierung
D	Modus
d	Cohen's d
EBF	Energiebezugsfläche
FeLue	(passiver) Fensterlüfter
LuBo	Luftbox
man	manuell
ML	Mechanische Lüftung
NGF	Netto-Geschossfläche
NL	Natürliche Lüftung
N	Anzahl Beobachtungen
r	Korrelationskoeffizient Mann-Whitney-U-Test und Wilkoxon-Test
τ_b	Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b
X_i	einzelne Beobachtung
\bar{x}	Mittelwert
\tilde{x}	Median (gerade Anzahl geordneter Werte)
s	Standardabweichung
S^2	Varianz (= Stichprobenvarianz)
THGE	Treibhausgasemissionen
z	Standardisierte Teststatistik (z-Wert) aus Mann-Whitney-U-Test

Formelverzeichnis

$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s}$	Cohen's d
$r = \left \frac{z}{\sqrt{N}} \right $	Korrelationskoeffizient Mann-Whitney-U-Test und Wilkoxon-Test
$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N X_i$	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).
$s = \sqrt{S^2}$	Standardabweichung
$S^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{x})^2$	Varianz (= Stichprobenvarianz)



Glossar

Abluftanlage	«Mechanische Lüftung, die ausschliesslich Abluft fördert. Die Aussenluft strömt durch Nachströmöffnungen und Infiltration in die Räume.» [1]
Aussenbauteil-Luftdurchlass	Luftdurchlass, der das geplante Durchströmen von Luft durch die Gebäudehülle bei geringstmöglichem Eindringen von Regen, Schnee, Fremdkörpern usw. ermöglicht.
Abluftanlage mit Abwärmenutzung	«Lüftungsanlage mit mechanischer Luftabführung, welche in der Regel die Abwärme als Energiequelle für eine Abluft-Wärmepumpe nutzt.» [1]
Benutzer (Endnutzer)	Diejenigen natürlichen Personen, die das Gebäude nutzen (im Gebäude Arbeitende, Bewohner, Besucher, Kunden, Patienten usw.). [SIA 2048]
Dezentrale (mechanische) Lüftung	«Eine kontrollierte Be- und Entlüftung eines Raums durch ein dezentrales Gerät. [nach VDI 3804] [1]
Einfache Abluftanlage	«Lüftungsanlage mit mechanischer Luftabführung. Sie bedingt kontrollierte Luft-Eintrittsöffnungen in der Hülle.» Quelle Definition: [2]
Fensterlüfter	Aussenbauteil-Luftdurchlass im Bereich des Fensterrahmens. In der SN EN 12792 (Begriff 399) wird der Begriff "Im Fenster eingebauter Luftdurchlass" verwendet.
Geothermische Kühlung	Kühlung durch direkte Wärmeabgabe über einen Wärmeübertrager ins Erdreich (Erdwärmesonde, Erdregister, Grundwasser usw.). Im Projekt kann diese Kühlung auch in Verbindung mit einer Wärmepumpe betrieben werden. Zur Kälteverteilung werden thermoaktive Bauteilsysteme verwendet.
Low-tech Lüftung	Im vorliegenden Bericht wird der Begriff dahingehend verstanden, dass bei den Lüftungssystemen der Planungsansatz darauf abzielte, bewusst auf komplexe Lüftungstechnik zu verzichten oder diese gezielt zu reduzieren. Dies kann beispielsweise den Verzicht auf eine mechanische Lüftung, oder Strategien zur Minimierung des Verteilnetzes beinhalten. Die im Rahmen dieses Projekts untersuchten Gebäude verzichten jedoch nicht zwingend auf maschinelle oder geothermische Kühlsysteme und können weiterhin über ein Heizsystem verfügen.
Luftbox	Gerät, welches in die Fassade integriert ist und von dort die Zuluft bezieht, vorwärmt oder kühlt. Die Geräte können mit oder ohne Ventilator zusammen mit einer Abluftanlage betrieben werden.
Luftbehandlungsgerät	Vorgefertigte, in einem Gehäuse untergebrachte Baugruppe, die einen oder mehrere Ventilator(en) sowie weitere Ausrüstungsteile zur Erfüllung einer oder mehrerer der folgenden Funktionen enthält: Transport, Filtration, Heizung, Kühlung, Wärmerückgewinnung, Befeuchtung, Entfeuchtung sowie Mischung von Luft. [SN EN 12792]
Luftdurchlass	Bauelement der Anlage, das dazu dient, die geplante Luftbewegung in einen oder aus einem behandelten Raum zu erzielen. [SN EN 12792, Begriff 31])
Luftleitung	Einrichtung zum räumlich begrenzten Transport von Luft
Lüftungsanlage	Kombination von Geräten zur Versorgung von Innenräumen mit Aussenluft und zur Abführung verschmutzter Raumluft. [SN EN 16798-3]



	<p>Anmerkung 1: Die Anlage kann aus maschinellen bzw. mechanischen Komponenten (z. B. einer Kombination aus Luftbehandlungsgerät, Luftleitungen und Luftdurchlässen) bestehen. [SIA 382/1]</p>
Lüftungsmethode	<p>Oberbegriff für die Art und Weise, wie ein Luftaustausch bewirkt wird (mechanisch oder natürlich, mit Unterkategorien). [SIA 382/5] Anmerkung: Wird auch als «Lüftungsprinzip» bezeichnet.</p>
Lüftungssystem	<p>Das Lüftungssystem beschreibt die Gesamtheit der Lüftungstechnischen Massnahmen.</p>
Maschinelle Kühlung	<p>Im Projekt ist damit die Kälteproduktion über eine Kältemaschine mit Kälteverteilung über die Luft und / oder ein wasserführendes System gemeint.</p>
Mechanische Lüftung	<p>Luftaustausch, angetrieben von einem oder mehreren Ventilatoren.</p>
Nachtlüftung	<p>Lüftung zum Zwecke der Nachtauskühlung.</p>
Natürliche Lüftung	<p>Luftaustausch, angetrieben von Wind- und/oder thermischen Auftriebskräften (Fensterlüftung, thermische Lüftung über einen Schacht sowie Infiltration und Exfiltration). Anmerkung: Im Prinzip gehört auch die Fugenlüftung (Infiltration, Exfiltration) zur natürlichen Lüftung. Bei neueren Gebäuden darf jedoch gemäss SIA 180 nicht (unkontrolliert) über Fugen gelüftet werden.</p>
Nutzer	<p>Der Nutzer (bei Geschäftsliegenschaften in der Regel eine juristische Person) nutzt das betreffende Gebäude bzw. die entsprechenden Gebäudeteile. [SIA 2048]</p>
Passive Kühlung	<p>Kühlung durch passive Massnahmen, im vorliegenden Bericht ist damit die Nachtlüftung (automatisch, manuell) gemeint.</p>
Zentrale (mechanische) Lüftung	<p>«Eine kontrollierte Be- und Entlüftung mehrerer Räume durch ein zentrales Gerät. [nach VDI 3804]: [1]</p>



1 Ausführliche Zusammenfassung

1.1 Projektumfang

Dieses Projekt konzentriert sich auf einfache oder vereinfachte Lüftungssysteme in Bürogebäuden. Im vorliegenden Bericht wird der Begriff low-tech dahingehend verstanden, dass der Planungsansatz bewusst auf komplexe Lüftungstechnik verzichtet oder diese gezielt reduziert. Dies kann beispielsweise den Verzicht auf eine mechanische Lüftung oder Strategien zur Minimierung des Verteilnetzes umfassen. Die im Rahmen dieses Projekts untersuchten Gebäude verzichten jedoch nicht zwingend auf aktive Kühlsysteme und können über ein Heizsystem verfügen.

Ziel des Projekts ist es, herauszufinden, wie diese Lüftungssysteme in der Praxis funktionieren und Planungsempfehlungen für Bürogebäude zu geben. Zu diesem Zweck werden in den Jahren 2023 bis 2024 zehn Gebäude anhand von Besichtigungen vor Ort, Umfragen unter den Gebäudeplanenden und den Gebäudebenutzenden sowie Kurz- und Langzeitmessungen in acht Arbeitsräumen (vier Gebäuden) untersucht. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch Berechnungen der Grauen Energie in Form von Treibhausgasemissionen, um Aussagen über das Einsparpotenzial einfacher Lüftungssysteme im Vergleich zu Standardlüftungssystemen treffen zu können.

Die Gebäude wurden zwischen 2004 und 2020 erbaut, zwei Gebäude sind (teilweise) Sanierungen. Die Gebäude bieten Arbeitsraum für 20 bis 1000 Personen, meist in Grossraumbüros. Acht Gebäude werden aktiv beheizt, zwei Gebäude nutzen nur die Abwärme von Geräten. Sieben Gebäude verfügen über ein aktives Kühlsystem (z. B. Kältemaschine, Geocooling mit Wärmepumpe).

Zwei Gebäude haben ein Abluftsystem mit Abwärmenutzung. Die Zuluft gelangt über Luftboxen in das Gebäude. Zwei weitere Gebäude weisen eine Bürofläche auf, die tagsüber nur über manuelle Fensterlüftung belüftet wird, während andere Teile des Gebäudes über ein zentrales, mechanisches Belüftungssystem versorgt werden. Für die Nutzung tagsüber und die Belüftung nachts gibt es in drei Gebäuden eine automatische Fensterlüftung. In zwei Gebäuden wird die automatische Fensterlüftung nur für die Nachtlüftung genutzt. In einem Gebäude gibt es nur eine manuelle Fensterlüftung. Ein Gebäude verfügt über ein Abluftsystem in Kombination mit Fensterlüftern.

Nachfolgend werden die wichtigsten Fragestellungen im Zusammenhang mit der Projektierung und dem Betrieb sowie der Bewirtschaftung beantwortet. Die Antworten setzen sich aus den Gebäudebegehungen, der Befragung der Planenden und Benutzenden und den Messungen zusammen. Die Belastbarkeit der aus der Vielzahl der Analysen resultierenden Ergebnisse wird jeweils angegeben. Dabei gilt:

- *Hohe Verlässlichkeit:* die Ergebnisse werden z. B. bei der Begehung in allen Gebäuden beobachtet, sind statistisch belastbar (Antwort Benutzende > 30, schwache Korrelation), oder sind in allen Messgebäuden aufgetreten.
- *Mittlere Verlässlichkeit:* die Ergebnisse werden z. B. bei der Begehung in mehr als fünf Gebäuden beobachtet, sind statistisch belastbar (Antwort Benutzende > 30, sehr schwache Korrelation), oder sind in drei Messgebäuden aufgetreten.
- *Geringe Verlässlichkeit:* die Ergebnisse werden z. B. bei der Begehung in weniger als fünf Gebäuden beobachtet, sind statistisch nicht belastbar (Antwort Benutzende < 30, keine Korrelation), oder sind nur in einem oder zwei Messgebäuden aufgetreten.



1.2 Fragestellungen aus der Projektierung

1.2.1 Auslegung

- In welchen Räumen sind Zuluftöffnungen/Lüftungsflügel angeordnet (Grösse / freier Querschnitt)?
Alle Gebäude: Die Zuluftöffnungen sind in den Büros angeordnet. Bei den sechs Gebäuden, die eine Nachtlüftung über – bei fünf Gebäuden – automatische Lüftungsflügel aufweisen, liegt der automatisch öffnbare Lüftungsquerschnitt zwischen 0.8 und 2.7 % der Nettogeschossfläche (NGF). Bei Gebäuden mit einer manuellen Fensteröffnung kann eine Fläche zwischen 5 und 10 % der NGF geöffnet werden (was praktisch vermutlich nicht erfolgt). Bei den Gebäuden mit der automatischen Fensteröffnung ist theoretisch eine grössere Öffnungsfläche durch einen Benutzereingriff erreichbar.
Diese Aussage zum Öffnungsquerschnitt hat eine *mittlere Verlässlichkeit* (7/10 Gebäuden).
- Wie ist der Faktor der öffnbaren Fensterfläche pro m² NGF und ist ein Vergleich in Bezug auf Luftqualität möglich?
Messgebäude: Die öffnbare Fensterfläche pro Nettogeschossfläche (NGF) liegt in einem weiten Bereich 1 – 8 %. Bei den Gebäuden mit Grossraumbüros sind die Werte geringer 1 - 2.7 %. Bei den Wintermessungen liegt der Medianwert der CO₂-Konzentration in den Grossraumbüros rund 30 % höher als in den übrigen Büroräumen. Das Gebäude mit dem grössten Anteil an öffnbaren Fensterflächen weist im Winter den tiefsten Medianwert der CO₂-Konzentration auf. Insgesamt zeigt sich eine Tendenz zu tieferen CO₂-Konzentrationen bei höheren Anteilen an öffnbarer Fensterfläche. Aufgrund der grossen Unterschiede bei Belegung (siehe unten) und Lüftungsintervallen lässt sich jedoch kein eindeutiger Zusammenhang nachweisen.
Die beiden Messgebäude mit Grossraumbüros weisen nahezu identische Medianwerte der CO₂-Konzentration im Winter auf (Differenz <2%), trotz einer deutlichen Differenz der öffnbaren Fensterfläche pro NGF (ca. 1 - 2.7 %).
Bei der Befragung der Benutzenden kann keine Korrelation festgestellt werden. Auch nicht zwischen der Zufriedenheit mit der Luftqualität und dem Lüftungskonzept.

Diese Aussage zum Zusammenhang zwischen Öffnungsquerschnitt und Luftqualität hat eine *geringe Verlässlichkeit* (2/4 Messgebäuden).
- Wie ist die geplante und tatsächliche Belegung (Fläche und Luftvolumen pro Person)?
Messgebäude: Die tatsächliche Belegung wird durch Angaben der Benutzer, die vorhandene Möblierung sowie anhand der aus den Messdaten abgeschätzten Anwesenheiten ermittelt. In den Grossraumbüros liegt die tatsächliche Belegung rund 30 – 60 % unter der Standardbelegung nach SIA 2024:2021.
In den Einzel- und Gruppenbüros wird bei Vollbelegung die Standardbelegung gemäss SIA 2024:2021 überschritten. Anhand der Messresultate ist jedoch ersichtlich, dass die Büros zweitweise unbenutzt bleiben. Im Mittel deckt sich hier die Standardbelegung ungefähr mit den tatsächlichen Belegungen.
Die Aussage zur tatsächlichen Belegung je nach Bürotyp hat eine *geringe Verlässlichkeit* (2/4 Messgebäuden).
- Wie wurde die Lüftung dimensioniert?
Alle Gebäude: Als Planungsinstrumente für die Lüftungsanlage wurden in vier Gebäuden thermisch, dynamische Simulationen eingesetzt (bei zwei Gebäuden wirkte derselbe Planer mit). Bei drei Gebäuden wird die Lüftung mittels eigener Auslegungen auf der Basis von Exceltabellen geplant.
Die Aussage zur Dimensionierung hat eine *mittlere Verlässlichkeit* (7/10 Gebäuden).



1.2.2 Energiebedarf (Erstellung und Betrieb)

Wie ist der Energiebedarf von low-tech Lüftungssystemen zu bewerten?

Projektspezifisch auf Basis der Messungen können die Lüftungswärmeverluste abgeschätzt und Aussagen zum Strombedarf für die Lüftung gemacht werden.

a) Lüftungswärmeverluste Messgebäude (natürliche Lüftung, NL): Diese entstehen durch Einbringung von kalter Aussenluft und verursachen einen erhöhten Wärmebedarf im Winter. Zur Abschätzung dieser Verluste werden zwei Varianten berechnet:

- Variante 1: mit Standardbelegung und einheitlicher Luftqualität (IDA 2 (CO₂) mit einem mittleren Mass an Erwartungen, MaE).
- Variante 2: mit realer Nutzung und den aus Messdaten abgeleiteten Lüftungsintervallen.

Die berechneten Lüftungswärmeverluste liegen bei Variante 1 zwischen 7.8 und 10.8 kWh/a*m² und bei Variante 2 zwischen 1.7 und 7.9 kWh/a*m². Die Lüftungswärmeverluste gemäss Variante 2 sind also tiefer und streuen, da die reale Nutzung je nach Gebäude und Lüftungsverhalten stark variiert (Anmerkung: je nach Belegung kann die Luftqualität damit tiefer als IDA 2 (CO₂) sein). Eine eindeutige Bewertung der Lüftungswärmeverluste ist nicht möglich, da die Unterschiede bei Standardnutzung primär von der Gebäudekategorie abhängen und bei realer Nutzung tiefere Lüftungswärmeverluste oft mit einer verminderten Luftqualität verbunden sind.

b) Strombedarf Lüftung Messgebäude, NL: Bei den untersuchten Gebäuden sind auf den Büroflächen keine Ventilatoren für eine mechanische Lüftung vorhanden, daher entfällt der Strombedarf für mechanische Antriebe Lüftung oder ist, bei Systemen mit automatischen Lüftungsflügelantrieben, mit wenigen Wh/m² a vernachlässigbar.

c) Hypothetischer Strombedarf für mechanische Lüftung, ML: Der Strombedarf für die Ventilatoren einer Lüftungsanlage liegt für das Einzel- und Gruppenbüro, sowie das Grossraumbüro bei rund 2.8 kWh/m²a. Schliesst man die Lüftungswärmeverluste und eine allfällige Wärmerückgewinnung in die Betrachtung ein, so liegt der Energiebedarf für Grossraumbüros bei 5.2 kWh/m²a. Für Einzel- und Gruppenbüros liegt der Energiebedarf bei 4.5 kWh/m²a. Mit zusätzlicher Fensterlüftung, erhöht sich der Wert auf 5.8 – 6.7 kWh/m²a beziehungsweise 8.4 kWh/m²a.

Beim Vergleich mit NL weist das Grossraumbüro bei mechanischer Lüftung mit zusätzlicher Fensterlüftung (ML + NL) einen höheren Energiebedarf auf (5.8 – 6.7 kWh/m²a) als bei Fensterlüftung (1.7 – 4.6 kWh/m²a). In Einzel- und Gruppenbüros ist der Energiebedarf mit ML + NL nur geringfügig höher als mit NL (8.4 statt 7.9 kWh/m²a). Die Luftqualität ist mit mechanischer Lüftung konstant und zeitweise besser.

Die Aussage, dass die realen Lüftungswärmeverluste tiefer als die Standardlüftungsverluste sind und streuen, hat für die Messgebäude eine *hohe Verlässlichkeit* (4/4 Messgebäuden). Die Aussage zur absoluten Höhe der realen Lüftungswärmeverluste und der daraus resultierende Vergleich hat eine *tiefe Verlässlichkeit* (Streuung über vier Messgebäude).

- Wie gross ist die Einsparung an Grauen Treibhausgasemissionen (THGE)?

Alle Gebäude: Für die Gebäudehülle werden bei acht Gebäuden THGE zwischen 7.5 und 9.9 kg/m² a AE aufgewendet. Ein Gebäude ist eine Sanierung, daher fallen hier THGE in der Höhe von 3.5 kg/m² a AE an. Insgesamt liegen 4 von 8 Gebäuden unter dem Mittelwert von 7.9 kg/m² a AE. Zwei davon haben keinen Keller.

Bezogen auf die gesamte Gebäudetechnik treten THGE zwischen 1.1 und 3.5 kg/m² a AE auf. Für die Lüftung (und sofern vorhanden die Kälteverteilung) werden THGE zwischen 0.1 und 2.1 kg/m² a AE ermittelt. Unter dem Mittelwert von 0.9 kg/m² a AE liegen vier Gebäude (und ein Gebäudeteil NL_man_Z2). Wird die technische Gebäudeausrüstung stark reduziert, so lassen sich 70 % der THGE für die Gebäudetechnik einsparen¹. Wenn nur die Lüftungstechnik verringert wird, können mehr als 50 % der THGE für die Gebäudetechnik eingespart werden².



Die Aussage zur Einsparung von THGE hat eine *tiefe Verlässlichkeit* (2/9 Gebäuden).

¹ = Vergleich zwischen Gebäude MV_Z2 und NL_auto_L1, die Gebäude werden in Kapitel 2 beschrieben.

² = Vergleich zwischen Gebäude MV_Z2 und LV_man_Z2

- Welcher Luftwechsel ist mit den Zuluftöffnungen / Lüftungsflügeln zu erreichen?
Messgebäude: Die Luftwechselraten bzw. Aussenluftvolumenströme bilden die Grundlage für die Abschätzung der Lüftungswärmeverluste, sie werden deshalb in zwei Varianten berechnet:
 - Variante 1: mit Standardbelegung und einheitliche Luftqualität (IDA 2 (CO₂)).
 - Variante 2: mit realer Nutzung und den aus Messdaten abgeleiteten Lüftungsintervallen.Die berechneten Luftwechselraten liegen bei Variante 1 zwischen 0.7 und 1.1 h⁻¹ und bei Variante 2 deutlich tiefer, nämlich zwischen 0.07 und 0.44 h⁻¹.
Die Luftwechselraten gemäss Variante 2 streuen, da die reale Nutzung je nach Gebäude und Lüftungsverhalten stark variiert. Zwei Büros mit Luftwechselraten zwischen 0.01 und 0.04 h⁻¹ werden sehr selten (im Durchschnitt 1 – 4 Minuten pro Tag) gelüftet.
Die Aussage, dass die realen Luftwechsel tiefer sind als die Standardluftwechsel und streuen hat eine *hohe Verlässlichkeit* (4/4 Messgebäude).
Die Aussage zur absoluten Höhe der realen Luftwechsel hat eine *tiefe Verlässlichkeit* (Streuung über vier Messgebäude).
- Kann ein Zusammenhang zwischen Grauen THGE für die Lüftung, den Lüftungswärmeverlusten und der Luftqualität im Winter hergestellt werden?
Messgebäude: Da die Belegung aller Messgebäude, vor allem in den Grossraumbüros, von der Planung abweichend tief ist, sind diese Erkenntnisse nicht zu verallgemeinern.
Die Analyse der Parameter im Zusammenhang zeigt für das Forschungsprojekt, dass niedrige Graue THGE für die Lüftung mittelhohe Lüftungswärmeverluste und eine mittlere Luftqualität mit sich bringen. Graue THGE im mittleren Bereich können mit tiefen bis hohen Lüftungswärmeverlusten einhergehen, wobei die Luftqualität im mittleren Bereich ist. Hohe Graue THGE stehen hier neben hohen Lüftungswärmeverlusten, wobei die Luftqualität gut ist.
Die Aussage zum Zusammenhang zwischen Grauen THGE, den Lüftungswärmeverlusten und der Luftqualität hat eine *tiefe Verlässlichkeit* (Streuung über vier Messgebäude).

1.3 Fragestellungen aus dem Betrieb und der Bewirtschaftung

1.3.1 Schäden

- Gibt es Bauschäden im Zusammenhang mit der Lüftung (z. B. Verschmutzung, Schimmel)?
Alle Gebäude: Nein, bei der Begehung werden keine Bauschäden festgestellt. Bei der Befragung geben nur 2 % aller Befragten im Winter, die Existenz von Schimmel an.
Die Aussage zu den Bauschäden hat eine *hohe Verlässlichkeit* (10/10 Gebäuden)

1.3.2 Thermischer Komfort

- Gibt es Komfortprobleme im Bereich der Zuluftöffnungen / Lüftungsflügel?
Alle Gebäude, Messgebäude: Bei der Begehung wird in zwei Gebäuden von Problemen mit dem thermischen Komfort berichtet. In einem Fall sind dies Zugerscheinungen im Bereich von passiven Fensterlüftern, im anderen Fall ist es die Regelung der automatischen Fensterlüftung im Zusammenhang mit CO₂-Sensoren. In diesem Gebäude werden auch an einigen Arbeitsplätzen elektrische Heizlüfter eingesetzt.
Die Befragung zeigt, dass bei geschlossenen Fenstern nur 20 % «selten» Zugluft verspüren. Beim Lüftungsvorgang selber tritt bei den Gebäuden mit Fensterlüftung bei einem Viertel «oft» oder «immer» Luftzug auf. Bei den Gebäuden mit automatisierter Fensterlüftung ist der Wert höher, die Differenzen sind aber nicht signifikant. Die Gruppe mit den Fensterlüftern ist zu klein für belastbare Aussagen.
Die Kurzzeitmessungen zeigen, dass bei geschlossenen Fenstern keine Zugluft auftritt. Bei



geöffneten Fenstern hingegen liegt die Zugluft rate DR im Bereich von 50 %.

Die Aussagen zu Luftzug bei geschlossenen Fenstern haben eine *hohe Verlässlichkeit* (Befragung).

Die Aussagen zu Luftzug bei offenen Fenstern haben eine *hohe Verlässlichkeit* (Befragung und Messung).

Die Aussagen zu Luftzug bei Fensterlüftern haben eine *geringe Verlässlichkeit*.

- Wie tief sind die Temperaturen im Raum beim Fensterlüftungsvorgang und wie lange braucht es, bis diese wieder auf dem vorherigen Niveau sind?

Messgebäude: Die Temperaturen sinken bei drei Gebäuden auf Werte < 19.8 °C. Bei einem Gebäude an einem Arbeitsplatz liegen die Raumtemperaturen auch bei geschlossenem Fenster unter 19.8 °C. Nach dem Lüftungsvorgang normalisieren sich die Werte innerhalb von wenigen Minuten.

Bei einem Gebäude sinkt die Raumtemperatur durch den kurzen Lüftungsvorgang von 3 Minuten nicht.

Die Aussagen zu den Temperaturen beim Lüftungsvorgang haben eine *mittlere Verlässlichkeit* (3/4 Messgebäuden).

- Werden gekühlte und ungekühlte Gebäude von den Benutzenden unterschiedlich bewertet?

Alle Gebäude: Es gibt sechs unterschiedliche Kühlkonzepte: Gebäude mit einer hohen Kühlleistung und mit keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung, Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung und mit keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung, sowie Gebäude ohne Kühlleistung mit automatischer oder manueller Nachtlüftung.

Betrachtet man die Bewertung der Raumtemperatur generell und die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept so werden beide Aspekte in den Gebäuden mit hoher Kühlleistung signifikant am kritischsten bewertet. Signifikant weniger kritisch wird die Raumtemperatur tagsüber in den Gebäuden mit mittlerer Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung beurteilt. Die Korrelationen sind jeweils sehr schwach.

Bei den Messresultaten kann zwischen drei Gebäuden mit einer mittleren Kühlleistung und einem Gebäude ohne Kühlung (NL_auto_E1) kein Unterschied festgestellt werden.

Die Aussagen aus der Befragung zur Bewertung von gekühlten und ungekühlten Gebäuden haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.

- Welche Wirkung wird für den sommerlichen Wärmeschutz durch eine Nachtauskühlung erreicht?

Alle Gebäude: Die Wirksamkeit der Nachtlüftung wird in den Gebäuden mit einer hohen oder mittleren Kühlleistung mit jeweils automatischer Nachtlüftung am besten bewertet. In den Gebäuden ohne Kühlleistung und mit automatischer, oder manueller Nachtlüftung wird die Wirksamkeit etwas kritischer beurteilt. In den Gebäuden, die keine Nachtlüftung haben, wird die Temperatur morgens beim Betreten des Raumes insgesamt als wärmer beurteilt. In Gebäuden mit einer mittleren Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung wird die Temperatur signifikant weniger kritisch bewertet als in Gebäuden mit einer hohen Kühlleistung (sehr schwache Korrelationen).

Bei den Messresultaten lässt sich kein Muster erkennen. Ein potentieller Einfluss der Nachtauskühlung wird vermutlich von anderen Effekten wie z. B. interne Lasten, überlagert.

Die Aussagen aus der Befragung zur Nachtauskühlung haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.

- Sind die Bewertung und die Messung der Raumlufttemperatur konsistent?

Messgebäude Winter: Hier unterscheidet sich die Temperaturbewertung in einem Gebäude¹ signifikant von jener in den anderen Gebäuden, indem es von den Benutzenden als kühler bewertet wird. Dies stimmt mit den Messungen überein. Bei der Gebäudebegehung wurde weiter ein temporärer Einsatz von elektrischen Heizlüftern an wenigen Arbeitsplätzen festgestellt. Die anderen drei Messgebäude haben keine Auffälligkeiten bei den Messungen und auch bei der Befragung keine signifikanten Abweichungen.

Messgebäude Sommer: In einem weiteren Gebäude² treten bei der Bewertung der Raumtemperatur Unterschiede zu den anderen Gebäuden auf. Im Vergleich wird die



Raumtemperatur schlechter bewertet.

Der Vergleich der Messwerte im Sommer zeigt, dass die Maximaltemperaturen in diesem Gebäude² am höchsten sind und auch die Medianwerte der Raumtemperatur in den beiden Einzel- und Mehrpersonenbüros dieses Gebäudes im Mittel rund 0.4 K höher liegen als in den beiden Einzel- und Sitzungsbüros eines anderen Messgebäudes³. Die schlechtere Temperaturbewertung durch die Benutzenden im Gebäude² wird somit durch die gemessenen Temperaturwerte unterstützt.

Die Aussagen zur Konsistenz zwischen Befragung und Temperaturmessungen haben im Winter und Sommer eine *mittlere Verlässlichkeit*.

¹ = NL_auto_E1, die Gebäude werden in Kapitel 2 beschrieben.

² = NL_man_B1

³ = NL_auto_I1

1.3.3 Raumluftqualität

- Was gibt es bei CO₂-Sensoren zur Steuerung von automatischen Fenstern zu berücksichtigen?
Alle Gebäude: CO₂-Sensoren müssen regelmässig validiert werden, da sonst die Messgenauigkeit beeinträchtigt ist. Im Zusammenhang mit einer automatischen Fensteröffnung- und Schliessung ist die Platzierung der Sensoren massgeblich. Sind diese in der Mitte des Raumes oder eher abgeschirmt angebracht, kann es sein, dass die Fenster speziell im Winter zu lange offenstehen. Bei zwei Gebäuden mit einer automatischen Fensteröffnung- und Schliessung wurde die CO₂-Steuerung durch eine Zeitschaltung, bzw. manuelle Bedienung ersetzt, da die Fenster zu lange offenstanden.
Die Aussagen zu den CO₂-Sensoren haben eine *tiefe Verlässlichkeit* (2/10 Gebäuden)
- Gibt es einen Unterschied bei der Bewertung der Raumluftqualität durch die Benutzenden mit natürlicher und mechanischer Lüftung?
Alle Gebäude: Im Winter und im Sommer gibt es keinen Unterschied bei der Bewertung der Raumluftqualität zwischen Gebäuden mit natürlicher und mechanischer Lüftung. Auch bezogen auf das Lüftungskonzept lassen sich keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung feststellen. Zwischen dem einzelnen Gebäude und der Bewertung der Raumluftqualität lässt sich im Winter eine sehr schwache Korrelation feststellen, im Sommer hingegen nicht.
Die Aussagen zur unterschiedlichen Bewertung der Raumluftqualität haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.
- Wie ist die Bewertung IDA (CO₂) in Sommer und Winter mit der derzeitigen Belegung?
Messgebäude: Im Winter liegt ein Messgebäude ganz in der Kategorie II (mittleres Mass an Erwartung, MaE), ein Gebäude liegt mit einem Arbeitsplatz in der Kategorie II und mit einem Arbeitsplatz in der Kategorie I (hohes MaE) und zwei Gebäude liegen ganz in der Kategorie I. Im Sommer liegen alle Messgebäude in der Kategorie I. Dies ist ein sehr gutes Resultat, allerdings ist die Belegung tief, sodass hier keine Aussage zur Bewertung IDA (CO₂) mit der geplanten Belegung gemacht werden kann. Die Abschätzung der Luftwechselraten unter Annahme einer Standardbelegung und einheitlichen Luftqualität führt zu deutlich häufigeren und längeren Öffnungszeiten, als sie bei realer Nutzung tatsächlich beobachtet wird.
Die Aussagen zur Bewertung IDA (CO₂) haben aufgrund der Belegung eine *tiefe Verlässlichkeit*.

1.3.4 Akustischer Komfort

- Gibt es akustische Probleme mit der Anlage und/oder dem Aussenlärm?
a) Anlage Messgebäude: Bei der Begehung wird angemerkt, dass in zwei Gebäuden die Abluftventilatoren für innenliegende Sitzungsräume störenden Lärm machen. In einem Gebäude kann durch Messung eine Grenzwertüberschreitung festgestellt werden (das andere Gebäude gehört nicht zu den Messgebäuden).
Bei der Befragung der Benutzenden tritt Lärm von den Lüftungseinrichtungen kaum auf. Im Winter treten in Abhängigkeit zum Lüftungskonzept bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung



und bei den Gebäuden mit Luftboxen sehr schwache, signifikante Korrelationen auf, bei den Gebäuden mit ML über den Raum tritt eine schwache, hochsignifikante Korrelation auf. Im Sommer gibt es keine Korrelationen. Die gebäudeweise Auswertung zeigt, dass in den beiden Gebäuden mit den lauten Abluftventilatoren in den Sitzungsräumen die Innengeräusche schlecht bewertet werden (jedoch jeweils nur im Sommer oder Winter).

b) Aussenlärm Messgebäude: Die Messungen zeigen, dass in zwei von vier Gebäuden die Grenzwerte für den Schalldruckpegel bei offenem und geschlossenem Fenster eingehalten werden, in zwei Gebäuden werden sie nicht eingehalten.

Bei der Befragung wird Lärm von aussen im Winter als nicht störend eingestuft. Im Sommer wird er häufiger als Störung wahrgenommen. Bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung tritt eine sehr schwache, hochsignifikante Korrelation auf.

Die Aussagen der Benutzenden zum akustischen Komfort haben eine *mittlere Verlässlichkeit*. Die Messungen zum akustischen Komfort haben eine *geringe Verlässlichkeit* (Streuung).

1.3.5 Verhalten Benutzende

- Wie ist die Auswirkung des Lüftungskonzeptes auf das Lüftungsverhalten der Benutzenden?
Alle Gebäude: Im Winter lüften die meisten Benutzenden tagsüber zwischen 2 und 10 Minuten. Weniger Benutzende öffnen tagsüber zwischen 6 und 20 Minuten das Fenster. Zwischen natürlich und mechanisch belüfteten Gebäuden gibt es kaum Unterschiede, in mechanisch belüfteten Gebäuden wird etwas weniger manuell gelüftet.
Im Sommer wird wie im Winter «nur» ein- bis zweimal am Tag gelüftet, dafür sind die Fenster allerdings länger als 60 Minuten geöffnet. Auch hier gibt es kaum Unterschiede zwischen natürlich und mechanisch belüfteten Gebäuden. In den mechanisch belüfteten Gebäuden wird etwas häufiger manuell gelüftet.
Die Aussagen zu den Auswirkungen des Lüftungskonzeptes haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.

1.3.6 Lüftungssystem

- Unterschied Bewertung Lüftungskonzept in Sommer und Winter.
Alle Gebäude: Im Winter würden etwa 35 % der Befragten das Lüftungssystem weiterempfehlen. Sie sind also mit dem System zufrieden. Etwa 45 % würden dies «eventuell» tun. Im Sommer würden rund ein Viertel der Befragten das Lüftungskonzept weiterempfehlen (10 % weniger als im Winter). Ein Drittel würde dies eventuell tun (gegenüber 45 % im Winter). Einen signifikanten Unterschied zwischen der Bewertung im Sommer und Winter gibt es nur bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung (schwache Effektstärke).
Die Aussagen zur Bewertung des Lüftungskonzeptes haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.
- Unterschied Bewertung manuelle/automatische Fensteröffnung.
Alle Gebäude: Zwischen den Benutzenden, die tagsüber eine automatische und denjenigen, die eine manuelle Fensterlüftung haben bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung des Lüftungskonzeptes. In beiden Gruppen ist die Zufriedenheit im Sommer etwas geringer als im Winter.
Die Aussagen zur Bewertung des Lüftungskonzeptes haben eine *mittlere Verlässlichkeit*.

1.3.7 Planungshinweise

- Für die Auslegung und Beurteilung von Lüftungssystemen sind die tatsächlichen Belegungszahlen von zentraler Bedeutung. Diese sollten bereits in der Planungsphase möglichst realistisch definiert und dokumentiert werden. Eine unzureichende Berücksichtigung der Belegung kann andernfalls zu überdimensionierten Anlagen mit erhöhtem Energieverbrauch oder zu ungenügender Luftqualität bei hoher Nutzung führen.
- Sofern die zukünftige Nutzung oder Belegung nicht eindeutig festgelegt werden kann oder mit relevanten Schwankungen zu rechnen ist, ist die Lüftung entsprechend flexibel bzw.



bedarfsabhängig zu planen. Variable Luftvolumenströme ermöglichen es, auf unterschiedliche Belegungssituationen zu reagieren und sowohl den Komfort als auch die energetische Effizienz sicherzustellen.

- In einem frühen Planungsschritt sind Alternativen zu einer Zu- und Abluftanlage zu überprüfen. Eine Reduktion der Leitungsführung, einfache Abluftanlagen im Zusammenhang mit einer automatischen Fensterlüftung sind valide Alternativen.
- Die Regelung von automatisch betriebenen Fensterflügeln über CO₂-Sensoren im Raum führt im Winter bei zwei Projekten zu überlangen Fensteröffnungszeiten. Die Sensoren müssen daher sehr sorgfältig platziert werden, ggf. sind Test durchzuführen.

1.4 Bewertung low-tech Ansatz

Hinsichtlich des low-tech Ansatzes sind die Gebäude sehr verschieden und die Spannweite ist gross. Einige Gebäude fokussieren auf ein reduziertes Kanalsystem für die mechanische Lüftung und über ein gemeinsames System zur Wärme- und Kälteabgabe. Andere Gebäude verzichten auf eine mechanische Lüftungsanlage, sowie auf eine aktive Beheizung und Kühlung des Gebäudes.

Um einen Überblick zu erhalten, welches Gebäude in welchem Bereich besonders vorteilhaft ist, werden die Gebäude themenspezifisch und ungewichtet in vier Gruppen unterteilt, wobei zwischen einer guten, einer mittleren und einer eher schlechten Bewertung unterschieden wird.

Bewertung haustechnisches Konzept Heizen und Kühlen, Bewertung Konzept Lüftung, Graue Treibhausgasemissionen und Befragung Benutzende (10 Gebäude)

- Konzept Heizen / Kühlen und Lüften: Nur zwei Gebäude verzichten auf ein aktives Heiz- und Kühlsystem und haben damit eine gute Bewertung.
- Konzept Lüften: Fünf Gebäude oder Gebäudeteile haben für die zentralen Flächen eine natürliche Lüftung und werden somit gut bewertet.
- Graue Treibhausgasemissionen für Lüftung und Kühlung: Hier weisen drei Gebäude und ein Gebäudeteil besonders tiefe Werte und damit eine gute Bewertung auf. Dazu gehören die beiden Gebäude, die auf eine aktives Heiz- und Kühlsystem verzichten.
- Befragung Benutzende: Die Ergebnisse von zwei Gebäuden und einem Gebäudeteil sind besonders gut, ein Gebäude und ein Gebäudeteil davon weisen eine natürliche Lüftung auf.

Die in der Befragung gut bewerteten Gebäude sind nicht identisch mit den Gebäuden, die beim haustechnischen Konzept und bei den Grauen Treibhausgasemissionen gut bewertet werden. Kein Gebäude ist in allen vier Bereichen gut bewertet. Ein Gebäude weist in drei Bereichen eine gute Bewertung und in einem Bereich eine mittlere Bewertung auf.

Messungen (4 Gebäude)

- Kurzzeitmessungen: Die Bewertungen für den thermischen Komfort mit geschlossenen Fenstern sind bei den Gebäuden ähnlich, wobei die Bewertungen für jeweils zwei Gebäude im guten oder mittleren Bereich liegen. Grössere Unterschiede ergeben sich bei offenen Fenstern. Im Winter ist die Bewertung bei drei Gebäuden schlecht und bei einem Gebäude im mittleren Bereich. Im Sommer treten gute, mittlere und schlechte Bewertungen auf.
- Langzeitmessungen: Die Raumlufttemperatur wird im Winter besser bewertet als im Sommer (Winter: jeweils zwei Gebäude «gut», bzw. «mittel»; Sommer: Spannweite «gut» bis «schlecht»). Die Raumluftqualität wird im Sommer besser bewertet als im Winter (Sommer: alle Gebäude «gut»; Winter: ein Gebäude «gut», drei Gebäude «mittel»).



Das bei den Messungen am besten bewertete Gebäude erhält bei fünf Messungen eine gute, und bei drei Messungen eine mittlere Bewertung. Das nächstbeste Gebäude hat bei vier Messungen eine gute, dafür aber bei zwei Messungen eine schlechte Bewertung.

Ein ausführlicher Vergleich der low-tech Ansätze der Gebäude findet sich in Kapitel 8.



2 Einleitung

2.1 Ausgangslage und Hintergrund

Low-tech Gebäude geraten immer wieder in den Fokus des fachlichen Diskurses [3]. Gebäude wie beispielsweise das Bürogebäude «2226» in Lustenau (A) der Architekten Baumschlagler Eberle aus dem Jahr 2013 haben den Diskurs und «Nachahmerprojekte» angeregt, da das Gebäude ohne aktive Heizung, Kühlung und mechanische Lüftungsanlage betrieben wird. Als Bestandteil von low-tech Konzepten liegt es nahe, auf komplexe Lüftungstechnik zu verzichten, oder diese wesentlich zu reduzieren. Einem Verzicht auf eine kontrollierte Lüftung stehen bei Büro- und Verwaltungsgebäuden jedoch die folgenden Argumente entgegen:

- In Grossraumbüros ist eine manuelle Lüftung ausschliesslich über die Fenster schwierig (Versorgung fensterferne Bereiche? Zuständigkeit für regelmässige Fensteröffnung? Zugerscheinungen? Unterschiedliche Bedürfnisse der Benutzenden?).
- Dem Betreiber und dem Benutzenden sind die Luftqualität und der Abtransport von Schadstoffen (und Viren) wichtig.
- Der Betreiber und der Benutzende toleriert mögliche Komforteinbussen durch die Fensterlüftung nicht.
- An lärm- und oder schadstoffbelasteten Standorten ist Fensteröffnen nicht erwünscht / möglich.
- Die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung gehen verloren.

Sollen auch hier die Vorteile eines low-tech Konzeptes genutzt werden, so kommen einfache Lüftungssysteme in Frage. Diese Konzepte können z. B. Zuluftöffnungen in der Fassade, ggf. Überströmöffnungen und eine zentrale Fassung für die Abluft enthalten. Wenn die Abluftanlage nicht dauerhaft in Betrieb ist, es eine zeitliche (z. B. Nachtlüftung im Sommer) oder räumliche Differenzierung zwischen natürlicher und mechanischer Lüftung gibt, können diese Konzepte auch als hybride Lüftungen bezeichnet werden. Auch eine natürliche Lüftung über automatisierte Fensterflügel und eine mechanische Abluftanlage für innenliegende Zonen wie z. B. die Sanitärräume ist denkbar. Speziell auch für Sanierungen können die genannten low-tech Lüftungssysteme interessant sein, da hier oftmals rein räumlich die Notwendigkeit besteht, technische Installationen möglichst reduziert zu halten. Reduzierte Lüftungen leisten auch einen Beitrag zum Gebäudepark 2050 [4] und damit zur Energiestrategie 2050. Speziell hervorzuheben sind hier die Reduktion der Grauen Treibhausgasemissionen. Eine reduzierte Lüftungsanlage beinhaltet weniger Installationen und benötigt auch weniger Wartungsaufwand. Die beschriebenen einfachen Lüftungsanlagen sind zwar in aller Munde, im realisierten Zustand sind sie jedoch eher selten anzutreffen. Damit liegen auch wenig Betriebserfahrungen für diesen Anlagentyp vor. Umso wichtiger ist es durch die Untersuchung vorhandener Anlagen Wissen zu bündeln, Querbezüge herzustellen und Betriebserfahrungen zu dokumentieren.

2.2 Projekt

Im Projekt wird untersucht, wie sich einfache (hybride) Lüftungssysteme in der Praxis bewähren und es werden daraus resultierend Planungshinweise für Büro- und Verwaltungsgebäude gegeben. Zu diesem Zweck werden in beispielhaften, realisierten Büro- und Verwaltungsgebäuden in der Schweiz Begehungen, Befragungen und Messungen durchgeführt. Ergänzend werden Berechnungen erstellt. Es sollen so Fragen aus den Bereichen Projektierung (Tabelle 1) sowie Betrieb und Bewirtschaftung (Tabelle 2) geklärt werden. Zusammenfassend werden die Lüftungskonzepte in Bezug auf Nutzerzufriedenheit in Sommer und Winter und den Energiebedarf für die Erstellung und den Betrieb hin bewertet. Das Ergebnis sind Betriebs- und Planungshinweise für den Einsatz hybrider Lüftung in Büro- und Verwaltungsgebäuden für Betreibende, Energieberater:innen, Bauphysiker:innen,



Haustechniker:innen und Architekten:innen als Hauptzielgruppen. Kurz zusammengefasst finden sich die Ergebnisse in Kapitel 1. Auf den Ort der ausführlichen Ergebnisse verweist die Kapitelnummer in den beiden nachstehenden Tabellen.

Tabelle 1: Fragestellungen aus der Projektierung. Verwendete Abkürzungen: MG = Messgebäude, AG = Alle Gebäude. Farbcode: Dunkelgrün = hohe Verlässlichkeit der Aussage, mittleres Grün: mittlere Verlässlichkeit der Aussage, helles grün = geringe Verlässlichkeit der Aussage.

	Begehung	Befragung. Planer	Befragung Benutzende	Messung	Berechnungen
Auslegung					
In welchen Räumen sind Zuluftöffnungen/Lüftungsflügel angeordnet (Grösse / freier Querschnitt)? (AG)	4.2.1				
Wie ist der Faktor der offenbaren Fensterfläche pro m ² NGF und ist ein Vergleich in Bezug auf Luftqualität möglich? (MG)	3.5		5.4	6.3, 6.4	
Wie ist die geplante und tatsächliche Belegung (Fläche und Luftvolumen pro Person)? (MG)					7.1
Wie wurde die Lüftung dimensioniert? (AG)		4.5			
Energiebedarf (Erstellung und Betrieb)					
Wie ist der Energiebedarf von low-tech Lüftungssystemen zu bewerten? (MG)					7.1
Wie gross ist die Einsparung an Grauen Treibhausgasemissionen (THGE)? (AG)					7.2
Welcher Luftwechsel ist mit den Zuluftöffnungen / Lüftungsflügel zu erreichen? (MG)					7.1
Kann ein Zusammenhang zwischen Graue THGE für die Lüftung, den Lüftungswärmeverlusten und der Luftqualität im Winter hergestellt werden? (MG)					8.3

Insgesamt werden im Projekt zehn Gebäude untersucht. Eine Übersicht über die Gebäude zeigt Tabelle 3. Alle Gebäude werden grösstenteils als Büro- und Verwaltungsgebäude genutzt. Fünf Gebäude sind jünger als 10 Jahre und werden damit als Neubauten betrachtet. Fünf Gebäude sind älter als 10 Jahre und damit Bestandsgebäude. Zwei Gebäude davon sind Sanierungen.

Flächenmässig stellt das Gebäude ML_NL_man_Z2 eine Besonderheit dar. Die einzelnen Nutzungseinheiten weisen eine doppelgeschossige Raumhöhe von 5.5 m auf, sodass die Mieter ein Zwischengeschoss einziehen können. Es gibt einen Mitteltrakt, der hauptsächlich über Fenster be- und entlüftet wird. Für alle Bereiche gibt es eine Nachtlüftung über automatisierte Lüftungsflügel. Im linken und rechten Trakt können sich die Mieter an eine zentrale Lüftungsanlage, deren Luft im Winter und Sommer temperiert wird, anschliessen. Zusätzlich gibt es zur aktiven Kühlung die Möglichkeit sich an ein Hochtemperatur-Kältenetz anzuschliessen. Bei der Auslegung der Lüftungsanlage und der Heizung, sowie Kühlung wurden die Zwischengeschosse nicht eingerechnet. Die Anschlussleistung für die Lüftung, Heizung- und die Kühlung ist jeweils begrenzt (Lüftung: 6.5 m³/h pro m², Heizung: 26 W/m², Kühlung: 25 W/m²).



Tabelle 2: Fragestellungen aus dem Betrieb und der Bewirtschaftung. Farbcode: Dunkelgrün = hohe Verlässlichkeit der Aussage, mittleres Grün: mittlere Verlässlichkeit der Aussage, helles grün = geringe Verlässlichkeit der Aussagen.

	Begehung	Befragung- Planer	Befragung Benutzende	Messung	Berechnung
Schäden					
Gibt es Bauschäden im Zusammenhang mit der Lüftung (z. B. Verschmutzung, Schimmel) (AG)	4.1		5.3.1		
Thermischer Komfort					
Gibt es Komfortprobleme im Bereich der Zuluftöffnungen / Lüftungsflügel (AG)	4.2.2		5.4.1	6.1.3	
Wie tief sind die Temperaturen im Raum beim Fensterlüftungsvorgang und wie lange braucht es, bis diese wieder auf wieder auf dem vorherigen Niveau sind? (MG)				6.1.3	
Werden gekühlte und ungekühlte Gebäude von den Benutzenden unterschiedlich bewertet? (AG)			5.9	6.4.1, 6.4.5	
Welche Wirkung wird für den sommerlichen Wärmeschutz durch eine Nachtauskühlung erreicht? (AG)			5.9	6.4.1, 6.4.5	
Sind die Bewertung und die Messung der Raumlufttemperatur konsistent? (MG)			5.9	6.3.6 6.4.5	
Raumluftqualität					
Was gibt es bei CO ₂ -Sensoren zur Steuerung von automatischen Fenstern zu berücksichtigen? (AG)	4.2.2				
Gibt es einen Unterschied bei der Bewertung der Raumluftqualität durch die Benutzenden mit natürlicher und mechanischer Lüftung? (AG)			5.4, 5.8		
Wie ist die Bewertung IDA (CO ₂) in Sommer und Winter mit der derzeitigen Belegung? (MG)				06.4. 3	
Akustischer Komfort					
Gibt es akustische Probleme mit der Anlage und/oder dem Aussenlärm? (MG)	4.4		5.4	6.1.2	
Verhalten Benutzende					
Wie ist die Auswirkung des Lüftungskonzeptes auf das Lüftungsverhalten der Benutzenden? (AG)			5.3		
Lüftungssystem					
Unterschied Bewertung Lüftungskonzept in Sommer und Winter? (AG)			5.11.1		
Unterschied Bewertung manuelle/automatische Fensteröffnung? (AG)			5.3		



Zwei Gebäude (NL_man_Z4 und ML_NL_man_B1) bestehen aus einem Altbau- und einem Neubauteil. Beim Gebäude ZH-04 ist ein Gebäudeteil Minergie-Eco zertifiziert, hier betrachtet wird aber das Gebäude aus dem Jahr 1963, das im Jahr 2012 saniert wurde. Beim Gebäude ML_NL_man_B1 gibt es zwei Teile. Einen Bestandteil aus dem Jahr 1855, der 2004 saniert wurde, und einen neueren Teil, der im Jahr 2004 errichtet wurde. Beide Gebäudeteile sind Minergie-zertifiziert. Die Angaben in Tabelle 1 beziehen sich beim Gebäude NL_man_Z4 auf den sanierten Gebäudeteil, beim Gebäude ML_NL_man_B1 auf beide Gebäudeteile.

Die Gebäude NL_man_I1 und NL_man_I2 sind nahezu identisch. Daher werden sie im Text meistens unter NL_man_I1+_I2 zusammengefasst.

Tabelle 3: Untersuchungsobjekte (Büro- und Verwaltungsgebäude). Definition Begriff Bestand: das Gebäude ist älter als 10 Jahre. Verwendete Abkürzungen: AP = Arbeitsplatz, EBF = Energiebezugsfläche gem. [5], GF = Geschossfläche (inkl. Konstruktionsflächen) gem. [5], k. A = keine Angabe, * = Energienachweis liegt vor, **= eigene Abschätzung.

Abkürzung	Bualter	Baujahr	Minergie	Anzahl AP	EBF (m ²)	Messgebäude
LuBo_Z1	Bestand	2006	ja	200	6'317	nein
ML_NL_man_Z2	Neubau	2019	nein	k. A.	20'677	nein
LuBo_Z3	Bestand	2007	nein	800 - 1000	18'363**	nein
NL_auto_E1	Neubau	2018	nein*	ca. 90	2'698	ja
NL_auto_L1	Neubau	2015	nein	80	3'201	nein
NL_auto_M1	Neubau	2020	?	180	3'531**	ja
NL_man_Z4	Bestand / Sanierung	1963 / 2012	nein	400	4'518	nein
FeLue_R1	Neubau	2016	ja, P*	20 - 25	1'736	nein
NL_man_I1	Bestand	2005	nein	216	4'218	nein
NL_man_I2	Bestand	2005	nein	399	7'987**	ja
ML_NL_man_B1	Bestand / Sanierung	1877 / 2004	ja	180+84	9'972	ja

Der Begriff low-tech wird im vorliegenden Projekt so verstanden, dass es bei den Lüftungssystemen Ansatz der Planung war, auf komplexe Lüftungstechnik zu verzichten oder diese gezielt zu reduzieren. In welchem Aspekt das Lüftungskonzept der Gebäude jeweils reduziert wurde, wird in Kapitel 4.3.1 erläutert.



3 Vorgehen

3.1 Gebäudeauswahl

Die Gebäude werden im Rahmen des Projektes über Kontakte zu Haustechnikplanern, Architekten, und Behörden ausgewählt. Bei allen Gebäuden sind gemäss Übereinkunft mit den Betreibenden die Untersuchungsergebnisse anonymisiert zu präsentieren. Die Benennung der Gebäude orientiert sich daher am Lüftungskonzept für den hygienischen Luftwechsel und dem ersten Buchstaben für den Standort. Die verwendeten Abkürzungen für das Lüftungskonzept finden sich im Abkürzungsverzeichnis.

3.2 Verständnis Planungskonzept

3.2.1 Gebäudebegehungen

Die Begehungen umfassen pro Gebäude einige Büros und die Technikräume und finden im Zeitraum 16.02. bis 05.05.2023 statt. Mit einem standardisierten Begehungsprotokoll wird das grundsätzliche Lüftungsprinzip festgestellt, es werden, sofern vorhanden, die Lüftungsflügel für die Nachtlüftung ausgemessen und überprüft, ob im Zusammenhang mit der Lüftung Bauschäden auftreten.

3.2.2 Befragung Planende

Die Fragen zur Lüftungsplanung werden entweder per Telefon oder Mail im Zeitraum Juni – Juli 2023 gestellt. Es werden die folgenden Fragen gestellt:

- Wie wurden Sie als Planer:in in den Planungsprozess integriert (z. B. ab/bei welcher SIA-Phase)?
- Wie wurde die Lüftung dimensioniert? Welche Planungsinstrumente (Normen, Excel-Tabellen, Simulationsinstrumente) wurden in welcher Planungsphase verwendet?
- Mit welchen internen Lasten wurde geplant?
- Wie wurde mit dem Thema Lärmschutz im Zusammenhang mit der Fensterlüftung umgegangen?
- Gibt es eine Nutzungsvereinbarung?
- Wie wurde die Abnahme der Lüftungsanlage / des Lüftungskonzeptes gestaltet?

3.3 Befragung Benutzende

3.3.1 Durchführung Befragung Benutzende

Die Befragung wird online über das Programm Enterprise Feedback Suite Survey (EFS, Version 22.2) [6] durchgeführt und der Link zu der Befragung wird am 08.01.2024 verteilt. Die Benutzenden haben jeweils zwei Wochen Zeit den Fragebogen zu beantworten. Abweichend davon wird beim Gebäude FeLue_R1 der Link am 12.01.24, beim Gebäude ML_Z2 am 30.01.24, beim Gebäude LuBo_Z3 am 24.01.24, beim Gebäude NL_man_Z4 am 15.01.24 verschickt. Der Beantwortungszeitraum für alle Fragebögen liegt somit zwischen dem 08.01. und dem 15.02.2024.

Im Sommer wird der Link zur Befragung am 26.08.2024 verschickt. Beim Gebäude FeLue_R1 wird er am 09.09.2024 an die Befragten weitergeleitet, beim Gebäude ML_Z2 am 12.09.2024. Der Beantwortungszeitraum für alle Fragebögen liegt somit zwischen dem 26.08. und dem 20.09.2024.

Im Gebäude NL_auto_L1 wird keine Befragung durchgeführt, da zeitgleich eine interne Befragung stattfindet.



3.3.2 Aufbau des Fragebogens und statistische Methoden zur Auswertung

Der Fragebogen umfasst im Winter 24, im Sommer 21 Fragen (siehe Tabelle 5). Die Teilnahme an der Befragung ist anonym. Fragen, die die Benutzenden 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 z. B. die Fragenkomplexe 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. Unter der Bedingung, 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 [7]. 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 lüftungsbezogenen Merkmalen, werden Zeiträume (6-10 Minuten, 10-20 Minuten) oder Räume (Büro, Teeküche) als Antwortmöglichkeit gegeben. Die Daten sind damit nominalskaliert. Bezogen auf Tabelle 5 betrifft dies z. B. 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 wird gemäss [8] vorgenommen und ist in Tabelle 4 aufgeführt. 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 4: Effektgrössen bei verschiedenen Tests. In Tabellen im Kapitel 5 ist die Effektgrösse mit der gleichen Farbe hinterlegt wie in dieser Tabelle.

Test	Quelle	Effektgrösse			
		sehr schwach	schwach	mittel	stark
Korrelationskoeffizient Kendall-Tau-b (τ_b)	[8]	> 0 bis 0.2	> 0.2 bis 0.4	> 0.4 bis 0.6	
t-Test, Berechnung Effektstärke mit Cohen's d»	[9]		> 0 bis 0.2	> 0.2 bis 0.5	> 0.5 bis 0.8
Mann-Whitney-U-Test und Wilcoxon-Test, Effektstärke mit Korrelation r	[9]		< 0.1	> 0.1 bis 0.3	> 0.3 bis 0.5



Tabelle 5: Struktur des Fragebogens. Verwendete Abkürzungen: fA = freiwillige Angabe, W = nur im Winter abgefragt, S = nur im Sommer abgefragt.

1. Bürobezogene Merkmale	Anzahl Personen im Büro (fA) Stockwerk Anzahl Jahre Arbeit im Gebäude Schimmelpilz (W)
2. Informationsfluss	Über Lüftungskonzept Erwünschtes Lüftungsverhalten
3. Zufriedenheitsparameter	Wohlbefinden bei Beantwortung der Fragen Mit Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz (W) Mit Lüftungskonzept Wunsch nach mehr Einfluss auf Lüftung
4. Lüftungsverhalten	Häufigkeit / Art manuelle Lüftung Einstellung Lüftungsvorrichtung Nutzung Nachtlüftungsfunktion (S)
5. Thermischer Komfort, Innenraumlufthqualität und akustischer Komfort	Luftfeuchte Temperatur Innenraumlufthqualität Zugluft Geräusche von aussen oder Abluftanlage

Um zu überprüfen, ob die Mittelwerte zweier Gruppen (z. B. Mittelwert der Grundgesamtheit und Mittelwert Gebäude x) gleich sind, wird der Zweistichproben-t-Test verwendet. Die Nullhypothese lautet immer, dass die Varianzen gleich sind. Das Signifikanzniveau wird auf 0.05 festgelegt. Ist die Signifikanz tiefer als dieser Wert wird die Nullhypothese verworfen und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten beider Gruppen. Das Ergebnis des Tests hängt davon ab, ob die Varianzen beider Gruppen homogen oder heterogen sind. Dies wird bei den Ergebnissen in diesem Bericht ausgewiesen. Eine Voraussetzung für den t-Test ist, dass die untersuchten Gruppen entweder $N \geq 30$, oder normalverteilt sind. Dies wird mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Ist dies nicht der Fall, wird der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Um die Bedeutsamkeit der Ergebnisse beider Tests zu beurteilen, werden die Effektstärken berechnet. Für den t-Test wird hier «Cohen's d» verwendet für den Mann-Whitney-U-Test wird die Korrelation r berechnet (beide Formeln siehe Abkürzungsverzeichnis). Die Beurteilung ist entsprechend [9] in Tabelle 4 aufgeführt. Wenn die Mittelwerte eines Parameters im Sommer und im Winter miteinander verglichen werden sollen, wird auch der Zweistichproben-t-Test verwendet.

Bei der Befragung der Benutzenden ist insbesondere die Frage nach der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept wichtig. Um diese einschätzen zu können, wird im Fragebogen die folgende Frage gestellt «Würden Sie ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen?». In den Auswertungen wird diese Frage als «Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept» bezeichnet.

Im Text werden in der Regel die folgenden Angaben gemacht:

- Mittelwert / Median 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.

Bei der Auswertung werden die in Tabelle 3 genannten Gebäudekennungen verwendet.

3.3.3 Gruppierungen der Ergebnisse

Die Befragungsergebnisse werden auf fünf Ebenen ausgewertet (zu den Lüftungssystemen siehe Tabelle 79 im Anhang):

Gesamt I

Auf dieser Ebene geht es um die Grundgesamtheit aller Befragten.

- alle 9 Gebäude. Anzahl Antworten Winter / Sommer (N) = 553 / 459

Differenzierung nach Lüftungsprinzip II

Auf dieser Ebene geht es um die Möglichkeit der Fensteröffnung und Lüftung.

- natürliche Lüftung: NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_auto_M1, NL_man_Z4, FeLue_R1, NL_man_I1+_I2, NL_man_B1 (Gebäudeteil Altbau, Einzelbüros mit Fenstern). $N = 411 / 400$
- mechanische Lüftung mit Zu- und Abluft: (LuBo_Z1, ML_Z2 (Fenster potentiell offenbar), LuBo_Z3, ML_B1 (Gebäudeteile ohne offenbare Fenster). $N = 142 / 59$

Differenzierung nach Lüftungskonzept III

Auf dieser Ebene geht es um die Beurteilung des Lüftungskonzeptes.

- Natürliche Lüftung (ohne Fensterlüfter FeLue_R1): NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_auto_M1, NL_man_Z4, NL_man_I1+_I2, NL_man_B1 (Ein- und Zweipersonenbüros mit manuell öffnbaren Fenstern). $N = 403 / 391$

Wenn Differenzierung nach Fensteröffnung manuell / automatisch:

Natürliche Lüftung über automatische Fensterlüftung tagsüber: NL_auto_E1, NL_auto_M1. $N = 79 / 87$

übrige mit manueller Fensterlüftung: $N = 324 / 304$

- Luftbox: LuBo_Z1, LuBo_Z3. $N = 68 / 11$
Achtung: LuBo_Z3: $N = 3 / 2$
- ML mit Zu- und Abluft (Zuluft eintritt im Raum): ML_Z2 ($N = 24$, manuelle Lüftung möglich, ML_B1 ($N = 50$, Büros und Grossraumbüros ohne manuell öffnbare Fenster). $N = 74 / 48$
- Fensterlüfter (FeLue_R1). $N = 8 / 9$

Differenzierung nach Gebäude IV

Auf dieser Ebene geht es um die Auswertung nach den unterschiedlichen neun Gebäuden. Die Messgebäude sind unterstrichen.

- LuBo_Z1, $N = 65 / 9$
- NL_man_Z2 (NL), $N = 15 / 9$; ML_Z2, $N = 24 / 13$
- LuBo_Z3, $N = 3 / 2$
- NL_auto_E1, $N = 26 / 27$
- NL_auto_M1, $N = 53 / 60$
- NL_man_Z4, $N = 39 / 35$
- FeLue_R1, $N = 8 / 9$
- NL_man_I1+_I2, $N = 247 / 240$



- NL_man_B1, N = 23 / 20; ML_B1, N = 50 / 35

Differenzierung nach Kühlkonzept V

Auf dieser Ebene geht es um die Auswertung nach den Kühlkonzepten der Gebäude im Sommer.

Es ist davon auszugehen, dass die Kälteverteilung über Zuluft, Deckensegel und ergänzend BKT eine höhere Kühlleistung aufweist als eine BKT alleine. Daher wird die Gruppe mit aktiver Kühlung nochmals unterteilt. Bei der passiven Kühlung wird zunächst zwischen manueller und automatischer Nachtlüftung unterschieden. Die automatische Nachtlüftung kann die aktive Kühlung als Massnahme auch ergänzen. Aus der Kombination von aktiver und passiver Kühlung ergeben sich die folgenden Gruppierungen:

- Gebäude mit einer hohen Kühlleistung über aktive Kühlung (Kälteverteilung über Zuluft, Kühlsegel und ggf. BKT) und automatischer Nachtlüftung: ML_Z2. N = - / 13
- Gebäude mit einer hohen Kühlleistung über aktive Kühlung (Kälteverteilung über Zuluft, Kühlsegel und ggf. BKT): LuBo_Z1, LuBo_Z3, NL_man_B1. N = - / 31
- Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung über eine aktive Kühlung mit Geothermie und eine Wärmepumpe (Kälteverteilung über BKT) und automatischer Nachtlüftung: NL_auto_M1, NL_man_I1+_I2. N = - / 300
- Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung über eine aktive Kühlung mit Geothermie und eine Wärmepumpe (Kälteverteilung über BKT): FeLue_R1, ML_B1. N = - / 44
- Gebäude ohne Kühlleistung mit automatischer Nachtlüftung: NL_man_Z2, NL_auto_E1. N = - / 36
- Gebäude ohne Kühlleistung und mit manueller Nachtlüftung: NL_man_Z4. N = - / 35

Informativ zeigt Tabelle 6 die Kühlkonzepte und die Art der Kälteverteilung. Weitere Informationen zum Kühlkonzept finden sich auch im Kapitel 4.2.1.

Informativ: Differenzierung nach Konzept für die Nachtlüftung zur sommerlichen Entwärmung:

- *Gebäude mit automatischer Nachtlüftung: ML_NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_auto_M1 und NL_man_I1+_I2. N = - / 349*
- *Gebäude mit manueller Nachtlüftung: NL_man_Z4. N = - / 35*
- *Gebäude ohne Nachtlüftung: LuBo_Z1, LuBo_Z3, FeLue_R1, ML_NL_man_B1 (da nur in einem Gebäudeteil optional). N = - / 75*



Tabelle 6: Differenzierung Gebäude nach Art der Kälteabgabe für die aktive Kühlung und Art der passiven Kühlung.
 Verwendete Abkürzungen: autom. = automatisch, BKT = Betonkerntemperierung, ERG = ergänzend, G = Geothermische Kühlung, KV = Kälteverteilung; ML = mechanische Lüftung, NL = natürliche Lüftung; WP= Wärmepumpe
 Farbcode: keiner (nur visuelle Unterscheidung).

	Aktive Kühlung				Passive Kühlung			
	Hohe Kühlleistung: Kältemaschine oder GK + WP mit KV über				Mittlere Kühlleistung: GK + WP mit KV über			
	Zuluft Raum	Zuluft auf Gang	Deckensegel	BKT	BKT	ERG: autom. NL	nur autom. NL	nur manuelle NL
LuBo_Z1	x			x				
NL_man_Z2							x	
ML_Z2	x		x	x		x		
LuBo_Z3	x		x					
NL_auto E1							x	
NL_auto_M1					x	x		
NL_man_Z4								x
FeLue_R1					x			
NL_man_I1					x	x		
NL_man_I2					x	x		
NL_man_B1 ¹		x						
ML_B1 ²					x			
N Sommer	44				344		71	
N Sommer	388							

¹ = mit manuell öffnbaren Fenstern, N = 20

² = Büros und Grossraumbüros ohne manuell öffnbare Fenster, N = 35



3.4 Messungen und Messgebäude

Das Messkonzept basiert auf dem Konzept des Projektes FENLEG [10] und wird entsprechend den gemachten Erfahrungen angepasst. Das Messkonzept beinhaltet Kurzzeitmessungen und Langzeitmessungen während des Winters 2023/2024 und im Sommer 2024. Aus der Gruppe der zehn Gebäude werden vier Messgebäude ausgewählt. Eine Übersicht über die Messgebäude zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Messgebäude für Kurzzeit- und Langzeitmessungen, Verwendete Abkürzungen: NB = Neubau, B = Bestand, NL = Natürliche Lüftung, FLM = Fensterlüftung manuell, FLA = Fensterlüftung automatisch, EA = Einfache Abluft, SiZi = Sitzungszimmer, ZML = Zentrale mechanische Lüftung, OS = Open Space, EBF = Energiebezugsfläche, **= eigene Abschätzung.

Gebäude	Standort	Baujahr	NB / B	Konzept Lüftung	EBF (m ²)
NL_auto_E1	Emmen	2018	N	NL mit FLM und FLA. Pro Fenster ein Flügel FLA. EA in WC	2'698
NL_auto_M1	Murten	2020	N	NL über FLA. ZML nur in Räumen ohne Fenster. SiZi haben einen Ventilator oder Dachfenster	3'531**
NL_man_I1	Ittigen	2005	B	NL: Pro Büroraum 1-3 Flügel für FLM + Flügel für FLA nachts. ZML: WC, SiZi, EG + Lager ZML: WC, SiZi, Cafeteria + Lager	7'987**
ML_NL_man_B1	Bern	1877 / 2004	B	ZML: OS Bereiche und Büroräume ohne Aussenfenster. NL: Büros über FLM (bzw. unter Umständen über offene Bürotür)	9'972

3.4.1 Vorbereitung Messungen

Auswahl Räume

Pro Gebäude werden zwei repräsentative Messräume / Arbeitsplätze für die Langzeitmessung ausgewählt. Bei der Abstimmung mit den Gebäudebesitzern zur Auswahl der Messstandorte sind die folgenden Prioritäten festgelegt: 1. Der Raum/Arbeitsplatz muss belegt sein, 2. die Lüftungssituation ist repräsentativ und 3. Die Solareinstrahlung weicht nicht auffällig vom übrigen Gebäude ab.

NL_auto_E1

- Arbeitsplatz (AP) a im Grossraumbüro 2. Obergeschoss (OG): AP, an dem viel gelüftet wird (Eckplatz).
Begründung für Auswahl: Die Fenster sind über Eck an zwei Fassadenseiten angeordnet, durch eine Querlüftung kann ein höherer Luftwechsel erreicht werden. Bezüglich thermischen Komforts ist die Erwartungshaltung bei diesem Arbeitsplatz eher kritisch, bezüglich Luftqualität (CO₂) eher unkritisch.
- AP b im Grossraumbüro 2. OG: AP zwischen den Lüftungsflügel, an dem wenig gelüftet wird.
Begründung für Auswahl: Potenzielle Probleme bezüglich Luftqualität (CO₂) sind hier erwartbar.

Fensteröffnung AP a und AP b, Bezug Daten über Gebäudeleitsystem: zu einem frühen Zeitpunkt im Projekt wurde ein Bezug zugesichert, leider war dies für das Jahr 2024 nicht möglich.

NL_auto_M1

- AP a in Grossraumbüro 1. OG: Arbeitsinsel für 6 Personen mit hohen internen Lasten.
Begründung für Auswahl: Fokus auf sommerliches Raumklima im Bürobereich mit hohen internen Lasten.



- AP b in Grossraumbüro 1. OG: Arbeitsinsel für 4 Personen (Sitzplatz Technikbeauftragter). Begründung für Auswahl: AP b mit mittleren internen Lasten und Benutzer, der bei Fragen kontaktiert werden kann.

Fensteröffnung AP a und AP b sind identisch, während Wintermessung nach Zeitschaltprogramm, während Sommermessung automatisch nach Temperaturdifferenz.

NL man I1

- AP a: Eckbüro.
Begründung für Auswahl: Fokus auf sommerliches Raumklima im hochverglastem Eckbüro.
- AP b: Büro an Längsseite («Achsbüro»)
Begründung für Auswahl: Standardbüro.

Fensteröffnung AP a und AP b: automatisch öffnender (unterer) Flügel theoretisch aus dem Gebäudeleitsystem ersichtlich, manuell bedienter (oberer) Flügel wird nicht aufgezeichnet. Testweise eigene Erfassung.

ML NL man B1

- AP a (Altbau): Aussenfassadenseitiges Ein-bis Zweipersonenbüro mit Fensterlüftung.
Begründung für Auswahl: Untersuchung Interaktion zwischen Fensterlüftung und Lüftung im Flur, wenn die Tür geöffnet ist.
- AP b (Neubau): Mehrpersonenbüro (kein Eckbüro) mit Fensterlüftung.
Begründung für Auswahl: Sommerliches Raumklima im Standardbüro.

Fensteröffnung AP a und AP b: wird nicht aufgezeichnet, da manuell. Testweise eigene Erfassung.

Für die Kurzzeitmessungen sollten möglichst ähnliche Arbeitsplätze erfasst werden. Abweichungen erklären sich dadurch, dass die Messungen nur an ungenützten Arbeitsplätzen durchgeführt werden können.

Die Räume resp. Arbeitsplätze, in denen die Messungen durchgeführt werden, sind in Kapitel 3.4.4, (Tabelle 13, Tabelle 14) aufgelistet, Schemazeichnungen finden sind im Anhang Kapitel 12.6.

Messkonzept

Das Messkonzept für die Kurzzeitmessungen zeigt Tabelle 8, das für die Langzeitmessungen zeigt Tabelle 9. Bei den Kurzzeitmessungen wird auf die ursprünglich geplante Dichtheitsmessung verzichtet, da die Lüftungssysteme der Gebäude keinen permanenten Unterdruck erfordern. Der erwartete Erkenntnisgewinn ist begrenzt. Auch eine geplante Spurengasmessung in den Grossraumbüros erweist sich als nicht zielführend, da mit der Fensterlüftung eine grosse Fläche geöffnet ist. Die Kurzzeitmessungen erfolgen jeweils zu Beginn der Langzeitmessung.



Tabelle 8: Messkonzept Kurzzeitmessungen. Die Angaben beziehen sich auf den jeweiligen Messtag. Verwendete Abkürzungen: M = eigene Messung, P = Überprüfen mittels Plänen, *Luftmengenmessung bei rein natürlicher Lüftung (über Lüftungsflügel) nicht möglich. SiZi = Sitzungszimmer, S = Sommer, W = Winter.

	NL_auto_M1	NL_auto_E1	NL_man_I1	ML_NL_man_B1
Luftmengenbilanz	P	P	P	P
Prüfung Luftmengenkonzept	**	*	M	M
Flowfinder, W + S	M (SiZi)	M (WC)	M (WC & SiZi)	M
Differenzdruckmessung, W + S	M (SiZi)	M (WC)	M	M
Behaglichkeitsmessung inkl. Dokumentation, W + S	M	M	M	M
CO ₂ -Messung innen / Dokumentation Anwesenheit, W + S	M	M	M	M
CO ₂ -Messung aussen, W + S	M	M	M	M
Dichtheitsmessungen Spurengas/BDM	-	-	-	-
Stellung Sonnenschutz, W + S	Wird während Messung dokumentiert	Wird während Messung dokumentiert	Wird während Messung dokumentiert	Wird während Messung dokumentiert
Schalldruck bei offenem / geschlossenem Fenster bei typischer Situation, W	M	M	M	M
Lärmwerte Strasse	P	P	P	P

Bei den Langzeitmessungen wird die Stellung des Lüftungsflügels (NL_man_I1 und ML_NL_man_B1) und testweise der Türstellung erfasst. Die Messungen in der Winterperiode erfolgen zwischen Januar und Anfang April 2024, die in der Sommerperiode zwischen Ende Juni und Ende September 2024.

Tabelle 9: Messkonzept Langzeitmessungen. Die Angaben beziehen sich auf die jeweilige Messperiode. Verwendete Abkürzungen: AP = Arbeitsplatz, T_i = Innentemperatur, T_e = Aussentemperatur, RH_i = Relative Feuchte innen, RH_e = Relative Feuchte aussen, M = eigene Messung, DGL = Daten aus Gebäudeleitsystem, GL = Gebäudeleitsystem.

	NL_auto_M1	NL_auto_E1	NL_man_I1	ML_NL_man_B1
CO ₂ , T _i , RH _i	1x AP Fenster, M 1x AP Mitte, M	1x AP Fenster, M 1x AP Mitte, M, CO ₂ : theoretisch DGL*	1x AP, M 1x AP, M, 1x AP Grossraum	1x AP, M 1x AP, M, 1x AP Grossraum, M
Stromaufnahme Abluftanlage	M	theoretisch DGL	theoretisch DGL* und Abschätzung	DGL
Öffnung Fenster, resp. Lüftungsflügel	DGL	theoretisch DGL	M	M
Storenstellung	M	n. a. (keine Storen)	M	DGL
Türstellung	-	-	M (testweise)	M (testweise)
T _e , φ _e	M	M	M	M
Sonderuntersuchung		Vergleich der DGL mit Messräumen (T _i , CO ₂ , RH _i : GL)		

* = Daten derzeit nicht verfügbar



3.4.2 Eingesetzte Messtechnik

Tabelle 10 zeigt die im Projekt verwendete Messtechnik. Die Messergebnisse im Bericht werden mit den vom Hersteller angegebenen Messunsicherheiten angegeben.

Tabelle 10: Eingesetzte Messtechnik, Verwendete Abkürzungen: K = Kurzzeitmessung, L = Langzeitmessung, v.M = vom Messwert.

Messung	k/l	Messort	Zeitintervall	Messgerät / HP Nummer (Akkreditierungsnummer)	Messunsicherheit
Volumenstrom (Zu- und Abluft)	K	Mech. Zu- und Abluft Überströmungen	-	FlowFinder 1.08 HP 455	>20 m ³ /h ± 4 m ³ /h 20-50 m ³ /h ± 5%, min. 2 m ³ /h
Druckdifferenz	K	Büro / Aussen	-	DG 700 HP 1.07 HP 216	±1% v.M. resp. ±10.15Pa
Thermische Behaglichkeit (Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad)	K	Arbeitsplatz 1 (eher im Bereich Lüftungsflügel) Arbeitsplatz 2 (eher im geschützten Bereich)	-	Dantec Comfort-Sense 1.18 HP 021 / 022	±0.06 m/s / DR ± 0.2 °C ±0.2K
Schall	K	Am Arbeitsplatz (Fenster zu / Fenster offen)	-	Norsonic 140 SN1404393 1.14 HP 030	Genauigkeitsklasse 1
CO ₂ - Konzentration / Lufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	L	Arbeitsplatz 1 (eher im Bereich Lüftungsflügel) Arbeitsplatz 2 (eher im geschützten Bereich)	1 min.	Opus 116 HP 1xx- 2xx	±50ppm +3% v.M. / ±0.3°C (0..40°C) / ±2% r.H.
Temperatur / Luftfeuchtigkeit	L	Aussen	1 min	MSR 116 HP 2xx – 2xx	±0.2 °C (+5...+45°C) / ±2% r.H. (10..85% r.H. / 0..+40°C)
Fensterlogger	L	Lüftungsflügel resp. Fenster bei den untersuchen Arbeitsplätzen	-*	LoRa	-
Türlogger	L	Türen bei Einzel- resp. Gruppenbüros.	15 min	Tyntag	-
Lichtsensoren	L	In der Nähe der Storen im Bereich der untersuchten Arbeitsplätze	-*	HOBO Pendant MxTemp/light	-
Referenzgas 400.2ppm** CO ₂	L	Validierung Opus Logger (Labor Gebäudetechnik)	-	1.01 HP 070	1% rel. CO ₂ -Konzentration in [ppmMol]
Referenzgas 1000.1ppm** CO ₂	L	Validierung Opus Logger (Labor Gebäudetechnik)	-	1.01 HP 096	1% rel. CO ₂ -Konzentration in [ppmMol]
Referenzgas 1499.7ppm** CO ₂	L	Validierung Opus Logger (Labor Gebäudetechnik)	-	1.01 HP 071	1% rel. CO ₂ -Konzentration in [ppmMol]
Referenzgas 2000.4ppm** CO ₂	L	Validierung Opus Logger (Labor Gebäudetechnik)	-	1.01 HP 068	1.5% rel. CO ₂ -Konzentration in [ppmMol]

* = Bei Veränderung

Zur CO₂ Messung werden Opus Logger verwendet, diese werden jeweils vor und nach der Messung mit Referenzgas validiert. Die dadurch ermittelte Abweichung wird bei den Messdaten entsprechend korrigiert. Der Volumenstrom wird mit einem FlowFinder gemessen (Messeinheit: m³/h).



Ausfälle bei der Messdatenerfassung sind im Bericht gekennzeichnet. Die genaue Verwendung der Messgeräte wird im Kapitel 12.5.1 beschrieben.

3.4.3 Vorgehen bei der Messung

Wintermessungen

- Kurzzeitmessungen: An zwei unbelegten Arbeitsplätzen wird die thermische Behaglichkeit gemessen.
Der Schalldruckpegel wird bei geschlossenem und geöffnetem Lüftungsflügel/Fenster gemessen. Wo vorhanden, werden die Abluftvolumenströme und allfällige Nachströmungen, sowie der zeitweise daraus entstehende Differenzdruck gemessen.
An zwei belegten Arbeitsplätzen wird die CO₂-Konzentration, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet.
- Langzeitmessungen: An zwei Arbeitsplätzen werden die CO₂-Konzentration, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit gemessen. Dabei wird angestrebt, dass einer der Arbeitsplätze eher exponiert ist und sich damit in der Nähe eines Lüftungsflügels befindet, und der zweite Arbeitsplatz eher weiter vom Lüftungsflügel/Fenster entfernt ist. Angesichts durchwegs tiefer Belegungszeiten der Büros wird priorisiert, dass der gewählte Arbeitsplatz eine möglichst hohe Belegungszeit aufweist.
An einem geeigneten Standort (z. B. verschatteter Vorsprung) ausserhalb des Gebäudes werden die Aussentemperatur und die relative Feuchte während der gesamten Messperiode erfasst.

Sommermessungen

Die Sommermessungen werden analog durchgeführt.

- Kurzzeitmessungen: Es entfällt die Messung der Schalldruckpegel
- Langzeitmessungen: Zusätzlich werden die Storestellungen (wo nicht über das Gebäudeleitsystem erfasst) mittels Strahlungssensoren ermittelt.

Thermische Behaglichkeit (Kurzzeitmessung)

Die thermische Behaglichkeit wird mittels der lokalen Raumlufttemperatur, der lokalen Strömungsgeschwindigkeit, der operativen Temperatur, der relative Feuchte und dem resultierenden Turbulenzgrad in Anlehnung an SN EN ISO 7730:2006 [11] gemessen (Abb. 1).

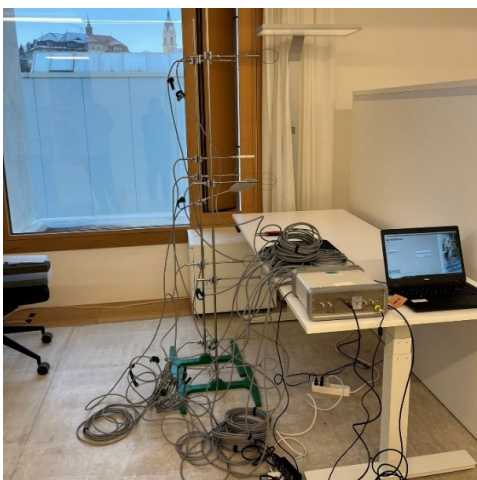


Abb. 1: Behaglichkeitsmessungen.



Die Strömungssonden werden in einem Abstand von 0.5 m vom Fenster- resp. Lüftungsflügel sowie in der Mitte des Arbeitsplatzes, und in vier verschiedenen Höhen, 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m und 1.7 m ab Boden, angeordnet. Auf der Höhe von ca. 1.1 m werden zudem die Feuchtesonde und Sonde zur Messung der operativen Temperatur platziert. Bei allen Messungen sind die Sonden parallel zum Fenster angeordnet.

Schallmessung (Kurzzeitmessung)

Der Schalldruckpegel (dBA) wird nach Möglichkeit (siehe Kap. 6.1.2) am Arbeitsplatz bei geöffnetem (Abb. 3) und geschlossenem Fenster resp. Lüftungsflügel (Abb. 2) gemessen.



Abb. 2: Schallmessung am Arbeitsplatz Fenster geschlossen.

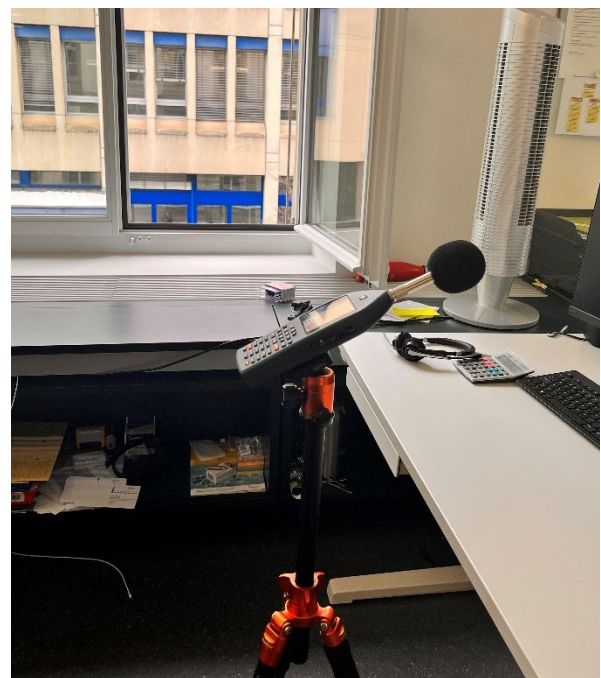


Abb. 3: Schallmessung am Arbeitsplatz Fenster offen.

Volumenstrommessungen Abluft (Kurzzeitmessung)

Falls eine mechanische Lüftung vorhanden ist, werden die Luftvolumenströme (in m^3/h) mit einem FlowFinder gemessen. Falls möglich, werden parallel dazu allfällige Differenzdrücke gegen aussen gemessen.

CO₂- Temperatur- und Feuchtemessung innen und aussen (Kurzzeit- und Langzeitmessung)

Bei der Durchführung der Kurzzeitmessungen werden gleichzeitig die Logger für die Langzeitmessungen installiert.

- Langzeitmessung innen: An zwei Arbeitsplätzen werden CO₂, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet (Abb. 4).
- Kurzzeitmessung aussen: Während der Kurzzeitmessung wird die CO₂-Konzentration ausserhalb der Gebäude aufgezeichnet. Dies dient als Anhaltspunkt für die CO₂-Konzentration der Aussenluft
- Langzeitmessung aussen: Im Aussenbereich wird die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit gemessen (Abb. 5). Für die Auswertung werden die Daten von der



nächstgelegenen Klimastation (MeteoSchweiz, SwissMetNet) verwendet (Tabelle 11). So können Gebäudeeinflüsse vermieden werden, zudem trat bei einem der MSR-Logger während der Wintermessung ein Defekt auf. Die vor Ort Messung dient damit einer internen Kontrolle der Messdaten.



Abb. 4: CO₂-, Lufttemperatur- und Luftfeuchte- Logger.



Abb. 5: Lufttemperatur- und Luftfeuchte- Logger mit Schutzgehäuse. Der Pfeil zeigt die Lüftungsschlitze. Der Standort ist möglichst verschattet.

Fenster- und Türlogger (Langzeitmessung)

- Fensterlogger: Um die Lüftungsvorgänge erfassen zu können, werden bei den Fenstern LoRa-Logger installiert (Abb. 6). Die Logger zeigen jeweils die Veränderung an, wenn das Fenster geöffnet oder geschlossen wird. Die Logger benötigen ein stabiles LoRa-Netz für eine zuverlässige Aufzeichnung, was weitgehend gegeben ist.
- Türlogger: Um die Türstellung zu erfassen, werden bei den Türen Tinytag-Datenlogger installiert (Abb. 7). Die Logger zeichnen in einem 15 min. Messintervall die Türstellung auf.



Abb. 6: Lora-Logger bei einem Fenster.

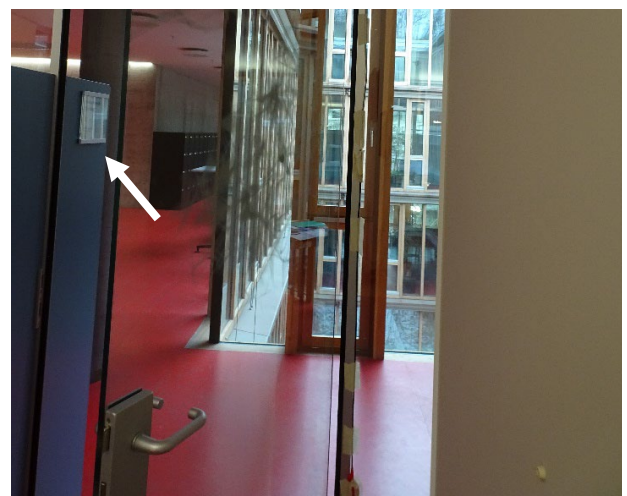


Abb. 7: Tinytag-Datenlogger an einer Bürotür (Pfeil).



Loggen der Storenstellung (Langzeitmessung, Sommer)

Die Storenstellung wird mittels zwei Strahlungssensoren (Luxmeter) ermittelt. Ein Sensor wird vor den Storen (Aussenseite) und der zweite hinter dem Storen montiert. Aus der Differenz der Messung kann ermittelt werden, ob die Storen offen oder geschlossen sind. Beim Gebäude ML_NL_man_B1 werden die Daten vorzugsweise aus dem Gebäudeleitsystem bezogen.



Abb. 8: Messgerät ausserhalb der Storen.



Abb. 9: Messgerät innerhalb der Storen.

Klimadaten (Langzeitmessung)

Die Aussentemperatur, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung werden über die nächstgelegene Klimastation (MeteoSchweiz, SwissMetNet) bezogen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Verwendete Klimastationen.

Abkürzung	Standort	Klimastation
NL_auto_E1	Emmenbrücke	Emmen (8°18'/47°05' / 426müM)
NL_auto_M1	Murten	Löwenberg (7°09'/46°56' / 480müM)
NL_man_I1+_I2	Ittigen	Zollikofen (7°28'/46°59' / 552müM)
ML_NL_man_B1	Bern	Bollwerk (7°26'/46°57' / 535müM)



3.4.4 Messperioden und Messplätze Kurz- und Langzeitmessungen

In Tabelle 12 sind die Messzeiträume für die Wintermessungen und die Sommermessungen (Kurz- und Langzeitmessungen) pro Gebäude dargestellt.

Eine Beschreibung der Messorte für die Kurzzeitmessung zeigt Tabelle 13. Eine grafische Dokumentation der Messorte findet sich im Anhang 12.6.1.

Die Langzeitmessungen (Tabelle 14) werden nicht an den gleichen Arbeitsplätzen wie die Kurzzeitmessungen durchgeführt, es werden aber wenn möglich vergleichbare Arbeitsplätze gewählt. Um die Messstandorte zu unterscheiden, wird hier für die beiden Arbeitsplätze der Index a und b verwendet. In der Sommermessung werden dieselben Arbeitsplätze untersucht wie in der Wintermessung. Die grafische Dokumentation der Messorte findet sich im Anhang 12.6.2.

Tabelle 12: Übersicht der Messzeiträume Winter- und Sommermessungen über alle Gebäude.

Kürzel	Standort	Messung	Zeitraum Winter	Zeitraum Sommer
NL_auto_E1	Emmen	Kurzzeitmessung	09.01.2024	27.06.2024
		Langzeitmessung	09.01. - 24.04.2024	27.06. - 12.09.2024
NL_auto_M1	Murten	Kurzzeitmessung	19.01.2024	28.06.2024
		Langzeitmessung	19.01. - 02.04.2024	28.06. - 02.10.2024
NL_man_I1*	Ittigen	Kurzzeitmessung	11.01.2024	20.06.2024
NL_man_I2		Langzeitmessung	11.01. - 03.04.2024	20.06. - 02.10.2024
NL_man_B1	Bern	Kurzzeitmessung	12.01.2024	14.06.2024
		Langzeitmessung	12.01. - 03.04.2024	14.06. - 02.10.2024

* Die Messung wird in IT_01 durchgeführt (die Gebäude sind nahezu baugleich)

Tabelle 13: Übersicht Messorte Kurzzeitmessungen.

Standort	Arbeitsplatz	Beschreibung Lage Arbeitsplatz
Emmen	NL_auto_E1_1	Direkt neben Lüftungsflügel
	NL_auto_E1_2	Zwischen zwei Lüftungsflügeln
Murten	NL_auto_M1_1	Direkt neben Lüftungsflügel
	NL_auto_M1_2	ca. 2.2 m von Lüftungsflügel entfernt
Ittigen*	NL_man_I1_1	Zweipersonenbüro
	NL_man_I1_2	Sitzungszimmer, Platz am Fenster
Bern	NL_man_B1_1	Einzelbüro, Neubau
	NL_man_B1_2	Mehrpersonenbüro, Altbau



Tabelle 14: Ergänzende Beschreibung Messpunkte, Langzeitmessungen. Die Messdauer findet sich in Tabelle 12.

Kürzel	Standort	Messpunkt	Beschreibung Arbeitsplatz
E1	Emmen	NL_auto_E1_a	Direkt neben Lüftungsflügel (analog zu Kurzzeitmessung)
		NL_auto_E1_b	Zwischen zwei Lüftungsflügeln (analog zu Kurzzeitmessung)
M1	Murten	NL_auto_M1_a	Grossraumbüro, Westfassade
		NL_auto_M1_b	Grossraumbüro, Eckbüro NW
I1 + I2	Ittigen	NL_man_I1_a	Zweipersonenbüro (vergleichbar mit Büro Kurzzeitmessung)
		NL_man_I1_b	Mehrpersonenbüro, Ecke Süden
		NL_man_I1_c	Korridor vor Eckbüro
		NL_man_I1_d	Korridor vor Zweipersonenbüro (Messung nur im Sommer)
B1	Bern	NL_man_B1_a	Einzelbüro, Neubau (analog zu Kurzzeitmessung)
		NL_man_B1_b	Mehrpersonenbüro, Altbau (analog zu Kurzzeitmessung)
		ML_auto_B1_c*	«open space» Büro (mech. Lüftung)
		NL_man_B1_d	Korridor vor Einzelbüro Neubau

(* deutlich verkürzte Messung im Winter aufgrund von Messausfall)

3.4.5 Auswertung der Messungen

Nutzungszeiten

Die Messungen werden nur zu Belegungszeiten der Gebäude Montag bis Freitag zwischen 08:00 und 17:00 Uhr ausgewertet (Kernarbeitszeiten in den untersuchten Gebäuden).

Normenbezug

Alle Messgebäude sind mit einer manuell oder automatisch betriebenen Fensterlüftung ausgerüstet. In der Schweiz gibt es zurzeit keine gültige Norm, die sich auf natürliche und hybride Lüftungssysteme bezieht. Für Berechnungen, die die natürliche Lüftung betreffen, wird daher SN EN 16798/7:2017 zu Grunde gelegt. Für die Kategorisierung des Raumklimas und der Raumluftqualität wird SIA 382/1 angewendet, obwohl sich diese Norm strenggenommen nur auf mechanische Lüftungen bezieht.

Wenn es um Fragen der Planung geht, bezieht sich der Bericht auf die zum Zeitpunkt der Erstellung der Gebäude gültigen Normen:

- SIA 382/1:2014 «Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemein Grundlagen und Anforderung» [12]
- SIA 180:2014 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» [13]
- SIA 380/1:2016 «Heizwärmebedarf» [14]

Für einige Fragestellungen ist jedoch ein einheitlicher Vergleich aller Gebäude sinnvoller. In diesem Fall sind der Bezug aktuelle Normen (z. B: SN EN 16798/7:2017 oder SIA 382/1:2025 [1]).

Annahmen und Grenzwerte für die Auswertung

Eine Übersicht zeigt Tabelle 15, ausführliche Informationen finden sich im Anhang 12.7.



Tabelle 15: Annahmen und Grenzwerte für die Auswertung. Verwendete Abkürzungen: ML = mechanische Lüftung, NL = natürliche Lüftung.

	Einheit	Wert	Kommentar	Normenbezug
Thermische Behaglichkeit				
Höhe Messsonde sitzende / stehende Person (Kopf, Unterleib, Knöchel)	m	1.1 / 1.7; 0.6 / 1.1; 0.1 / 0.1		SN EN ISO 7726:2001
Annahme Bekleidungsfaktor Winter / Sommer	clo	1.0 / 0.8	-	SIA 180:2014
Energieumsatz, metabolische Rate, sitzend / stehend	met	1.2 / 1.6	-	
Lokale Behaglichkeit Zugluft			Getrennte Betrachtung ML und NL, Schaubild siehe Anhang 12.7	SIA 180:2014, Figur 5
Optimal empfundene Temperatur Winter (clo 1.0) / Sommer (clo 0.8)	°C	21 ± 2 °C / 23 ± 2 °C	Mit metabolischer Rate von 1.2, Schaubild siehe Anhang 12.7	SIA 180:2014, Figur 6
Lufttemperatur, z: B (Winter / Sommer)	°C		Werte für den Sommer gelten für Gebäude mit Kühlung. Mass an Erwartung	SIA 382/1:2025
IEQ _I (RT)		21.1-23.1 / 23.8 – 25.2	hoch	
IEQ _{II} (RT)		19.8-24.4 / 22.9 – 26.1	mittel	
IEQ _{III} (RT)		18.8-25.3/ 22.2 – 26.8	moderat	
IEQ _{IV} (RT)		17.4-26.6/ 21.3 – 27.7	niedrig	
Relative Raumlufffeuchte	%	30 – 70	-	SIA 180:2014
CO ₂ -Konzentration (IDA (CO ₂))	ppm		korrigiert auf Aussenluftkonzentration von 450 ppm % Unzufriedene	SIA 382/1:2025
IDA 1 (CO ₂)		>450...≤ 1000	≤ 17 %	
IDA 2 (CO ₂)		>1000...≤ 1250	> 17...≤ 23	
IDA 3 (CO ₂)		>1250...≤ 1800	> 23...≤ 34	
IDA 4 (CO ₂)		>1800	> 34	



	Einheit	Wert	Kommentar	Normenbezug
Klassifizierung thermische Behaglichkeit, PPD-Index / PMV-Index IEQ _I (GTC) IEQ _{II} (GTC) IEQ _{III} (GTC) IEQ _{IV} (GTC)	-	 < 6 / -0.2 < PMV < +0.2 < 10 / -0.5 < PMV < +0.5 < 15 / -0.7 < PMV < +0.7 < 25 / -1.0 < PMV < +1.0		SIA 382/1:2025
Klassifizierung lokale Unbehaglichkeit, Draught Rate / Vertikaler Temperaturunterschied IEQ _I (LDC) IEQ _{II} (LDC) IEQ _{III} (LDC)	%	 < 10 / < 3 < 20 / < 5 < 30 / < 10		SIA 382/1:2025
Akustik (Lärmempfindlichkeit mittel)				
Dauergeräusche gebäudetechnische Anlagen	dB	28 (Einzel- und Gruppenbüro, Lärmempfindlichkeit mittel) 33 (Sitzungszimmer, Lärmempfindlichkeit mittel)	z. B. Ventilatoren, automatisch Fensteröffnung	SIA 181:2020, Tabelle 6, SIA 2024:2021, Tabelle 12



3.5 Abschätzung Lüftungswärmeverluste und Luftwechselrate Winterhalbjahr

Eine vollständige Berechnung des Heizenergiebedarfs infolge Fensterlüftung erfordert eine dynamische Gebäudesimulation, mit der die thermische Speichermasse der Räume, solare und interne Wärmeeinträge sowie zeitlich variable Luftwechselraten berücksichtigt werden können.

Im vorliegenden Projekt ist eine solche dynamische Abbildung nicht Teil des Auftrages. Stattdessen werden die Lüftungswärmeverluste vereinfacht als sensible Wärmeverluste auf Stundenbasis in Anlehnung an SIA 380/1 berechnet. Ziel dieser Vorgehensweise ist der vergleichende Überblick über die Grössenordnung der Lüftungswärmeverluste zwischen den untersuchten Gebäuden sowie zwischen Variante 1 «mit Standardbelegung» und Variante 2 «mit realer Nutzung».

Der Lüftungswärmeverlust wird vereinfacht in Anlehnung an SIA 380/1:2016 [14], Ziffer 3.5.5 und Anhang D (Formel 1) berechnet.

$$Q_V = (T_i - T_a) \cdot c_s \cdot q_{th} \tag{1}$$

Dabei sind:

- T_i und T_a : Innen- und Aussenlufttemperaturen, in °C.
- c_s : Wärmespeicherfähigkeit der Luft (0.32 Wh/(m³·K)), in Wh/(m³·K).
- q_{th} : thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, in m³/h.

Für die vorgängige Abschätzung der minimal erforderlichen Luftmenge werden Auslegungsparameter wie die Nettogeschossfläche pro Person in Abhängigkeit von der Nutzung aus SIA 2024:2021 [15] verwendet.

Die Abschätzung wird wie folgt vorgenommen:

- Berechnung Lüftungswärmeverluste gemäss Formel (1)
- Aussenluftvolumenstrom: Dieser wird nach SN EN 16798/7:2017 [16] mit der Formel für einseitige Fensterlüftung berechnet.
- Der Heizgrenzwert wird bei 14 °C Aussenlufttemperatur festgelegt. Bei Aussentemperaturen > 14 °C entstehen keine Lüftungswärmeverluste.
- Für sitzende Tätigkeiten ist gemäss SIA 180:2014 [13] mit einer CO₂-Emissionsrate von 18 l/h zu rechnen.
- Die Raumlufttemperatur wird mit 22 °C angenommen.

Die für die Berechnung verwendeten Parameter der jeweiligen Büros sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Verwendete Rahmenbedienung pro Gebäude.

	Raumvolumen Büro [m ³]	Anzahl Fenster	Fläche der lichten Fensteröffnung [m ²]	Öffenbare Lüftungsfläche pro NGF [%]	Wetterstation
NL_auto_E1 ¹⁾	972	20	0.46	2.7	Luzern
NL_auto_M1 ¹⁾	3091	22	0.41	1.0	Payerne
NL_man_I1_a	49	1	0.64	3.5	Zollikofen Bern
NL_man_I1_b	67	3	0.64	7.9	Zollikofen Bern
NL_man_B1_a	30	1	0.64	5.3	Zollikofen Bern
NL_man_B1_b	76	2	0.94	7.8	Zollikofen Bern

¹⁾ Grossraumbüro; kombinierte Betrachtung der gesamten Bürofläche

Normative Nutzung:

Zur Abschätzung wird eine einfache Berechnung im Stundenintervall über das Winterhalbjahr durchgeführt (15.10.- 14.05.). Zur Abbildung der Wittereinflüsse werden die Wetterdaten der jeweils



nächstgelegenen Messstationen herangezogen (siehe Tabelle 16). Im ersten Schritt werden die Lüftungswärmeverluste bei einem Lüftungsverhalten ermittelt, das eine mittlere Luftqualität (IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm) sicherstellt, wobei eine Überschreitung von 5 % über die gesamte Winterperiode akzeptiert wird. Es wird die Standardbelegung gemäss SIA 2024:2021 [15] mit den zugehörigen Personenbelegungsprofilen (Grossraumbüro und Einzel- und Gruppenbüro) zugrunde gelegt.

Reale Nutzung:

Im zweiten Schritt werden die Lüftungswärmeverluste basierend auf den messtechnisch erfassten Lüftungsvorgängen im Winterhalbjahr berechnet.

3.6 Graue Treibhausgasemissionen

Das Ziel ist es, die Grauen Treibhausgasemissionen (THGE) des Lüftungskonzeptes zu ermitteln. Da bezogen auf den thermischen Komfort auch die Speichermassen des Gebäudes eine Rolle spielen, werden bei der Berechnung auch die Gebäudehülle und die innenliegenden Wände, Böden und Decken berücksichtigt. Für Gebäude mit ähnlicher Geschossaufteilung innerhalb des/der Baukörper wird das folgende Vorgehen gewählt:

- Berechnung einer charakteristischen Etage mit den Konstruktionen aller Aussen- und Innenwände. Einrichtung und Beleuchtung werden nicht berücksichtigt.
- Multiplikation dieser Etage mit der Anzahl der oberirdischen Geschosse
- Berücksichtigung Dachkonstruktion
- Berechnung des Kellergeschosses

Dieses Vorgehen wird für die Gebäude LuBo_Z1, ML_NL_man_Z2, LuBo_Z3, NL_auto_E1 und NL_man_I1+_I2 gewählt.

Bei den Gebäuden NL_auto_M1, FeLue_R1 und ML_NL_man_B1 müssen die Stockwerke individuell berechnet werden, da sie zu unterschiedlich sind. Für das Gebäude NL_auto_L1 liegt eine Berechnung aus der Studie [17] vor. Diese Daten werden übernommen.

Die Gebäudehülle wird mit dem Programm Enerweb, mit dem Modul «Erstellung (Eco), Version 3.0 berechnet. Die Grunddaten basieren auf den «Ökobilanzdaten im Baubereich»[18]. Die Lebensdauer der einzelnen Bauteile werden gemäss SIA 2032:2020 [19] angenommen. Für die Gebäudetechnik werden Daten aus [20], [21] und aus [22] verwendet.

Als Berechnungsgrundlage stehen Pläne und bei drei Gebäuden auch Minergienachweise (ML_NL_man_B1, FeLue_R1 und NL_auto_E1) zur Verfügung. Der Detaillierungsgrad der Pläne ist unterschiedlich. Getroffene Annahmen sind gebäudespezifisch in Tabelle 17 ausgewiesen.



Tabelle 17: Gebäudespezifische Besonderheiten bei der Berechnung der Grauen Treibhausgasemissionen (THGE).

	LuBo_Z1	ML_NL_man Z2*	LuBo_Z3	NL_auto_E1	NL_auto_L1	NL_auto_M1	Felue_R1	NL_man_I1	ML_NL_man B1
Gründung									
Standardbodenplatte + Gründung gem. SIA 2032	x								x
Fundament anhand von Plänen abgeschätzt		x	x	x	x	x	x	x	
Gebäude									
Dämmung Dach unbekannt, EPS verwendet		x	x						
Aufbau Dach: Dämmschichtdicke (und ggf. Typ) gem. Plan, Bituminöse Abdichtung, Kies	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kein Keller				x	x	x			
Dämmung Keller: unbekannt, XPS verwendet		x	x						
EG teilweise an Erdreich angrenzend						x			
Sonnenschutz gem. Plan	x	x	x			x	x	x	x
Dachfenster nicht berücksichtigt				x					
Lüftung									
LuBo Boxen als Einzelraumlüfter ([20], ID 32.010), Leitungen als Heizungsleitungen gem. [23]	x		x						
Automation Fenster nicht berücksichtigt		x		x	x	x		x	
Opake Lüftungsklappe mit Vakuumdämmung (Daten nicht verfügbar: Aerogel angenommen)				x					
Aussenluftdurchlasselemente nicht berücksichtigt							x		
Luftverteilung Zu- und Abluft anhand Luftmengen gem. [24], Abb. 44		x*				x		x	x
Individuelle Berechnung Abluftkanäle mit Daten aus [23]	x		x						
Luftbehandlungsgerät gem. [20], (Teilbereiche)		x*				(x)		(x)	x*
Einzelraumlüfter	x		x						
Kühlung									
BKT, Verlegeabstand 15 cm [25]	x					x	x	x	x
Kühldecken, ca. 1/3 der Deckenfläche belegt.		x*	x						

* = bei diesem Gebäude gibt es einen natürlich belüfteten Teil. Bei diesem fehlen die mit «*» gekennzeichneten Einrichtungen.



Tabelle 18: Annahmen für die Berechnung der Grauen Treibhausgasemissionen (THGE).

	Einheitliche Annahme für alle Gebäude	Individuelle Berechnung pro Gebäude	Nicht berücksichtigt
Sanitär	«Sanitäreanlagen Büro einfach» ([20], ID 33.001)		
Elektroanlage	«Elektroanlagen Büro» ([20], ID 34.002)		Aufzüge
Wärme- Kälteerzeugung	«Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m ² » ([20], ID 31.002) Ausnahme: NL_auto_E1 und NL_auto_L1 verfügen über keine Heizung		Kälteerzeugung (z. B. Kältemaschine)
Nutzung Erdreich als Wärme- / Kältequelle			Erdwärmesonden (Wärmequelle und Geocooling)
Wärme-/ Kälteabgabe	Wärmeverteilung und Wärmeabgabe Bürogebäude ([20], ID 31.022). Ausnahme: NL_auto_E1 und NL_auto_L1. Wenn BKT, dann keine pauschale Wärmeabgabe.	Kälteabgabe (z. B. BKT, Deckensegel, Daten gem. [23]).	
		BKT (wenn zur Gebäudekühlung verwendet). Verlegeabstand 15 cm [25]	
Stromerzeugung			PV-Anlagen
Lüftung	Einfache Abluftanlage WC ([20], ID 32.003)	Luftverteilung bei Abluftanlagen: Berechnung anhand der Kanallänge und Daten aus [23] (keine Biegungen etc. berücksichtigt). Luftverteilung bei Zu- und Abluftanlagen: Abschätzung Graue THGE über Luftmengen mittels Abb. 44 aus [24], (Basis 10 Lüftungsanlagen aus [23]). Luftbehandlungsgeräte: Auswahl gemäss Luftmenge aus [18], Abzug Luftverteilung.	Fensterlüfter, Fensterantriebe.
Sonnenschutz		Sonnenschutztyp	



Insbesondere bei der Gebäudetechnik werden bei der Berechnung einheitlich für alle Gebäude gewisse Annahmen getroffen. Diese zeigt Tabelle 18. Danach ist die Systematik wie folgt:

- Wärme: die Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe wird über einheitliche Pauschalwerte berücksichtigt.
Ausnahme: Wärmeabgabe über Betonkerntemperierung (BKT) wird gebäudespezifischer berücksichtigt.
- Kälte: Wird das Gebäude gekühlt, wird die Kälteerzeugung aufgrund fehlender gebäudespezifischer Daten zu Grauen THGE nicht berücksichtigt (z. B. fehlen Angaben zur Anzahl und Länge von Erdsonden). Die Kälteabgabe wird gebäudespezifisch berechnet. Wird zur Kälteabgabe BKT verwendet, wird dies über die Wärmeabgabe (siehe oben) berücksichtigt. Die entsprechenden Gebäude sind in Tabelle 17 ausgewiesen.
- Bei der Lüftungsanlage, als Kombination aus Luftbehandlungsgerät, Luftkanälen und Luftdurchlässen werden die Luftkanäle projektbezogen berechnet. Da für die Luftbehandlungsgeräte der einzelnen Gebäude zu wenig genaue Angaben vorliegen, um diese gebäudespezifisch ermitteln zu können, wird das folgende Vorgehen gewählt: Aus [20] werden pauschale Angaben für Lüftungsanlagen je nach spezifischer Luftmenge entnommen. Von diesem Wert werden für eine Differenzierung zwischen Geräten und Luftkanälen die Luftkanäle abgezogen. Für die Luftboxen werden Einzelgeräte aus [20] angenommen. Luftdurchlässe und mechanische Antriebe für Fenster werden nicht berücksichtigt, da keine Angaben vorliegen. Bei Gebäuden mit einer Abwärmenutzung (AWN) z. B. über eine Wärmepumpe, werden die Grauen THGE für diese Geräte nicht berücksichtigt.

Da in der Untersuchung der Fokus auf der Lüftungstechnik liegt und dort wie oben beschrieben Annahmen getroffen werden, sind die entsprechenden Vereinfachungen nachfolgend eingeordnet.

- Gemäss [23] macht der Anteil der Luftverteilung zwischen 58% und 83% der Gesamtmasse und 43% bis 69% der Grauen Energie für die Lüftungsanlagen aus (Werte für die THGE werden nicht angegeben). Dabei wurden vier Bürogebäude, drei Schulen und drei Altersheime untersucht. Für die Bürogebäude allein lag der Anteil der Luftverteilung an der Gesamtmasse zwischen 38 und 51 %. Fehler bei der projektbezogenen Ermittlung der Kanallängen fallen stark ins Gewicht.
- Abwärmenutzung über eine Wärmepumpe: Dies ist bei den Gebäuden LuBo_Z1, LuBo_Z3 und FeLue_R1 der Fall. Dies beeinflusst das Ergebnis im mittleren Bereich.
- Nach [23] liegen die Luftbehandlungsgeräte für die Bürogebäude zwischen 18 und 26 % der Gesamtmasse. Fehler hier beeinflussen das Ergebnis im tiefen Bereich, da allenfalls falsche Geräte eingerechnet wurden.
- Es ist zu erwarten, dass die fehlenden Werte für die Luftdurchlässe und die mechanischen Antriebe für die Fenster einen Fehler im tiefen Bereich verursachen.

Obwohl der Hauptfokus auf das Lüftungskonzept gerichtet ist, ist der Grund für die Berücksichtigung der Heizung und Kälteabgabe, dass bei der Beurteilung des thermischen Komforts die Temperaturen eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung des low-tech Ansatzes spielen. In die ganzheitliche Bewertung fliessen auch die Grauen THGE mit ein.

Das Gebäude NL_man_Z4 ist insgesamt so lückenhaft dokumentiert, dass eine Berechnung der Grauen THGE nicht möglich ist.

3.7 Bewertung low-tech Ansatz

Für die Bewertung des low-tech Ansatzes werden die Teilaspekte, wie z. B. die technische Gebäudeausstattung, oder die Ergebnisse der Nutzerbefragung und der Messung einzeln bewertet. Es wird ein Punktsystem mit drei Kategorien eingesetzt. Die Bewertung für die unterschiedlichen Teilaspekte finden sich in Tabelle 19 und Tabelle 20. Bemerkungen hierzu:



- Befragung Benutzende: Beim Vergleich der Gebäude untereinander können für ein Gebiet, wie z. B: «Raumluftqualität» die zwei am besten / am schlechtesten bewertete Gebäude herausgegriffen werden (siehe Tabelle 52). Die beiden bei einem Thema am besten bewerteten Gebäude bekommen jeweils einen Punkt, die beiden am schlechtesten bewerteten Gebäude bekommen einen Punkt abgezogen.
- Graue Treibhausgasemissionen für Lüftung und Kühlung: Da bei der Bewertung der Gebäude auch das sommerliche Raumklima eine Rolle spielt, wird die Gebäudekühlung (sofern vorhanden) in die Bewertung eingeschlossen.
- Kurzzeitmessung: Hier werden die Kategorien gemäss Tabelle 20 ausgewertet. Für die Kurzzeitmessungen wird nur die sitzende Position ausgewertet. Begründung: die stehende Position weist schlechtere Ergebnisse auf. Da aber die Überschreitungskriterien in der Guidance zur EPBD 2024 [26] für eine Woche gelten, ist ihre Anwendung für einen Tag eigentlich zu streng. Daher wird auf die Darstellung der stehenden Position verzichtet. Pro Gebäude wird die Bewertung für zwei Räume vorgenommen.
Bei geöffnetem Fenster werden pro Gebäude die kürzesten Lüftungsdauern ausgewertet:
NL_auto_E1: Winter und Sommer: 15 Minuten;
NL_auto_M1: Winter: 3 Minuten, Sommer: 8 Minuten, Storen zu;
NL_man_I1: Winter: 5 Minuten, Sommer: 10 Minuten, Tür zu;
NL_man_B1: Winter und Sommer: 5 Minuten
- Lüftungsverluste: eine alleinige Bewertung erweist sich im Projektverlauf als nicht sinnvoll, da ein auf der Standardnutzung basierender Vergleich nur Unterschiede bezüglich des Bürotyps aufzeigt und ein Vergleich anhand von realen Nutzungsdaten eine tiefe Belegung und ggf. eine schlechte Luftqualität belohnt. Weitere Details siehe Kapitel 7.1.5.

Tabelle 19: Bewertung low-tech Ansatz für die Teilaspekte Reduktion Lüftungskomponenten, Heizen und Kühlen, sowie Graue Treibhausgas-emissionen für Lüftung und Kühlung.

	Bewertung Reduktion		
	gering	mittel	hoch
	●	● ●	● ● ●
Heizen und Kühlen	Wärme- und Kälteverteilung über das selbe System und / oder optionale aktive Kühlung	Keine aktive Kühlung	kein Heiz- und Kühlsystem
Lüftungskonzept	Reduktion Lüftungskanäle	Reduktion Lüftungskanäle und Zonen mit natürlicher Lüftung	mechanische Lüftung nur in Spezialzonen wie WC, sonst natürliche Lüftung
Graue Treibhausgas-emissionen für Lüftung und Kühlung	> 1.1 kg/(m ² a AE)	> 0.31 kg/(m ² a AE) und ≤ 1.1 kg/(m ² a AE)	< 0.3 kg/(m ² a AE)



Tabelle 20: Bewertung low-tech Ansatz für Qualität Befragung Benutzende, Ergebnisse Kurzzeit- und Langzeitmessung.

	Bewertung Qualität		
	tief	mittel	gut
	●	● ●	● ● ●
Befragung Benutzende	Bewertung im Bereich – 2 bis - 3	Bewertung im Bereich + 1 bis - 1	Bewertung im Bereich + 2 und >
Kurzzeitmessung	IEQ _{III} (GTC) oder schlechtere Werte (Überschreitung 20%) ¹	IEQ _{II} (GTC) (Überschreitung 50%) ¹	IEQ _I (GTC), IEQ _{II} (GTC) (0 Überschreitungen)
Langzeitmessung	IEQ _{III} (RT), IDA _{III} (CO ₂) (Überschreitung: Werte < 25 % Perzentil und > 75 % Perzentil können ausserhalb der Kategorie liegen.) Entweder beide Räume Klasse III, oder ein Raum Klasse II und ein Raum Klasse III	IEQ _{II} (RT), IDA _{II} (CO ₂) (Überschreitung: Werte < 25 % Perzentil und > 75 % Perzentil können ausserhalb der Kategorie liegen.) Beide Räume Klasse II	IEQ _{I-II} (RT), IDA _{I-II} (CO ₂) (Überschreitung: Werte < 25 % Perzentil und > 75 % Perzentil können ausserhalb der Kategorie liegen.) Entweder beide Räume Klasse I, oder ein Raum Klasse I und ein Raum Klasse II

¹= in Anlehnung an Guidance zur EPBD 2024, Anhang 10, Tabelle 11 (Stand 30.06.2025) [26]. Die Anforderung gilt für wöchentliche Messungen.



4 Resultate Auswertung Planungskonzept und Gebäudebegehung

4.1 Bauschäden

Bei den Begehungen werden kein Schimmel und keine Bauschäden im Bereich der Luftein- und Austritte festgestellt.

4.2 Thermischer Komfort

4.2.1 Heizen und Kühlen

Eine Übersicht über das Heiz- und Kühlkonzept, sowie den Sonnenschutz zeigt Tabelle 21.

Bei fünf Gebäuden wird die Wärmeversorgung über Erdsonden (LuBo_Z1, NL_auto_M1, ML_NL_man_B1) oder Grundwasser (FeLue_R1, NL_man_I1+_I2) in Verbindung mit einer Wärmepumpe realisiert. Bei zwei Gebäuden (NL_auto_E1, NL_auto_L1) wird der geringe Wärmebedarf über Strom (Abwärme Geräte) gedeckt. Ergänzend werden beim Gebäude NL_auto_E1 temporär durch wenige Benutzende elektrische Heizlüfter eingesetzt. Über Fernwärme und eine Wärmepumpe zur Abwärmenutzung wird ein Gebäude beheizt (LuBo_Z3), beim Gebäude ML_NL_man_B1 wird über Fernwärme unterstützt. Beim Gebäude ML_NL_man_Z2 ist die Wärmequelle Nahwärme und bei NL_man_Z4 Abwärme. Von einer Nachtabenkung haben zwei Gebäudebetreiber Kenntnis (LuBo_Z1, ML_NL_man_Z2), in sechs Gebäuden gibt es darüber keine Kenntnis.

Die Wärmeverteilung- und -abgabe wird in fünf Gebäuden hauptsächlich über Betonkerntemperierung (BKT) realisiert (LuBo_Z1, NL_auto_M1, FeLue_R1, NL_man_I1+_I2, ML_NL_man_B1). In zwei Gebäuden und einem Gebäudeteil über Radiatoren (ML_NL_man_Z2, NL_man_Z4, Gebäudeteil: NL_man_B1). In einem Gebäude gibt es Deckensegel (LuBo_Z3), in zwei Gebäuden (NL_auto_E1, NL_auto_L1) gibt es keine Wärmeabgabeflächen. In drei Gebäuden (LuBo_Z1, ML_Z2, LuBo_Z3) wird zusätzlich die Zuluft der Lüftungsanlage temperiert.

Eine aktive Kühlung besitzen sieben Gebäude. In vier Gebäuden wird geothermisch über Erdsonden gekühlt, es kann jedoch unterstützend als aktive Kühlung eine Wärmepumpe hinzukommen (LuBo_Z1, ML_NL_man_B1, NL_auto_M1 und NL_man_I1 / NL_man_I2 mit Teilflächen, FeLue_R1). Kältemaschinen sind in drei Gebäuden (ML_Z2, LuBo_Z3, NL_man_Z4) eingesetzt.

In sechs Gebäuden gibt es eine Nachtlüftung, um im Sommer nachts thermische Lasten abzuführen. Zwei Gebäude werden ausschliesslich über die automatische Nachtlüftung (NL_auto_E1, NL_auto_L1), ein Gebäude über manuelle Nachtlüftung (NL_man_Z4, mit Ausnahme von kleinen Teilflächen, die aktiv gekühlt werden) temperiert. Die Lüftungsflügel für die (automatische) Nachtlüftung sind bei ML_NL_man_Z2 und NL_man_I1 kleiner als die übrige Fensterfläche. Die Fläche pro automatisch öffnendem Flügel liegt bei allen Gebäuden mit automatischer Fensterlüftung zwischen 0.15 und 0.6 m². Pro NGF liegen die Werte zwischen 0.8 und 2.7 %. Manuell öffnere Lüftungsflügel haben eine Fläche zwischen 0.6 und 1.3 m². Wenn alle Flügel geöffnet sind, kann der Anteil bei bis zu 10 % der NGF liegen, praktisch wird dies vermutlich selten erreicht. Bei allen aufgeführten Gebäuden (ausser NL_auto_L1 und NL_man_I1+I2) ist zum Planungszeitpunkt SIA 180:2014 [13] in Kraft. Im vereinfachten Verfahren für den sommerlichen Wärmeschutz muss die Querschnittsfläche mindestens 5 % der NGF des Raumes betragen. Andernfalls muss der sommerliche Wärmeschutz mit einer Simulation nachgewiesen werden. Bis auf die Gebäude NL_man_Z4 und NL_man_B1 liegen alle Gebäude darunter.

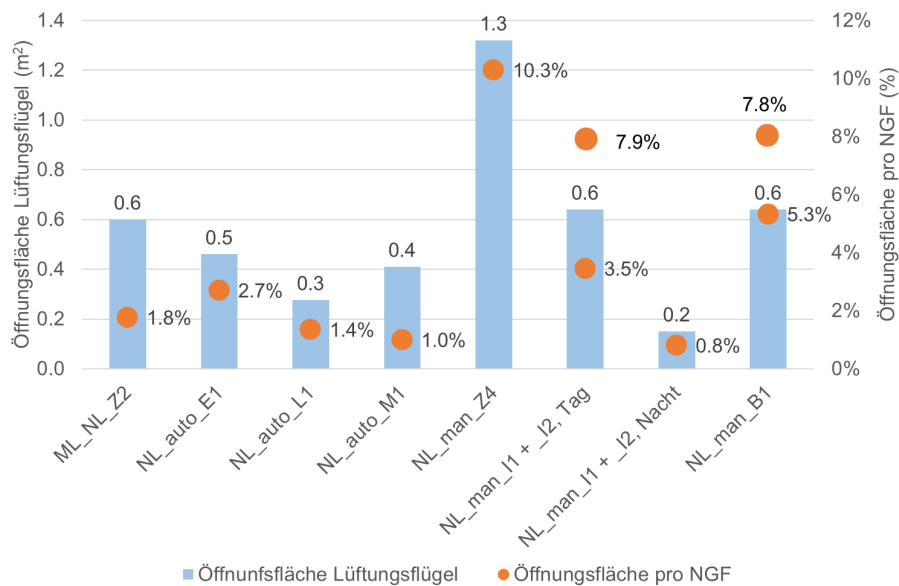


Abb. 10: Öffnungsfläche (freier Querschnitt) Lüftungsflügel Fenster. Besonderheiten Berechnung: beim Gebäude NL_man_I1 wird einmal die Tagsituation und einmal die Nachtsituation ausgewiesen. Bei Tag ergibt sich je nach Bürogrösse eine Spannweite zwischen 3.5 und 7.9 % Öffnungsfläche pro NFG. Bei einigen Büros gibt es auch zwei Lüftungsflügel für die Nachtlüftung, sodass der Wert in der Grafik den Minimalwert darstellt. Beim Gebäude NL_man_B1 ergibt sich eine Spannweite zwischen 5.3 und 7.8 % Öffnungsfläche pro NFG.

Acht Gebäude verfügen über einen aussenliegenden Sonnenschutz. Bei vier Gebäuden kommen metallische, graue oder schwarze Rafflamellen (LuBo_Z1 LuBo_Z3, NL_man_Z4, FeLue_R1), bei vier Gebäuden graue oder helle textile Behänge, wie Stoffrollos (ML_NL_man_Z2, NL_auto_M1) und Markisen (NL_man_I1+ _I2; ML_NL_man_B1) zum Einsatz.

Alle Sonnenschutzvorrichtungen sind automatisiert betrieben. Nur bei einem Gebäudetyp (NL_man_I1+ _I2) ist ein Nutzereingriff nicht möglich. In der Regel ist der Sonnenschutz am Wochenende geschlossen, oder wird wie am Werktag betrieben. Eine Sturmsicherung weisen alle Gebäude mit Sonnenschutz auf. Nur in zwei Gebäuden gibt es keinen aussenliegenden Sonnenschutz, da die Fenster über eine Leibung von mehr als 70 cm verfügen (NL_auto_E1 und NL_auto_L1). Im Gebäude NL_auto_E1 gibt es aber einen Blendschutzvorhang.

Detaillierte Informationen zur Nachtlüftung und zum Sonnenschutz zeigt Tabelle 80 im Anhang.

4.2.2 Zugerscheinungen im Winter

In zwei Gebäuden wird bei der Begehung von Komfortproblemen im Winter berichtet. Im Gebäude FeLue_R1 treten im Zusammenhang mit den passiven Fensterlüftern Zugerscheinungen im Winter auf. Im Gebäude NL_auto_E1 wird berichtet, dass die Regelung über die CO₂-Sensoren zu langen Fensteröffnungszeiten im Winter führt, die Regulierung ist abgeschaltet, die Öffnung der Lüftungsflügel erfolgt manuell. Ein Grund für die tiefen Temperaturen ist auch die niedrige Belegung des Gebäudes, die bei der Planung höher angenommen wurde. Auch im Gebäude NL_auto_M1 wird aus diesem Grund die CO₂-Regelung zu Gunsten einer Zeitschaltung ersetzt (Intervalle siehe Tabelle 72).

4.2.3 Bewertung low-tech Heizen und Kühlen

Die Bewertung für den low-tech Ansatz Heizen und Kühlen zeigt die unterste Zeile von Tabelle 21. Die Systematik der Bewertung wird in Kapitel 3.7 erläutert.



Tabelle 21: Übersicht über das Heiz- und Kühlkonzept der Gebäude. Verwendete Abkürzungen: a = automatisch; el. = elektrisch; H = Heizen; h = heizen Teilbereich; K = Kühlen; k = Kühlen Teilbereich; KM = Kältemaschine; m = manuell; N = Nacht; t = temperaturgesteuert; T = Tag; WP = Wärmepumpe; z = zeitgesteuert, opt. = optional.
Farbcode: grau = Heizen und Kühlen, orange = heizen, blau = aktives, passives Kühlen, sommerlicher Wärmeschutz, gelb= Strom.

	LuBo_Z1	ML_Z2	NL_man_Z2	LuBo_Z3	NL_auto_E1	NL_auto_L1	NL_auto_M1	NL_man_Z4	FeLue_R1	NL_man_I1	NL_man_I2	NL_man_B1	ML_B1
Wärme-Kälteerzeugung													
WP und Erdsonden	H K						H K		H K*			H K	H K
WP und Grundwasser									H K	H K	H K		
WP und Abwärme									H				
Nahwärme, Gas		H	H										
Fernwärme				H								H	H
WP	K			H						k	k		
Maschinelle Kühlung (KM)		K		K			k	k				K	K
Abwärme Rechenzentrum								H					
Nutzereingriff el. Heizlüfter					(H)								
Wärme-/Kälteabgabe													
BKT	H K						H K		H K	H K	H K		H K
Radiator		H	H					H				H	
Deckensegel		K		H K					h				
Luftbox	H K			H K									
Umluftkühlgerät							k	k		k	k		
Zuluft		K										K	K
Zuluft (über WRG temperiert)		H											
Nachtabsenkung Wärmeabgabe	H	opt.		k.A.			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PV	x	x	x			x	x	x	x		x		x
Passive Kühlung													
Nachtlüftung		at z	at z		at z	at z	a m	m		at z	at z	m	
Sonnenschutz, Betrieb T N	m a	a a	a a	a a			a a	a a	a a	a a	a a	a a	a a
Bewertung low-tech Heizen und Kühlen	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	●	-	●

* = Kühlen nur über Erdsonden (keine WP)



Vier Gebäude weisen keine Reduktion auf (LuBo_Z1, ML_Z2, LuBo_Z3 und NL_man_B1). Eine geringe Reduktion weisen drei Gebäude auf (NL_man_Z2, NL_auto_M1 und ML_B1). Diese Gebäude haben eine Wärme- und Kälteverteilung über das selbe System oder eine optionale aktive Kühlung. Die Gebäude NL_auto_E1 und NL_auto_L1 weisen eine hohe Reduktion auf, da sie weder über eine Heizung noch eine aktive Kühlung verfügen.

4.3 Raumlufthqualität

4.3.1 Lüftungskonzept

Tabelle 22 erläutert das Raumkonzept und das zugehörige Lüftungskonzept. Eine systematische Übersicht zeigt Tabelle 23.

In acht Gebäuden gibt es für die Arbeitsplätze ein «open space» Konzept mit separaten Besprechungsräumen. Nur die Gebäude NL_man_I1 und ML_NL_man_B1 verfügen noch über Büroräume mit 1 bis 6 Arbeitsplätzen.

Über eine Abluftanlage mit Abwärmenutzung verfügen zwei Gebäude (LuBo_Z1, LuBo_Z3). Dabei gelangt die Zuluft über Luftboxen in das Gebäude. Zwei weitere Gebäude haben Einzel-, oder Mehrpersonenbüros, die tagsüber nur über natürliche Lüftung manuell bedient werden und andere Gebäudeteile, bzw. «open space» Büros und Besprechungsräume, die über eine zentrale mechanische Lüftung be- und entlüftet werden (NL_man_I1+_I2, ML_NL_man_B1). Eine automatische Fensterlüftung gibt es in vier Gebäuden. In zwei Gebäuden davon (NL_auto_E1, NL_auto_L1) ist das die einzige Lüftung (ausser einer einfachen Abluftanlage in den WC). In zwei Gebäuden gibt es zur automatisierten Fensterlüftung auch Bereiche, die mechanisch be- und entlüftet werden (NL_auto_M1 mit innenliegenden Nutzräumen, NL_man_I1+_I2). In NL_man_I1+_I2 wird die automatische Fensterlüftung zur nächtlichen Wärmeabfuhr eingesetzt. Eine rein manuelle Fensterlüftung gibt es auf mehreren Stockwerken im Gebäude NL_man_Z4. Im Gebäude ML_NL_man_Z2 gibt es je nach Mieterwunsch Bereiche mit ZML, FLM und FLA (Nachtlüftung, in allen Teilen). Das Gebäude FeLue_R1 hat eine Abluftanlage in Kombination mit Fensterlüftern.

Eine Wärmerückgewinnung (WRG) für die mechanische Lüftung ist in vier Gebäuden (ML_NL_man_Z2, NL_man_I1+_I2; ML_NL_man_B1, NL_auto_M1) integriert. Eine Abwärmenutzung über eine Wärmepumpe weisen drei Gebäude (LuBo_Z1, LuBo_Z3, FeLue_R1) auf. In drei Gebäuden gibt es keine WRG (NL_auto_E1, NL_auto_L1, NL_man_Z4).

In sechs Gebäuden ist die Regelung der Lüftungsfunktionen (an/aus) zeitgesteuert (LuBo_Z1, ML_Z2, LuBo_Z3, NL_auto_M1, FeLue_R1, ML_NL_man_B1). In drei Gebäuden hängt sie von der Raumlufthqualität mit CO₂ als Führungsgrösse ab (NL_auto_L1, geplant in NL_auto_E1 und NL_auto_M1, siehe Kapitel 4.2.2.). Im Gebäude NL_man_Z4 gibt es keine Regelung der Lüftung in den Büros, da die Fensterlüftung manuell erfolgt.

Ein hybrides Lüftungskonzept liegt in acht Gebäuden vor. In vier Gebäuden sind jeweils Gebäudeteile oder Räume mit ML und andere mit NL belüftet (ML_NL_man_Z2, NL_man_I1+_I2, NL_auto_M1, ML_NL_man_B1). Im Gebäude ML_NL_man_Z2 gibt es zusätzlich eine Nachtlüftung. In drei Gebäuden (NL_auto_E1, NL_auto_L1, NL_man_Z4) gibt es in den Sanitärräumen Abluftventilatoren. Zusätzlich sind im Gebäude NL_man_Z4 einzelne innenliegende Kopierräume mechanisch belüftet und gekühlt.



Tabelle 22: Raumkonzept und Lüftung. NL = Natürliche Lüftung, FLA = Fensterlüftung manuell, Fensterlüftung automatisch, SiZi = Sitzungszimmer, ZML = Zentrale mechanische Lüftung, OS = Open Space.

Gebäude	Raumkonzept	Konzept Lüftung (hygienischer Luftwechsel)	Reduktion Lüftung
LuBo_Z1	OS + SiZi als Einzelraum oder Raum-in-Raum-Box	Über Luftboxen in Fassade wird Zuluft vorgewärmt / gekühlt und in den Raum gebracht. In SiZi Überströmer in Gang (Abluftzone). Zentraler Abluftventilator erzeugt Unterdruck. Nachts reduzierte Luftmenge.	keine Zuluftkanäle
ML_Z2	Meist OS + SiZi	Bei ZML wird Luft meist an zentraler Stelle eingebracht und im Bereich Teeküche wieder abgezogen. Betriebsdauer mieterabhängig.	Bei ZML Einsparung von Zuluftkanälen
NL_man_Z2	Meist OS + SiZi	Manuelle Fensterlüftung	Einsparung ML
LuBo_Z3	OS + SiZi als Einzelraum oder Raum-in-Raum-Box	Luft wird über Luftboxen mit integriertem Ventilator in Fassade angesaugt, dort konditioniert und in den Raum gebracht. Absaugung im selben Raum. In SiZi Überströmer in Gang. Zentraler Abluftventilator. Nachts reduzierte Luftmenge.	keine Zuluftkanäle
NL_autom_E1	OS + SiZi.	Manuelle und automatische Fensterlüftung. Pro Fenster ein automatischer Flügel. EA in WC. CO ₂ -Regelung zonenweise. Auf: Winter 1200 ppm, Sommer 800 ppm. Zu: Winter 800 ppm, Sommer 600 ppm. Dauer ca. 15'	Keine zentrale mechanische Lüftung
NL_autom_L1	OS	Manuelle und automatische Fensterlüftung. Pro Fenster ein automatischer Flügel. EA in WC. CO ₂ -Regelung raumweise. Auf: Winter 1200 ppm, Sommer 800 ppm. Zu: Winter 800 ppm, Sommer 600 ppm. Dauer ca. 15' - 60' (Planungswerte: realer Betrieb manuell)	Keine zentrale mechanische Lüftung
NL_autom_M1	OS + SiZi.	Automatische Fensterlüftung. Regelung im Sommer über Temperatur, im Winter geplant über CO ₂ , real zeitgesteuert 3x täglich. ZML nur in Räumen ohne Fenster. SiZi haben einen Ventilator oder automatische Dachfenster (CO ₂ -Regelung, auf: 1200 ppm, zu 800 ppm).	Keine zentrale mechanische Lüftung im Grossteil des Gebäudes
NL_man_Z4	EG, 1. + 2. OG: OS, 3. OG Büro (1 AP)	Manuelle Fensterlüftung, WC und Kopierräume mit Abluftanlage	Keine zentrale mechanische Lüftung im Grossteil des Gebäudes
FeLue_R1	Meist OS + SiZi.	Fensterlüfter oberhalb Fenster. Zentraler Abluftventilator erzeugt Unterdruck. Wg. Komfortproblemen Luftmenge auf ca. 20 – 25 % reduziert. Optimiert hinsichtlich ausreichender AWN.	keine Zuluftkanäle
NL_man_I1	Büros (1 – 6 AP), Vorzonen und SiZi im Kern	Pro Raum 1-3 Flügel für manuelle Fensterlüftung, ein Flügel für automatische Nachtlüftung. ZML: WC, SiZi, EG + Lager	Keine zentrale mechanische Lüftung im Grossteil des Gebäudes
NL_man_I2	Büros (1 – 4 AP), Vorzonen und SiZi an Innenhöfen	Natürliche Lüftung: wie NL_man_I1. ZML: WC, SiZi, Cafeteria + Lager	Keine zentrale mechanische Lüftung im Grossteil des Gebäudes
ML_B1	Büros (1 – 3 AP) und OS	ZML über Zeitprogramm (Büros 7 – 17 Uhr), Regelung Zulufttemperatur abhängig von Ablufttemperatur	Teilweise Kanaleinsparung.
NL_man_B1	Büros (1 – 3 AP)	Manuelle Fensterlüftung. Gang Zuluft, Abluft WC	Kanaleinsparung durch Nutzung Korridor als Zu- und Abluftzone



Tabelle 23: Übersicht über das Lüftungskonzept der Gebäude. Verwendete Abkürzungen: Abwärmenutzung = A. über Wärmepumpe; t = temperaturgesteuert; z = zeitgesteuert; CO₂-gesteuert; ZML = Zentrale mechanische Lüftung.

Lüftung (hygienischer Luftwechsel)	LuBo_Z1	ML_Z2	NL_man_Z2	LuBo_Z3	NL_auto_E1	NL_auto_L1	NL_auto_M1	NL_man_Z4	Felue_R1	NL_man_I1	NL_man_I2	NL_man_B1	ML_B1
Fensterlüftung, manuell													
Fensterlüftung, automatisch					CO ₂	CO ₂	CO ₂ t, z	t, z					
Luftboxen (Einzellüftungsgerät)													
Abluftanlage													
Abluftanlage + Abwärmenutzung													
Zentrale mechanische Lüftung													
Wärmerückgewinnung													
Hybrides Lüftungssystem													
Bewertung Reduktion Lüftung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

4.3.2 Filterwechsel Lüftungsanlage

Tabelle 24: Filterwechsel. Verwendete Abkürzungen: ZUL = Zuluft, ABL = Abluft, AUL = Aussenluftfassung, ML = Mechanische Lüftung.

Gebäude	Filter wo?	Filterwechsel
LuBo_Z1	In Luftbox (Filterklasse M5 oder F7) und in zentralem Abluftventilator	1x jährlich in Luftbox und ML
ML_Z2	In Abluft, teilweise auf Mietfläche	Auf Mietfläche von Mieter abhängig, in Technikraum von Betreiber.
LuBo_Z3	In Luftbox	Alle 6 Monate, in Pandemiezeiten alle 4 Monate in Luftbox und ML
NL_auto_E1	vermutlich ABL Filter in WC-Ventilatoren	k.A.
NL_auto_L1	keine	
NL_auto_M1	Lüftungsanlage für Räume ohne Fenster	1x jährlicher Filterwechsel bei ML
NL_man_Z4	k.A.	1x jährlicher Filterwechsel bei ML
Felue_R1	Fensterlüfter und Abluftanlage	Fensterlüfter: alle 2 Jahre. ML gemäss Wartungsvertrag
NL_man_I1+_I2	Keine für Büros; Mech Lüftung für Sitzungszimmer ZUL G4/F7, ABL F6	Jährlich Filterersatz bei ML
ML_NL_man_B1	Keine für Büros mit FeLü; Bereich mit Mech Lüftung ZUL / ABL F7	Jährlich Filterersatz bei ML



In acht Gebäuden findet ein regelmässiger Filterwechsel statt (Tabelle 24). Beim Gebäude ML_Z2 sind Filterwechsel auf der Mietfläche allerdings Sache des Mieters und nur Filter in zentralen Technikräumen werden vom Betreiber gewechselt. Bei den Gebäuden LuBo_Z1 und LuBo_Z3 (mit Luftboxen) ist der dezentrale Filterwechsel aufgrund der Anzahl der Einzelgeräte aufwändig und teuer.

4.3.3 Bewertung low-tech Lüftung

Die Bewertung für den low-tech Ansatz Heizen und Kühlen zeigt die unterste Zeile von Tabelle 23. Die Systematik der Bewertung wird in Kapitel 3.7 erläutert. Vier Gebäude oder Gebäudeteile (LuBo_Z1, ML_Z2, LuBo_Z1 und ML_B1) haben eine geringe Reduktion, da beim Lüftungskonzept nur das Kanalnetz reduziert ist. Weitere vier Gebäude oder Gebäudeteile weisen eine mittlere Reduktion auf. Hier sind auch die Kanallängen reduziert und zusätzlich werden Gebäudeteile nur mit NL betrieben. Fünf Gebäude haben eine hohe Reduktion. Hier gibt es eine mechanische Lüftung nur in Spezialzonen wie WC und sonst wird natürlich gelüftet.

4.4 Akustischer Komfort

Geräusche von der Anlage werden in zwei Gebäuden kritisch angemerkt (ML_NL_man_Z2 und NL_auto_M1). In beiden Fällen verursachen die Ventilatoren für innenliegende Sitzungsräume störende Geräusche. Lärm von aussen wird bei der Begehung nicht als problematisch benannt.

4.5 Befragung Planende Lüftungskonzept

Mit der Befragung der Planenden soll untersucht werden, ob Gebäude mit einem low-tech Planungsansatz anders geplant werden als konventionelle Gebäude. Auf die Befragung antworten insgesamt sieben Planende. Ein Planer war bei der Planung von zwei Gebäude beteiligt (NL_auto_E1 und NL_auto_L1). Die meisten Planenden sind ab SIA-Phase 02 eingebunden. Als Planungsinstrumente für die Lüftungsanlage werden in vier Gebäuden thermisch, dynamische Simulationen eingesetzt (NL_auto_M1, ML_NL_man_Z2 und NL_auto_E1, NL_auto_L1 ab SIA-Phase 03). Bei drei Gebäuden wird die Lüftung mittels eigener Auslegungen auf der Basis von Exceltabellen dimensioniert (LuBo_Z1, LuBo_Z3 und FeLue_R1).

Wenn bei einem low-tech Gebäude auch auf eine aktive Kühlung verzichtet, oder diese reduziert ist, ist die realistische Dimensionierung der internen Lasten eine Grundvoraussetzung. Bei vier Gebäuden werden zur Dimensionierung der internen Lasten Planungswerte aus SIA 2024:2006 oder SIA 2024:2015 verwendet (NL_auto_E1, NL_auto_L1, NL_auto_M1 und FeLue_R1). Bei zwei anderen Gebäuden werden eigene Tabellenwerte eingesetzt, oder eine höhere Personenbelegung angenommen (LuBo_Z1, LuBo_Z3 und ML_NL_man_Z2).

Bei Gebäuden mit natürlicher Lüftung spielt der Aussenlärm eine wichtige Rolle. Der Aussenlärm wird bei fünf Gebäuden als gering eingestuft (ML_NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_auto_L1, NL_auto_M1, FeLue_R1), zwei Gebäude verfügen über Schallschutzelemente (LuBo_Z1, LuBo_Z3).

Bei low-tech Gebäuden, die eine flexible Erwartungshaltung der Nutzer an den Komfort voraussetzen, liegt es nahe in einer Nutzungsvereinbarung festzulegen, welche Anforderungen das Gebäude erfüllen kann. Ausführliche Nutzungsvereinbarungen sind jedoch noch selten. Nur in einem Gebäude gibt es eine Nutzungsvereinbarung (NL_auto_E1). Häufiger werden Pflichtenhefte für die Technik, Belegungen und/oder interne Lasten definiert (LuBo_Z3, ML_NL_man_Z2, NL_auto_M1).

Da bei low-tech Lüftungskonzepten gegebenenfalls mehrere Gewerke beteiligt sein können (z. B. bei der automatischen Fensterlüftung Fensterbau und MSR) könnte eine Abnahme auch gewerkeübergreifend als Betriebsnachweis organisiert werden. Dies ist bei zwei Gebäuden der Fall ((NL_auto_E1, NL_auto_L1: identischer Planer). Bei den anderen Gebäuden erfolgt die Abnahme über die jeweiligen Unternehmer, bzw. Lieferanten. Die ausführlichen Befragungsergebnisse finden sich im Anhang 12.4.



5 Resultate Befragung Benutzende

5.1 Rücklauf und Datenbereinigung

5.1.1 Winter

Insgesamt wird der Link an ca. 1000 Personen geschickt und von 553 beantwortet. Zwischen den Gebäuden unterscheiden sich die Rücklaufquoten mit minimal 19 % (LuBo_Z3) und maximal 87 % (NL_auto_E1). Der Mittelwert der Rücklaufquoten liegt bei 53 %. Die Antworthäufigkeiten pro Gebäude finden sich in Kap. 3.3.3.

Beim Gebäude LuBo_Z3 antworten nur drei Personen (der Fragebogen wurde nur an ein Team von 16 Personen verschickt). Da die Auswertungen meist die gesamte Stichprobe umfassen, wird das Gebäude berücksichtigt. Bei den gebäudeweisen Auswertungen in Kapitel 5.8 wird das Gebäude berücksichtigt, aber auf die geringe Anzahl der Antworten hingewiesen. Es gibt keine ungültigen Fragebögen im Rücklauf. Beim Gebäude NL_auto_L1 durfte kurzfristig keine Befragung durchgeführt werden. Damit umfasst die Befragung 9 Gebäude.

5.1.2 Sommer

Im Sommer antworten 458 Benutzende. Beim Gebäude LuBo_Z3 antworten im Sommer nur zwei Personen. Die Rücklaufquote liegt zwischen 6 (LuBo_Z1) und 90 % (NL_auto_E1), der Mittelwert liegt bei 43 %.

5.2 Soziodemografische Merkmale

5.2.1 Winter

Auswertung: Gesamt

Jeweils ca. 20 % der Befragten sind zwischen 31 - 40 oder 41 – 50 Jahre alt, ein knappes Drittel ist zwischen 51 – 60 Jahren alt. Davon sind rund 60 % männlich und knapp 40 % weiblich ($N = 553$, $s = 0.6$).

Im Mittel arbeiten die Benutzenden seit 4 ± 1 Jahren im Gebäude ($N = 553$, $s = 1.4$). Der Modus liegt bei 3 – 5 Jahren. Knapp 30 % der Befragten arbeiten in Zweierbüros, 11 % in Einzelbüros und 8 % in Dreipersonenbüros ($N = 553$, $s = 2.5$). Modus und Median liegen bei 2 Personen. Die weiteren Angaben streuen stark, teilweise werden bis zu 100 Personen genannt ($N = 553$, $s = > 300$). Mit rund 30 % arbeiten die meisten Personen auf dem 1. OG, gefolgt von rund 20 % auf dem 2. OG und 17 % auf dem 3. OG ($D = 1$, $N = 553$, $s = > 1000$). Das höchste Gebäude hat 8 Stockwerke. Speziell beim Gebäude LuBo_Z1 werden beim Stockwerk (zwischen 7 – 23456, $N = 14$) und bei der Personenanzahl (zwischen 60 und 9000, $N = 17$) unsinnige Angaben gemacht.



5.2.2 Sommer

Auswertung: Gesamt

Genau 20 % der Befragten sind zwischen 31 – 40 Jahren alt, jeweils 30 % sind entweder zwischen 41 – 50 oder zwischen 51 – 60 Jahren alt. Die Verteilung auf die Geschlechter ist identisch mit dem Winter ($N = 459$, $s = 0.53$).

Die Arbeitszeit im Gebäude ist gleich wie im Winter, auch die Anzahl der Personen in den Ein-, Zwei-, und Dreipersonenbüros, Angaben zu grösseren Personenanzahlen streuen stark ($N = 459$, $s = 31.54$). Auch die Aufteilung auf Stockwerke ist fast gleich wie im Winter (1. OG: 33 %, 2. OG: 24 % und 3. OG 19 % ($D = 1$, $N = 459$, $s = 18.4$).

Damit ähneln sich die Stichproben im Sommer und im Winter stark.

5.3 Lüftungsverhalten und Schimmel

5.3.1 Winter

Auswertung: Gesamt I

Insgesamt lüften die Benutzenden wenig über die Fenster. Die meisten Benutzenden ($N = 317$ von 553) lüften ein- bis zweimal pro Tag (Abb. 11). Dabei beträgt die Dauer der Fensteröffnung in den meisten Fällen ($N = 309$ von 553) 1 - 5 Minuten. Die zweithäufigste Lüftungsdauer beträgt 5 - 10 Minuten ($N = 132$ von 553). Bei den meisten Benutzenden ($N = 378$ von 553) ist das Fenster tagsüber nie länger als 30 Minuten geöffnet. Nachts sind die Fenster in der Regel geschlossen ($N = 360$ von 553), oder eine Kippstellung ist nicht möglich.

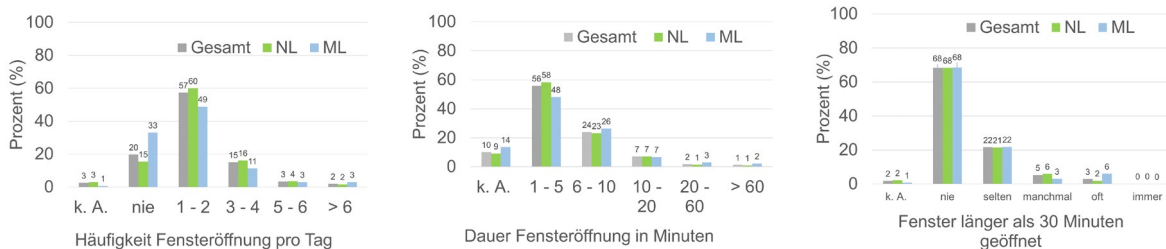


Abb. 11: Nutzerverhalten bezüglich Fensterlüftung.

Auswertung: Lüftungsprinzip II

Bei der Lüftungsart (NL oder ML) gibt es nur kleine Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeit der Fensteröffnung, die bei Gebäuden mit ML seltener ist. Dies zeigt sich auch bei den Korrelationen. Im Zusammenhang mit der Häufigkeit der Fensteröffnung, der Dauer der Fensteröffnung und bei der nächtlichen Lüftung ist bezüglich des Lüftungsprinzips eine sehr schwache bzw. schwache Korrelation zu verzeichnen.



Tabelle 25: Untersuchung Gruppe mit natürlicher und mechanischer Lüftung hinsichtlich Nutzerverhalten Lüftung. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau.

Interpretationshilfe:

HF: 1 = «nie», 2 = «1 - 2 mal pro Tag», 3 = «3 - 4 mal pro Tag», 4 = «5 - 6 mal pro Tag», 5 = «> 6 mal pro Tag»

DF: 1 = «1 - 5 Minuten», 2 = «6 - 10 Minuten», 3 = «10 - 20 Min.», 4 = «20 - 60 Min.», 5 = «> 1 Stunde»

F30: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

FN: 1 = «Teeküche», 2 = «Büro», 3 = «Besprechung», 4 = «Sonstige», 5 = «Bad/WC», 6 «Kippstellung nicht möglich».

		Häufigkeit Fensteröffnung pro Tag (HF)	Dauer Fensteröffnung in Minuten (DF)	Fenster länger als 30 Minuten geöffnet (F30)	Fenster nachts geöffnet (FN)			
Natürliche Lüftung	<i>D</i>	2.0	1.0	1.0	6.0 ¹			
	\tilde{x}	2.0	1.0	1.0	0.0			
	\bar{x}	2.1	1.3	1.4	1.7			
	<i>s</i>	0.86	0.84	0.75	2.6			
	<i>N</i>	411	411	411	411			
Mechanische Lüftung	<i>D</i>	2.0	1.0	1.0	6.0 ¹			
	\tilde{x}	2.0	1.0	1.0	0.0			
	\bar{x}	1.9	1.5	1.5	2.3			
	<i>s</i>	0.9	1.1	0.80	2.7			
	<i>N</i>	142	142	142	142			
τ_b	ML 0.189**	NL 0.089*	ML 0.101*	NL -	ML -	NL -	ML 0.241**	NL 0.098*

¹ = am häufigsten wird die Frage nicht beantwortet.

Kombiniert man die Antworten, so bedeutet dies, dass die meisten Benutzenden ein- bis zweimal pro Tag lüften und das Fenster dabei 1 - 5 Minuten geöffnet haben (33 %, $N = 185$). Das sind rechnerisch tagsüber zwischen 2 - 10 Minuten Lüftungszeit. Weniger Benutzende (17 %, $N = 94$) haben eine Lüftungszeit zwischen 6 und 20 Minuten tagsüber. Rund 9 % ($N = 51$) haben tagsüber die Fenster zwischen 3 und 20 Minuten geöffnet.

Auswertung: Gebäude IV

Die Frage, ob Schimmel vorhanden ist, beantworten insgesamt 61 % der Befragten mit «nein» ($N = 335$), 37 % wissen es nicht ($N = 203$). Im Gebäude LuBo_Z1 wird jeweils von einer Person Schimmel in der Teeküche, im WC und in einem sonstigen Raum benannt. Zwei Personen sehen Schimmel im Büro. Von den 65 Personen, die beim Gebäude LuBo_Z1 auf diese Frage antworten sind dies 8 %. Im Gebäude LuBo_Z3 bemerken zwei Personen Schimmel in der Teeküche und im WC. Gebäude NL_auto_M1 vermerken zwei Personen Schimmel im Büro. In einem «sonstigen Raum» tritt Schimmel im Gebäude NL_man_Z4 ($N = 1$) und im Gebäude NL_man_I1+_I2 ($N = 2$) auf. Insgesamt geben also 2 % der Benutzenden an, dass Schimmel auftritt ($N = 12$).

5.3.2 Sommer

Auswertung: Gesamt I

Auch im Sommer wird «nur» ein- bis zweimal am Tag gelüftet ($N = 253$ von 459), dafür sind die Fenster allerdings länger als 60 Minuten geöffnet ($N = 161$ von 459). Die zweithäufigste Dauer beträgt 10-20 Minuten ($N = 96$ von 459). Bei über der Hälfte der Benutzenden ist das Fenster oftmals oder immer länger als 30 Minuten geöffnet ($N = 248$ von 459).

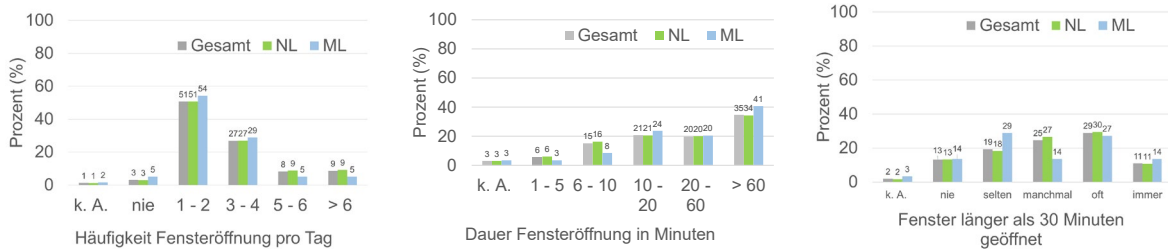


Abb. 12: Verhalten Benutzende bezüglich Fensterlüftung im Sommer.

Auswertung: Lüftungsprinzip II

Wie Abb. 12 zeigt, gibt es bezogen auf die Lüftungsart kaum Unterschiede bei der Fensterlüftung. In den Gebäuden mit mechanischer Lüftung wird etwas häufiger manuell gelüftet. Allerdings ist im Sommer nur zwischen der Dauer der Fensteröffnung und der natürlichen Lüftung eine sehr schwache, hochsignifikante Korrelation zu verzeichnen (Tabelle 26). Mit einer Kombination der Antworten zu Lüftungshäufigkeit und Dauer und unter der Annahme, dass mit einer Lüftungsdauer von > 60 Minuten etwa 90 Minuten gemeint sind, lüften die meisten Benutzenden (22 %, $N = 101$ von 459) zwischen 60 und 180 Minuten. Jeweils 10 % der Benutzenden lüften zwischen 10 und 40 Minuten und zwischen 20 und 120 Minuten pro Tag ($N = 46$, bzw. 48).

Auswertung: Lüftungskonzept III

Wie die jeweilige Lüftungseinrichtung im Sommer geöffnet ist, zeigen die nachfolgenden Auswertungen (im Winter sind diese im Zusammenhang mit Zugscheinungen im Kapitel 5.4.1 ausgewertet).

In den Gebäuden mit Luftboxen wird diese im Sommer von über der Hälfte der Benutzenden nicht verändert ($N = 6$ von 11), die übrigen Personen kennen die Position nicht ($N = 5$). Ähnlich ist das Bild auch im Gebäude FeLue_R1 mit ALD. Hier ist bei der Mehrheit der Befragten die Position unverändert ($N = 6$ von 9), bei einer Person ist das ALD zugeklebt. Bei den Gebäuden mit Fensterlüftung sind bei gut einem Drittel die Fensterflügel voll geöffnet ($N = 141$ von 391), 40 % der Befragten kennen die Stellung des Fensters nicht ($N = 155$ von 381). Bei Gebäuden mit mechanischer Lüftung und Zuluft eintritt im Raum sind bei mehr als der Hälfte die Lüftungsflügel vollständig geöffnet ($N = 26$ von 48), etwa ein Drittel kennt die Position nicht ($N = 17$ von 48).



Tabelle 26: Untersuchung Gruppe mit natürlicher und mechanischer Lüftung hinsichtlich Nutzerverhalten Lüftung im Sommer. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau.

Interpretationshilfe:

HF: 1 = «nie», 2 = «1 - 2 mal pro Tag», 3 = «3 - 4 mal pro Tag», 4 = «5 - 6 mal pro Tag», 5 = «> 6 mal pro Tag»

DF: 1 = «1 - 5 Minuten», 2 = «6 - 10 Minuten», 3 = «10 - 20 Min.», 4 = «20 - 60 Min.», 5 = «> 1 Stunde»

F30: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

		Häufigkeit Fensteröffnung pro Tag (HF)	Dauer Fensteröffnung in Minuten (DF)	Fenster länger als 30 Minuten geöffnet (F30)	Einfluss Sonnenschutz auf Fensteröffnung		
Natürliche Lüftung	<i>D</i>	2.0	4.0	3.0	2.0		
	\tilde{x}	2.0	4.0	3.0	2.0		
	\bar{x}	2.7	3.5	3.1	2.0		
	<i>s</i>	1.0	1.4	1.3	1.5		
	<i>N</i>	400	400	400	400		
Mechanische Lüftung	<i>D</i>	2.0	4.0	3.0	2.0		
	\tilde{x}	2.0	4.0	3.0	2.0		
	\bar{x}	2.5	3.8	2.9	2.1		
	<i>s</i>	0.93	1.3	1.4	1.3		
	<i>N</i>	59	59	59			
τ_b		ML -	NL -	ML -	NL -	ML -	NL -
				NL			
				0.129**			

Sonnenschutz

Auswertung: Gesamt I

Rund 60 % der Benutzenden geben an, dass ihr Gebäude über einen automatisch geregelten Sonnenschutz verfügt ($N = 284$ von 459). Bei rund 30 % der Befragten gibt es einen manuell bedienbaren Sonnenschutz, der «oft» oder «ab und zu» bedient wird ($N = 80$, bzw. 60). 4 % der Befragten geben an keinen Sonnenschutz zu haben ($N = 18$). Beim Gebäude NL_auto_E1, welches tatsächlich keinen Sonnenschutz aufweist, nehmen 27 Personen an der Befragung teil. Nur 15 davon geben an, dass es keinen Sonnenschutz gibt, die anderen geben an, er wäre automatisch geregelt ($N = 7$), bzw. häufig manuell bedient ($N = 3$), oder unbekannt ($N = 1$).

Auswertung: Lüftungsprinzip II

Bei rund 70 % der Benutzenden mit mechanischer Lüftung hat es «nie» oder «selten» einen Einfluss auf das Lüftungsverhalten, ob der Sonnenschutz offen oder geschlossen ist ($N = 40$, von 59). Ähnlich verhält es sich bei den Befragten mit Fensterlüftung. Hier geben 65 % an, dass es «nie» oder «selten» einen Einfluss auf die Fensteröffnung hat ($N = 260$, von 400). Es treten keine Korrelationen auf (Tabelle 26).



Nachtlüftung

Auswertung: Gesamt I

Knapp ein Drittel verfügen (selbstberichtet) über eine automatische Nachtlüftung ($N = 146$, von 459). Von einer häufigen manuellen Nachtlüftung berichten hingegen nur 4 % ($N = 18$). Die Hälfte der Befragten gibt an, keine Kenntnis darüber zu haben.

Auswertung: Lüftungsprinzip II

Eine automatische Nachtlüftung gibt es bei den Gebäuden ML_NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_auto_M1 (teilweise mit Eingriff durch beauftragte Person) und NL_man_I1+_I2 und ($N = 349$). Beim Gebäude NL_man_Z4 wird die Nachtlüftung über eine beauftragte Person durchgeführt ($N = 35$).

Befragt nach der Wirksamkeit der Nachtlüftung und der Temperatur beim Arbeitsbeginn morgens antworten rund 40 % mit «angenehm» ($N = 197$). Rund einem Drittel ist es «etwas zu warm» oder «zu warm» ($N = 77$, bzw. 81). Einem Sechstel ist das nicht bekannt ($N = 81$).

5.4 Thermischer Komfort, Raumluftqualität und Lärm

5.4.1 Winter

Luftzug

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Die Frage nach Zugluft wird unterschieden nach geschlossenen und geöffneten Lüftungsöffnungen. Bei den geschlossenen Lüftungsöffnungen werden alle Gebäude gemeinsam ausgewertet. Rund 60 % der Benutzenden spüren «nie» in der Nähe der geschlossenen Fenster Zugluft, 20 % spüren «selten» Zugluft ($\bar{x} = 1.7$ (1 = «nie», 2 = «selten»), $s = 1.1$ $N = 553$). Am Arbeitsplatz spürt die Hälfte der Befragten «nie» Zugluft, 24 % berichten über «selten» auftretende Zugluft ($\bar{x} = 1.8$ (1 = «nie», 2 = «selten»), $s = 1.1$ $N = 553$).

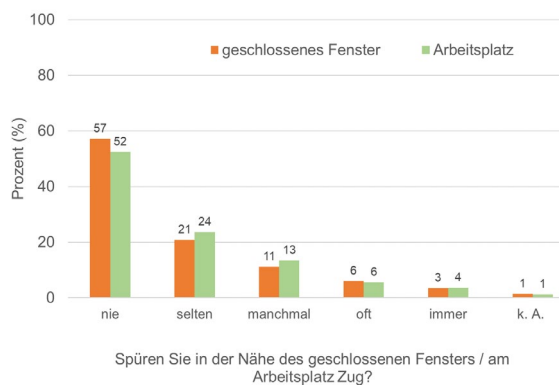


Abb. 13: Zugluft bei geschlossenen Lüftungsöffnungen alle Gebäude.

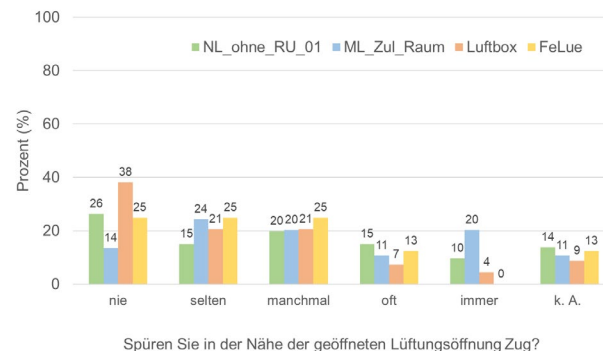


Abb. 14: Zugluft bei geschlossener Lüftungsöffnung, unterteilt nach Lüftungskonzept. Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Die nachfolgenden Auswertungen zu Zugluft beim Lüftungsvorgang werden je nach Lüftungskonzept unterschieden.

- Gebäude mit natürlicher Lüftung, d. h. automatischer / manueller Fensterlüftung. Diese Gruppe umfasst 74 % ($N = 403$) der Befragten. In den beiden Gebäuden mit automatischen Lüftungsflügeln, die sich auch im Winter öffnen (NL_auto_E1 und NL_auto_M1) ist die



Position des Lüftungsflügels wie folgt: NL_auto_E1 ($N = 26$): dort haben etwa 40% der Befragten den Lüftungsflügel in einer Zwischenstellung ($N = 11$) und ein Viertel verändert die Position nicht ($N = 7$), was vermutlich auch auf eine Zwischenstellung herausläuft. In NL_auto_M1 ($N = 56$) lüften ein Viertel mit der vorgegebenen Position ($N = 13$) und 11 % mit Zwischenstellung ($N = 6$). Rund die Hälfte kennen die Fensterposition nicht ($N = 26$), da die Lüftung so programmiert ist, dass ausserhalb der Arbeitszeiten gelüftet wird (Lüftungszeiten: 5:00 – 5:10, 14:00 – 14:03, 16:45 – 17:00 Uhr).

Zugerscheinungen treten bei einem Viertel der Befragten mit Fensterlüftung beim Lüftungsvorgang «nie» auf ($N = 106$, $s = 0.44$), bei 35 % «selten» oder «manchmal» ($N = 141$), bei 25 % «oft» oder «immer» ($N = 100$). Es besteht eine schwache, hochsignifikante Korrelation zum Gebäude. Bei den beiden Gebäuden mit automatisierter Fensterlüftung tritt Zug beim Lüftungsvorgang «selten» oder «manchmal» bei rund 60 % (NL_auto_E1, $N = 15$), bzw. 45 % (NL_auto_M1, $N = 24$) auf, «oft» oder «immer» bei 27 % (NL_auto_E1, $N = 7$), bzw. 30 % (NL_auto_M1, $N = 16$). Die Differenzen zwischen den beiden Gebäuden mit automatisierter Fensterlüftung und den übrigen Gebäuden mit Fensterlüftung sind nicht signifikant.

b) Gebäude mit Luftbox

Diese Gruppe umfasst 12 % ($N = 68$). Beim Gebäude LuBo_Z3 sind insgesamt nur 3 Antworten eingegangen, das Gebäude wird hier nicht separat betrachtet. Bei beiden Gebäuden ist ein Öffnen der Fenster grundsätzlich nicht gewünscht und technisch nur teilweise möglich. Die Aussagen zum Lüftungsvorgang beziehen sich damit auf die Luftboxen in der Fassade. Rund 40 % der Befragten berichten «selten» oder «manchmal» ($N = 28$, $s = 1.3$) und rund 12 % «oft» und «immer» ($N = 8$) über Zugerscheinungen beim Lüften.

c) Mechanische Lüftung mit Zuluft eintritt über Raum.

Insgesamt umfasst diese Gruppe 13 % ($N = 74$) der Befragten. Bei der gesamten Gruppe kommt Luftzug bei geöffnetem Fenster bei 45 % ($N = 33$), bei rund 30 % «oft» oder «immer» ($N = 23$). Bezogen auf die Gebäude ergibt sich folgendes Bild: Obwohl im Gebäude ML_B1 keine Fenster geöffnet werden können, empfinden 25 % «selten» oder «manchmal» ($N = 16$ von 50, $s = 1.8$) und 42 % «oft» oder «immer» ($N = 21$) Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang. Die Gründe sind unklar. Im Gebäude ML_Z2 sind die Fenster manuell öffenbar. Dort berichten 87 % ($N = 21$ von 24, $s = 0.49$) «nie» oder «selten» über Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang. Es besteht eine sehr schwache, hochsignifikante Korrelation zum Gebäude.

d) Gebäude mit Fensterlüftern.

Diese Gruppe umfasst 1 % ($N = 8$). Da diese Gruppe sehr klein ist, sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu behandeln. 50 % der Befragten klagen «selten» oder «manchmal» ($N = 4$, $s = 1.3$) und 12 % «oft» ($N = 1$) über Zugerscheinungen beim Lüften. Es besteht eine schwache, hochsignifikante Korrelation zum Gebäude.

Raumluftqualität

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Fast 60 % aller Befragten sind «etwas zufrieden» oder «zufrieden» mit der Luftqualität ($N = 324$, weitere Angaben siehe Tabelle 27 und Abb. 15). Bezogen auf das Lüftungskonzept lassen sich keine grossen Unterschiede feststellen. Es ist auffallend, dass von der kleinen Gruppe mit den Fensterlüftern 63 % der Befragten «mittelmässig» zufrieden sind (von den anderen Gruppen sind dies zwischen 22 und 31 %). Die übrigen Befragten mit Fensterlüftern sind «zufrieden». Diese Unterschiede sind aber nicht signifikant. Angaben zu den Lagemassen und zur Streuung finden sich in Tabelle 27.

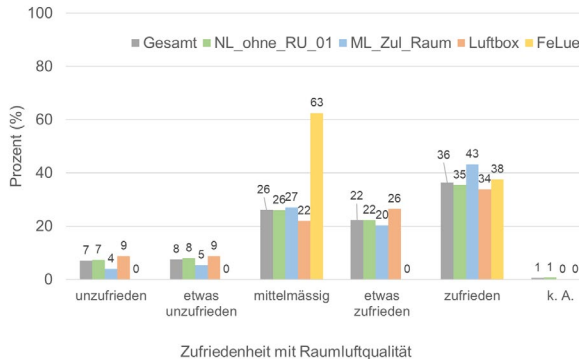


Abb. 15: Zufriedenheit mit Raumluftqualität unterteilt nach Lüftungskonzept.
Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

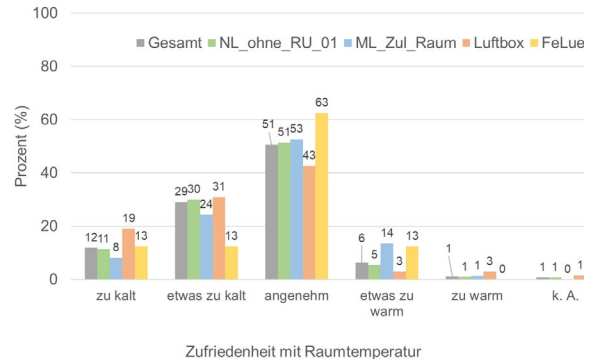


Abb. 16: Zufriedenheit mit Raumlufttemperatur unterteilt nach Lüftungskonzept.
Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Raumtemperatur

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Rund 50 % empfinden die Raumtemperatur als «angenehm» ($N = 280$, weitere Angaben siehe Tabelle 27 und Abb. 16). «Etwas zu kalt» (29 %) oder «zu kalt» (12 %) ist es insgesamt 41 % der Befragten. Bezogen auf das Lüftungskonzept weichen am ehesten noch die Gebäude mit den Luftboxen und den Fensterlüftern ab. Im Gebäude mit den Luftboxen scheint es etwas kälter zu sein (50% finden es «zu kalt» oder «etwas zu kalt»), die Korrelation zum Gebäude ist signifikant, aber sehr schwach. Im Gebäude mit den Fensterlüftern ist es 13 % «etwas zu warm». Allerdings ist die Gruppe mit den Fensterlüftern insgesamt sehr klein. Hier lässt sich keine Korrelation feststellen. Angaben zu den Lagemassen und zur Streuung finden sich in Tabelle 27.

Raumluftfeuchte

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Die Luftfeuchtigkeit in den Büros bewerten 64 % als angenehm ($N = 354$, weitere Angaben siehe Tabelle 27 und Abb. 17), 23 % bewerten sie als «etwas zu trocken». Auch hier unterscheidet sich die Gruppe mit den Fensterlüftern wieder (nicht signifikant) von der Gesamtheit, hier gibt es im Gegensatz zu den anderen Lüftungskonzepten keine Bewertungen im Bereich «zu trocken». Angaben zu den Lagemassen und zur Streuung finden sich in Tabelle 27.

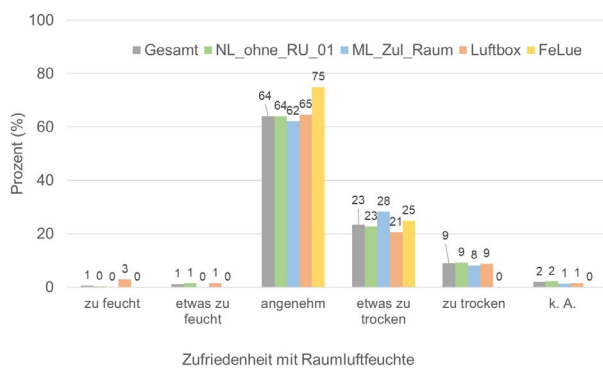


Abb. 17: Zufriedenheit mit Raumluftfeuchte unterteilt nach Lüftungskonzept. Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.



Tabelle 27: Zufriedenheit Benutzende hinsichtlich Raumlufthqualität, thermische und akustische Behaglichkeit. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau. Interpretationshilfe:

ZLV, SLA, SLL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal»,

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden»,

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

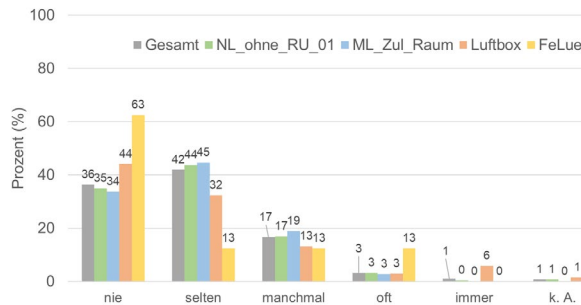
ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

		Zugluft bei Lüftungsvorgang (ZLV)	Störung Lärm von aussen (SLA)	Störung Lärm Lüftung (SLL)	Zufriedenheit Luftqualität (ZIDA)	Zufriedenheit Raumtemperatur (ZRT)	Zufriedenheit Luftfeuchtigkeit (ZLF)
Gesamt	<i>D</i>		2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\tilde{x}		2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\bar{x}		1.9	1.5	3.7	2.5	3.3
	<i>s</i>		0.88	0.88	1.2	0.86	0.83
	<i>N</i>		553	553	553	553	553
	τ_b	-	-	-	-	-	-
NL_ohne_FeLue_R1	<i>D</i>	2.0	2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\tilde{x}	2.0	2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\bar{x}	1.9	1.9	1.3	3.9	2.6	3.3
	<i>s</i>	1.5	0.82	0.59	1.2	0.81	0.80
	<i>N</i>	403	403	403	403	403	403
	τ_b	0.252**	-	-	-	-	-
ML_Zul_Raum	<i>D</i>	3.0	2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\tilde{x}	3.0	2.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\bar{x}	2.7	1.9	1.5	3.9	2.8	3.4
	<i>s</i>	1.6	0.80	0.80	1.1	0.84	0.75
	<i>N</i>	74	74	74	74	74	74
	τ_b	0.178**	-	0.172**	-	-	-
Luftbox	<i>D</i>	1.0	1.0	1.0	4.0	3.0	3.0
	\tilde{x}	2.0	2.0	1.0	4.0	2.0	3.0
	\bar{x}	1.9	1.9	1.9	3.7	2.4	3.3
	<i>s</i>	1.3	1.1	1.3	1.3	0.97	0.87
	<i>N</i>	68	68	68	68	68	68
	τ_b	-	-	0.082*	-	-0.079*	-
FeLue	<i>D</i>	2.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0
	\tilde{x}	2.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0
	\bar{x}	2.0	1.8	1.1	3.8	2.8	3.3
	<i>s</i>	1.3	1.2	0.35	1.0	0.89	0.46
	<i>N</i>	8	8	8	8	8	8
	τ_b	-	-	-	-	-	-

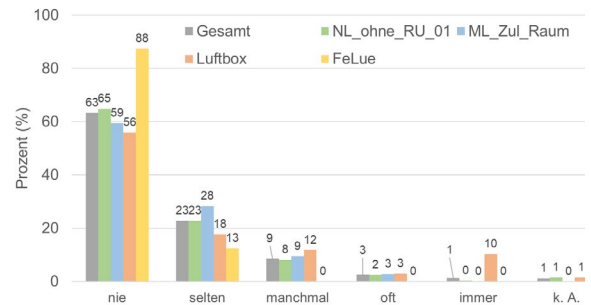


Lärm von aussen und von den Lüftungseinrichtungen (innen)

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III



Wie oft nehmen Sie Lärm von aussen als Störung wahr?



Wie oft nehmen Sie Lärm von von der Lüftung als Störung wahr?

Abb. 18: Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen im Winter als Störung wahr? Unterteilt nach Lüftungskonzept.

Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Abb. 19: Wie oft fühlen Sie sich durch die Geräusche, die von der Lüftung verursacht werden im Winter (Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) gestört? Unterteilt nach Lüftungskonzept.

Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Lärm von aussen wird von 78 % der Befragten «nie» oder «selten» als Störung wahrgenommen ($N = 433$, weitere Angaben siehe Tabelle 27 und Abb. 18). Die Benutzenden mit den Fensterlüftern nehmen Lärm seltener störend wahr, als die Benutzenden mit den anderen Lüftungskonzepten. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Geräusche von der Lüftungsanlage oder den Einrichtungen zur Lüftung (z. B. automatische Fensteröffnung) werden von 86 % der Befragten «nie» oder «selten» als Störung wahrgenommen ($N = 476$, weitere Angaben siehe Tabelle 27 und Abb. 19). In Abhängigkeit zum Lüftungskonzept treten hier bei der Bewertung beim Gebäude mit Luftboxen sehr schwache, signifikante Korrelationen auf, bei den Gebäuden mit ML über den Raum tritt eine schwache, hochsignifikante Korrelation auf.

Angaben zu den Lagemassen und zur Streuung finden sich in Tabelle 27.

5.4.2 Sommer

Raumluftqualität

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Im Sommer sind mehr als 40 % «etwas zufrieden» oder «zufrieden» mit der Luftqualität ($N = 202$, weitere Angaben siehe Tabelle 28 und Abb. 20). Auffallend ist, dass von der Gruppe mit Luftboxen als Lüftungskonzept 36 % «etwas unzufrieden» sind, bei den anderen Gruppen sind dies zwischen 6 und 18 %. In der Gruppe mit Fensterlüftern sind 33 % «zufrieden», bei den anderen Gruppen sind dies zwischen 9 und 27 %. Beide Gruppen sind klein ($N = 11$, bzw. 9). Keiner der Unterschiede zwischen den Gruppen ist signifikant.

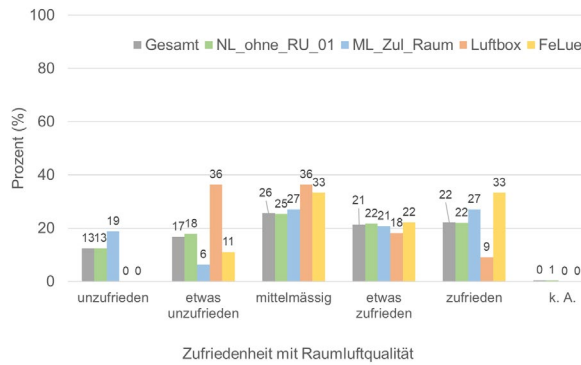


Abb. 20: Zufriedenheit mit Raumluftqualität Sommer unterteilt nach Lüftungskonzept. Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

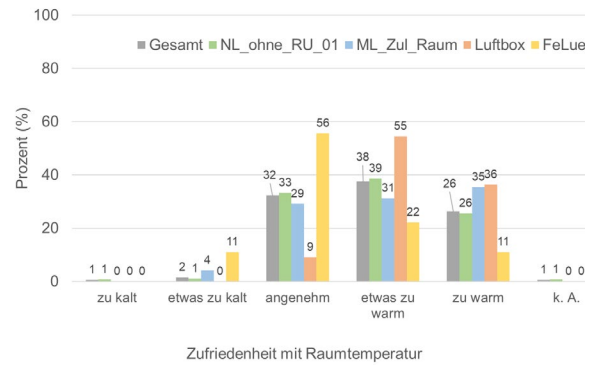


Abb. 21: Zufriedenheit mit Raumlufttemperatur Sommer unterteilt nach Lüftungskonzept. Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Raumtemperatur

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Rund ein Drittel empfindet die Raumtemperatur als «angenehm» ($N = 150$, weitere Angaben siehe Tabelle 28 und Abb. 21). «Etwas zu warm» (37 %) oder «zu warm» (27 %), ist es 64 % der Befragten. In der Gruppe mit Luftboxen als Lüftungskonzept ist es 91 % «zu warm» «etwas zu warm», in der Gruppe mit den Fensterlüftern empfinden 56 % die Temperatur als angenehm. Es treten keine signifikanten Korrelationen auf.

Raumluftfeuchte

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Die Luftfeuchtigkeit in den Büros bewerten 72 % als angenehm ($N = 333$, weitere Angaben siehe Tabelle 28 und Abb. 22). Als «etwas zu feucht» empfinden 14 % ($N = 63$) die Raumluft. Zwischen den Lüftungskonzepten gibt es nur geringe Unterschiede, einzig in der Gruppe mit den Luftboxen bewerten 91 % die Luftfeuchtigkeit als «angenehm». Es treten keine signifikanten Unterschiede auf.

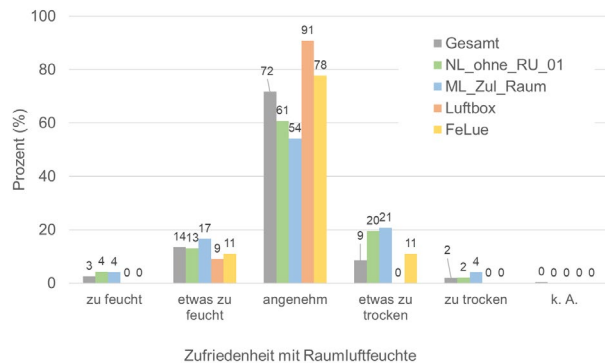


Abb. 22: Zufriedenheit mit Raumluftfeuchte im Sommer unterteilt nach Lüftungskonzept. Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.



Tabelle 28: Zufriedenheit Benutzende hinsichtlich Raumlufthqualität, thermische und akustische Behaglichkeit im Sommer. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau. Anmerkung: die gegenläufigen Korrelationen ergeben sich bei Parametern, bei denen ein kleiner Wert einer positiven Bewertung (z. B. «nie») entspricht. Interpretationshilfe:

SLA, SLL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm», ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

		Störung Lärm von ausssen (SLA)	Störung Lärm Lüftung (SLL)	Zufriedenheit Luftqualität (ZIDA)	Zufriedenheit Raum- temperatur (ZRT)	Zufriedenheit Luftfeuchtigkeit (ZLF)
Gesamt	<i>D</i>	3.0	1.0	3.0	4.0	3.0
	\tilde{x}	3.0	1.0	3.0	4.0	3.0
	\bar{x}	2.7	1.7	3.2	3.9	2.9
	<i>s</i>	1.1	0.9	1.3	0.89	0.66
	<i>N</i>	459	459	459	459	459
	τ_b	-	-	-	-	-
NL_ohne_FeLue_R1	<i>D</i>	3.0	1.0	3.0	4.0	3.0
	\tilde{x}	3.0	1.0	3.0	4.0	3.0
	\bar{x}	2.7	1.7	3.2	3.8	2.9
	<i>s</i>	1.0	0.95	1.3	0.89	0.65
	<i>N</i>	391	391	391	391	391
	τ_b	-0.145**	-	-	-	-
ML_Zul_Raum	<i>D</i>	3.0	2.0	3.0	4.0	3.0
	\tilde{x}	3.0	2.0	3.0	4.0	3.0
	\bar{x}	3.1	1.9	3.3	4.0	3.0
	<i>s</i>	0.96	0.93	1.4	0.91	0.85
	<i>N</i>	48	48	48	48	48
	τ_b	-	-	-	-	-
Luftbox	<i>D</i>	2.0	2.0	3.0	4.0	3.0
	\tilde{x}	2.0	2.0	3.0	4.0	3.0
	\bar{x}	2.3	1.9	3.0	4.3	2.9
	<i>s</i>	0.47	0.94	1.0	0.65	0.30
	<i>N</i>	11	11	11	11	11
	τ_b	-	-	-	-	-
FeLue	<i>D</i>	2.0	1.0	4.0	4.0	3.0
	\tilde{x}	2.0	1.0	4.0	4.0	3.0
	\bar{x}	2.4	1.4	3.8	3.3	3.0
	<i>s</i>	1.1	0.73	1.1	0.87	0.5
	<i>N</i>	9	9	9	9	9
	τ_b	-	-	-	-	-



Lärm von aussen und von den Lüftungseinrichtungen (innen)

Auswertung: Gesamt I und Lüftungskonzept III

Geräusche von aussen nehmen 42 % «nie» oder «selten», 30 % der Befragten «manchmal» als Störung wahr ($N = 194$, bzw. 141 von 459). «Oft» oder «immer» tritt dieser Fall für 26 % der Benutzenden ein ($N = 122$). In Abhängigkeit zum Lüftungskonzept tritt hier bei der Bewertung bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung eine sehr schwache, hochsignifikante Korrelation auf.

Die Störung durch Geräusche von den Lüftungseinrichtungen ist mit rund 80 % der Befragten, die «nie» oder «selten» gestört werden, tief. Auffallend ist, dass beim Lüftungskonzept mit Luftboxen für gut ein Drittel der Befragten eine Störung «manchmal» auftritt.

Angaben zu den Lagemassen und zur Streuung finden sich in Tabelle 28.

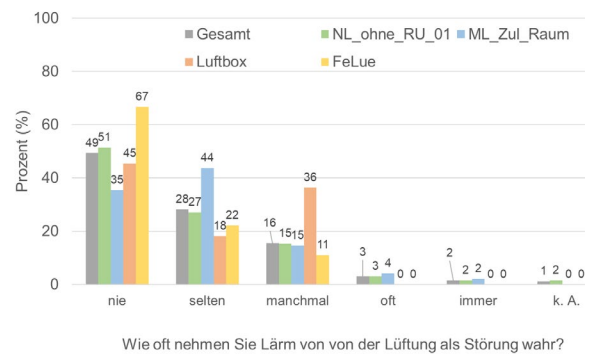
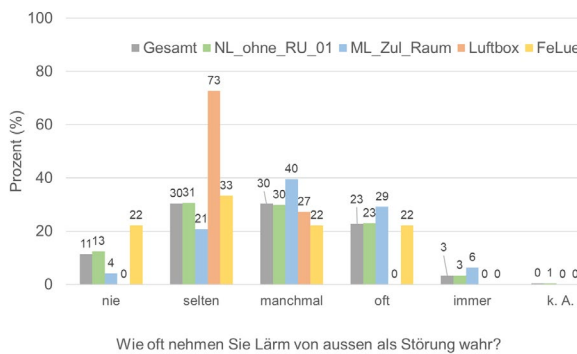


Abb. 23: Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen im Sommer als Störung wahr? Unterteilt nach Lüftungskonzept.
Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

Abb. 24: Wie oft fühlen Sie sich durch die Geräusche, die von der Lüftung verursacht werden im Sommer (Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) gestört? Unterteilt nach Lüftungskonzept.
Verwendete Abkürzungen: siehe «Differenzierung nach Lüftungskonzept III», Kap. 3.3.3.

5.5 Information Benutzende

5.5.1 Winter

Auswertung: Gesamt I und Gebäude IV

Bei der Befragung wird erhoben, ob die Benutzenden über das Lüftungskonzept im Gebäude informiert und ob sie zum sachgemässen Lüften angehalten worden sind. Abb. 15 zeigt auf, dass entweder über beide Themen gar nicht informiert wurde ($N = 205$ aus 553), «teilweise» ($N = 75$), oder über Lüftungskonzept und das Lüftungsverhalten zusammen ($N = 78$).

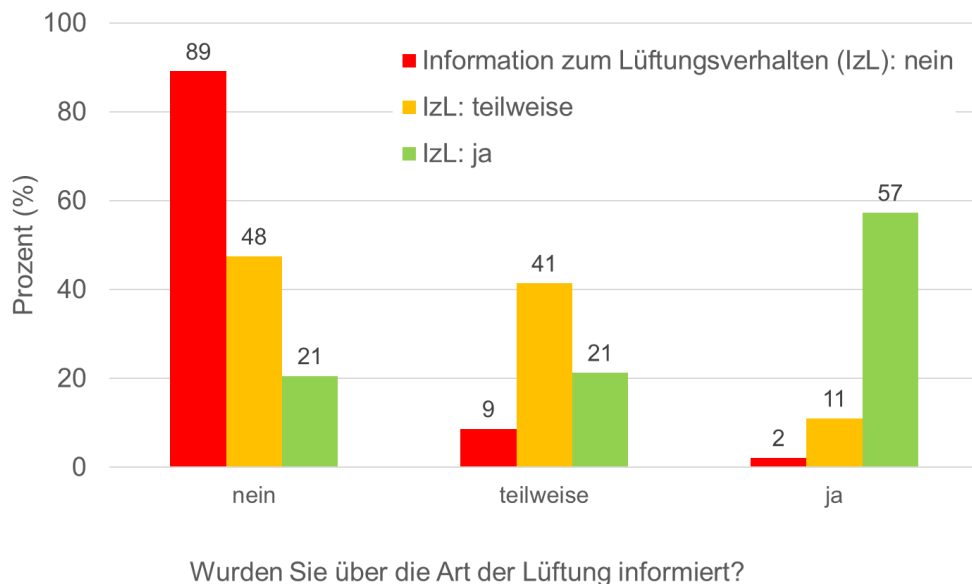


Abb. 25: Informationen zum Lüftungsverhalten in Abhängigkeit vom Erhalt von Informationen zum Lüftungskonzept des Gebäudes. Lesebeispiel: in der Gruppe, die keine Informationen zum Lüftungsverhalten bekommen haben, sind auch 89 % nicht über die Art der Lüftung des Gebäudes informiert worden.

Bezogen auf die Gebäude lässt sich aus den Befragungsergebnissen die Information gewinnen, dass im Gebäude NL_auto_E1 (100 % «ja» oder «teilweise», $N = 26$), NL_auto_M1 (91 % «ja» oder «teilweise», $N = 48$) und FeLue_R1 (75 % «ja» oder «teilweise», $N = 6$) eine Information zur Art der Lüftung stattfand. Eine Information zum gewünschten Lüftungsverhalten im Winter gab es für die Hälfte bis zur Mehrzahl der Befragten in den Gebäuden NL_auto_E1 (97 % «ja» oder «teilweise», $N = 25$), NL_auto_M1 (55 % «ja» oder «teilweise», $N = 29$) und RU (50 % «ja» oder «teilweise», $N = 4$).

5.5.2 Sommer

Da das Lüftungsverhalten an das Aussenklima angepasst sein soll, wird auch im Sommer erhoben, ob die Benutzenden über das gewünschte Lüftungsverhalten informiert sind. Knapp die Hälfte verneinen dies ($N = 211$ von 259), jeweils ein Fünftel geben an «teilweise», oder umfassende Informationen erhalten zu haben.

Bezogen auf das Gebäude gab es zur gewünschten sommerlichen Lüftung in den Gebäuden NL_auto_E1 eine Information (93 % «ja» oder «teilweise», $N = 25$), NL_auto_M1 (44 % «ja» oder «teilweise», $N = 44$), RU (77 % «ja» oder «teilweise», $N = 8$), NL_man_I1+_I2 (42 % «ja» oder «teilweise», $N = 102$) und ML_NL_man_B1 (70 % «ja» oder «teilweise», $N = 38$).



5.6 Zufriedenheit mit der Lüftung

5.6.1 Winter

Auswertung: Gesamt I, Lüftungskonzept III

Rund 80 % der Befragten sind mit der Aufenthaltsqualität ihres Arbeitsplatzes «etwas zufrieden» oder «zufrieden» ($N = 443$, Tabelle 29). Einen grösseren Einfluss auf die Lüftung wünschen sich «oft» oder «immer» 13 % ($N = 70$). «Nie» oder «selten» besteht dieser Wunsch bei 57 % ($N = 313$). «Manchmal» wünschen sich 29 % ($N = 159$) einen grösseren Einfluss auf die Lüftung. Die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept wird über die Frage, ob die Benutzenden ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen würden, abgeklärt. Rund 35 % antworten mit «ja» sind also zufrieden ($N = 194$). Mit «eventuell» antworten 44 % der Befragten ($N = 243$). Unzufrieden (Antwort «nein») sind 19 % ($N = 105$). Schwache Korrelationen bestehen zwischen der Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz und der Einflussnahme auf die Lüftung ($\tau_b = 0.249^{**}$), sowie zwischen der Einflussnahme auf das Lüftungssystem und der generellen Zufriedenheit ($\tau_b = 0.309^{**}$). Eine mittelstarke Korrelation besteht zwischen der Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz und der generellen Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem ($\tau_b = 0.417^{**}$).

Werden Aufenthaltsqualität, Einflussnahme und generelle Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept auf Zusammenhänge mit dem Lüftungskonzept (Def. siehe 3.3.3) untersucht, dann kann nur eine einseitige, sehr schwache Korrelation mit den Gebäuden mit Luftboxen festgestellt werden ($\tau_b = 0.083^*$). In diesen Gebäuden können/sollen die Fenster nicht geöffnet werden.

Untersucht man den Unterschied zwischen Gebäuden mit manueller ($N = 324$) und automatischer Fensterlüftung ($N = 79$) tagsüber so würde jeweils etwa ein Drittel das Lüftungskonzept weiterempfehlen und rund 45 % «eventuell». Es treten keine signifikanten Korrelationen auf.

Tabelle 29: Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität des Arbeitsplatzes (ZAA), Wunsch nach mehr Einfluss auf die Lüftung (EL) und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept (ZL, Frage nach Weiterempfehlung Lüftungskonzept).

Interpretationshilfe:

ZAA: 1 = «unzufrieden», 2 = «etwas unzufrieden», 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»,

EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

		Zufriedenheit mit Aufenthaltsqualität Arbeitsplatz ZAA	Wunsch nach mehr Einfluss auf Lüftung EL	Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ZL
Gesamt	<i>D</i>	5.0	2.0	2.0
	\bar{x}	5.0	2.0	2.0
	\bar{x}	4.2	2.3	2.1
	<i>s</i>	1.1	1.1	0.8
	<i>N</i>	553	553	553

5.6.2 Sommer

Auswertung: Gesamt I, Lüftungskonzept III

Mehr Einfluss auf die Lüftung wünschen sich rund 30 % «oft» oder «immer» ($N = 152$ von 459, Tabelle 30). «Manchmal» wünscht sich dies etwa ein Drittel ($N = 151$) und «selten» oder «nie» ebenfalls ein gutes Drittel ($N = 164$). Ein Viertel der Befragten ist zufrieden mit dem Lüftungskonzept ($N = 121$), jeweils ein Drittel mittelmässig oder gar nicht ($N = 180$, bzw. 151). Es besteht eine mittelstarke,



hochsignifikante Korrelation zwischen der Einflussnahme auf die Lüftung und der generellen Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem ($r_b = 0.420^{**}$).

Werden Einflussnahme und generelle Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept auf Zusammenhänge mit dem Lüftungskonzept (Def. siehe 3.3.3)) untersucht, dann treten keine Korrelation auf.

Untersucht man den Unterschied zwischen Gebäuden mit manueller ($N = 304$) und automatischer Fensterlüftung ($N = 87$) tagsüber so würde jeweils etwa ein Viertel das Lüftungskonzept weiterempfehlen und von den Nutzenden mit automatischer Lüftung ein Drittel «eventuell» und von denen mit manueller Lüftung rund 40 % «eventuell». Es treten keine signifikanten Korrelationen auf.

Tabelle 30: Wunsch nach mehr Einfluss auf die Lüftung (EL) und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept (ZL, Frage nach Weiterempfehlung Lüftungskonzept) im Sommer.

Interpretationshilfe:

EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

		Wunsch nach mehr Einfluss auf Lüftung EL	Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ZL
Gesamt	<i>D</i>	3.0	2.0
	\bar{x}	3.0	2.0
	\bar{x}	2.9	1.9
	<i>s</i>	1.2	0.8
	<i>N</i>	459	459

5.7 Unterschiedliche Bewertung von NL und ML im selben Gebäude?

In den Gebäuden ML_NL_man_B1 und NL_man_Z2 und _02 gibt es in ein und demselben Gebäude Bereiche mit ML und mit NL. Daher ist es interessant zu sehen, ob es innerhalb der beiden Gebäude signifikante Unterschiede in der Beurteilung gibt.

5.7.1 Winter

Auswertung: Gebäude IV

Die Mittelwerte der nachfolgenden Fragestellungen werden daraufhin untersucht, ob sie sich in den beiden Gebäuden signifikant voneinander unterscheiden:

1. Spüren Sie im Winter in der Nähe des geschlossenen Fensters / am Arbeitsplatz Zugluft?
2. Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität im Büro (Frische, Düfte, etc.) im Winter?
3. Wie empfinden sind Sie die Luftfeuchtigkeit / die Temperatur im Büro im Winter?
4. Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen / von der Lüftung (z. B. Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) im Winter als Störung wahr?
5. Wie zufrieden sind Sie mit der Aufenthaltsqualität an Ihrem Arbeitsplatz im Allgemeinen?
6. Wünschen Sie sich mehr Einfluss auf die Lüftung?
7. Würden Sie ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen?



Da die Stichprobengrösse bei beiden Gebäuden in der Unterkategorie (ML, NL) $N \leq 30$ ist, werden die Populationen auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) hin getestet. Da diese nicht gegeben ist, wird zur Untersuchung, ob es einen Unterschied zwischen beiden Gebäudebereichen gibt, der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. In der Tabelle 31 werden nur die Parameter aufgeführt, bei denen sich die Mittelwerte statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Beim Gebäude ML_NL_man_Z2 treten nur bei einem einzigen Parameter, der Zufriedenheit mit der Temperatur, signifikante Unterschiede auf. Die Effektstärke liegt bei $r = 0.33$ und entspricht einem starken Effekt. Beim Gebäude ML_NL_man_B1 ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den natürlich und dem mechanisch belüfteten Räumen.

Tabelle 31: Zufriedenheit Benutzende hinsichtlich Raumluftqualität, Raumtemperatur und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den Mann-Whitney-U-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe: ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

		Zufriedenheit Raumtemperatur (ZRT)
NL_man_Z2 NL	\bar{x}	2.5
	s	0.64
	N	15
Mann- Whitney-U- Test	U	116
	Z	-2.1
	$Sig.$	0.035
	r	0.33
ML_Z2 ML	\bar{x}	3.0
	s	0.81
	N	24

5.7.2 Sommer

Im Sommer werden die Mittelwerte der Fragestellungen 2 – 4 sowie 6 und 7 aus dem Winter (Kap. 5.7.1) daraufhin untersucht, ob sie sich bei den Gebäuden ML_NL_man_Z2 und ML_NL_man_B1 signifikant unterscheiden (Fragen 1 und 5 wurden im Sommer nicht gestellt). Auch hier wird der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Beim Gebäude ML_NL_man_Z2 ergeben sich keine signifikanten Unterschiede. Beim Gebäude ML_NL_man_B1 können bei fünf Fragestellungen (Tabelle 32) Unterschiede festgestellt werden. Bei den Themen «Zufriedenheit mit Luftfeuchtigkeit» und «Störung Lärm durch Lüftung» sind die Effektstärke mittel, bei den Fragen «Zufriedenheit mit Raumtemperatur», «Wirksamkeit der Nachtlüftung» und «Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept» sind die Effekte stark.



Tabelle 32: Zufriedenheit Benutzende hinsichtlich, Raumtemperatur, Raumlufffeuchte, Nachtlüftung, Lärm durch die Lüftung und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den Mann-Withney-U- wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen Test (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

ZRT: 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

WNL: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm»

SLL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal»,

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

		Zufriedenheit Raumtemperatur (ZRT)	Zufriedenheit Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Wirksamkeit der Nachtlüftung (WNL)	Störung Lärm Lüftung (SLL)	Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ZL
NL_man_B1	\bar{x}	4.5	2.7	5.0	1.9	1.5
	<i>s</i>	0.76	0.66	1.0	0.91	0.83
	<i>N</i>	20	20	20	20	20
Mann- Withney-U- Test	<i>U</i>	1514	2187	1459	2027	1960
	<i>Z</i>	-3.5	-2.0	-3.7	-2.2	-2.3
	<i>Sig.</i>	<0.001	0.046	<0.001	0.027	0.022
	<i>r</i>	0.47	0.27	0.5	0.3	0.31
ML_B1	\bar{x}	3.9	3.1	4.4	1.9	2.1
	<i>s</i>	0.97	0.87	1.7	0.94	0.88
	<i>N</i>	35	35	35	35	35



5.8 Zusammenhang zwischen Gebäude und Zufriedenheit der Benutzenden

5.8.1 Winter

Auswertung: Gesamt I und Gebäude IV

Es liegt nahe zu untersuchen, ob es einen Einfluss auf die Bewertung des thermischen und akustischen Komforts, der Innenraumlufthqualität und der Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem hat, in welchem Gebäude die Benutzenden arbeiten. Wie Tabelle 33 zeigt, besteht bei den meisten Parametern eine sehr schwache Korrelation, nur bei den Parametern «Zufriedenheit mit Luftfeuchtigkeit» und «Zufriedenheit mit Lüftungskonzept» besteht keine Korrelation.

Anmerkung: wie in Kapitel 5.7.1 gezeigt wird, kann das Gebäude ML_NL_man_B1 trotz der unterschiedlichen Lüftungssysteme innerhalb des Gebäudes als Einheit betrachtet werden. Das Gebäude ML_NL_man_Z2 wird nach Lüftungssystem getrennt analysiert.

Betreffend Zugluft bei geschlossenem Fenster haben die Gebäude NL_man_I1+_I2 ($\bar{x} = 1.6$, $N = 247$) und NL_auto_E1 ($\bar{x} = 1.5$, $N = 26$) den niedrigsten = besten Mittelwert. Dies trifft auch auf die Zugluft am Arbeitsplatz zu (NL_man_I1+_I2: $\bar{x} = 1.5$, $N = 247$, NL_auto_E1 $\bar{x} = 1.6$, $N = 26$). Den höchsten Mittelwert für beide Parameter haben die Gebäude LuBo_Z3 (geschlossenes Fenster $\bar{x} = 3.7$, $N = 3$, Arbeitsplatz: $\bar{x} = 3.0$, $N = 3$) und NL_man_Z4 (geschlossenes Fenster $\bar{x} = 2.4$, $N = 39$, Arbeitsplatz: $\bar{x} = 2.5$, $N = 39$). Bei geöffneter Lüftungseinrichtung treten in den Gebäuden LuBo_Z3 mit Luftboxen ($\bar{x} = 3.3$, $N = 3$) und NL_man_Z4 mit Fensterlüftung ($\bar{x} = 3.2$, $N = 39$) die stärksten Zegerscheinungen auf. Am wenigsten ist Zugluft im Gebäude LuBo_Z1 ($\bar{x} = 1.9$, $N = 65$) mit Luftboxen zu spüren.

Bei der Bewertung der Luftqualität haben die Gebäude LuBo_Z3 ($\bar{x} = 2.3$, $N = 3$) und NL_man_Z2 ($\bar{x} = 2.9$, $N = 15$) den schlechtesten Wert. LuBo_Z3 hat ML und NL_man_Z2 hat NL. Den besten Wert weist das Gebäude ML_NL_man_B1 auf ($\bar{x} = 4.1$, $N = 73$).

Das Gebäude mit den höchsten berichteten Raumtemperaturen ist das Gebäude ML_Z2 ($\bar{x} = 3.0$, $N = 24$). Das Gebäude mit den tiefsten Raumtemperaturen ist das Gebäude NL_auto_E1 ($\bar{x} = 1.8$, $N = 26$). Das Gebäude NL_auto_E1 verfügt über keine Heizung.

Die Bewertung der Raumlufffeuchte unterscheidet sich zwischen den Gebäuden nicht sehr. Die Gebäude mit der trockensten Luft sind LuBo_Z3 ($\bar{x} = 3.7$, $N = 3$), NL_man_Z4 ($\bar{x} = 3.6$, $N = 39$) und NL_man_Z2 ($\bar{x} = 3.5$, $N = 15$). Das Gebäude mit der angenehmsten Raumlufffeuchte ist das Gebäude NL_auto_M1 ($\bar{x} = 3.1$, $N = 53$). Die Werte weisen insgesamt aber keine grosse Spreizung auf und es tritt keine Korrelation zwischen dem Parameter und dem Gebäude auf.

Störende Geräusche von aussen treten am stärksten im Gebäude LuBo_Z3 ($\bar{x} = 3.7$, $N = 3$) und ML_NL_man_B1 ($\bar{x} = 2.0$, $N = 73$) auf. Das Gebäude ML_NL_man_B1 liegt an einer Strasse, deren Beurteilungspegel tagsüber im Bereich des Grenzwertes für eine reine Wohnnutzung liegt (Mobilitätsmodell 2015). Am ruhigsten wird das Gebäude NL_man_Z2 ($\bar{x} = 1.6$, $N = 15$) mit NL beurteilt. Er liegt allerdings an einer Strasse, deren Immissionsgrenzwert tagsüber überschritten wird (Stand 2020). Da die Beurteilung des Strassenlärms zumindest im ähnlichen Bereich liegt, ist ein Zusammenhang mit dem Lüftungskonzept nicht auf den ersten Blick erkennbar. Geräusche von der Anlage oder den Fenstermotoren werden störend in den Gebäuden LuBo_Z3 ($\bar{x} = 3.3$, $N = 3$) und NL_auto_M1 ($\bar{x} = 2.2$, $N = 53$) wahrgenommen. Wenig Geräusche von der Anlage treten im Gebäude FeLue_R1 ($\bar{x} = 1.1$, $N = 8$) mit Fensterlüftern auf. Bei diesem Gebäude ist die Abluftanlage stark runtergefahren, um Zegerscheinungen zu vermeiden.

Wie Abb. 27 zeigt, verspüren die Nutzenden vom Gebäude LuBo_Z3 ($\bar{x} = 3.7$, $N = 3$, mit Luftboxen) und NL_man_Z2 ($\bar{x} = 2.8$, $N = 15$ mit NL) am häufigsten den Wunsch Einfluss auf die Lüftung zu nehmen. Beide Gebäude haben eine mechanische Lüftung. Im Gebäude ML_NL_man_B1 besteht dazu am seltensten Anlass ($\bar{x} = 2.0$, $N = 73$).



Mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz sind die Befragten im Gebäude ML_NL_man_B1 ($\bar{x} = 4.5$, $N = 73$) am zufriedensten (Abb. 26). Wenig überraschend ist die Zufriedenheit im Gebäude LuBo_Z3 ($\bar{x} = 3.3$, $N = 3$) und NL_man_Z4 ($\bar{x} = 3.7$, $N = 39$) am geringsten (Abb. 26).

Am zufriedensten mit dem Lüftungskonzept sind die Nutzenden von LuBo_Z1 ($\bar{x} = 2.4$, $N = 24$, mit Luftboxen) und ML_NL_man_B1 ($\bar{x} = 2.4$, $N = 73$), (Abb. 28). Am geringsten ist die Zufriedenheit in den Gebäuden LuBo_Z3 ($\bar{x} = 1.7$, $N = 3$, mit Luftboxen) und NL_man_Z2 ($\bar{x} = 1.8$, $N = 15$, mit NL). Beim Gebäude LuBo_Z3 ist dies wenig überraschend, da hier mit fast allen Parametern eine grosse Unzufriedenheit besteht (Achtung: nur drei Teilnehmer:innen). Beim Gebäude NL_man_Z2 besteht Unzufriedenheit bei der Einflussnahme auf die Lüftung und bei der Zufriedenheit mit der Raumluftqualität.

Tabelle 33: Untersuchung Parameter zum thermischen und zum akustischen Komfort, zur Innenraumluftqualität und zur Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem und der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz bezogen auf das Gebäude. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau.

Interpretationshilfe:

BZ, ZLV, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 1 = «unzufrieden», 2 = «etwas unzufrieden», 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»,

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Bewertung Zugluft		Zufriedenheit mit			Störung durch		Aufenthaltsqualität AP (ZAA)	Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)
	Fenster zu (BZ)	AP (BZ)	Luftqualität (ZIDA)	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemp. (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
D	1.0	1.0	5.0	3.0	3.0	2.0	1.0	5.0	2.0	2.0
\tilde{x}	1.0	1.0	5.0	3.0	3.0	2.0	1.0	5.0	2.0	2.0
\bar{x}	1.7	1.8	3.7	3.3	2.5	1.9	1.5	4.2	2.3	2.1
N	553	553	553	553	553	553	553	553	553	553
s	1.1	1.1	1.3	0.83	0.86	0.88	0.88	1.1	1.1	0.78
τ_b	-0.146**	-0.153**	0.136**	-	0.093**	0.081*	-0.191**	-0.112**	-0.166**	-

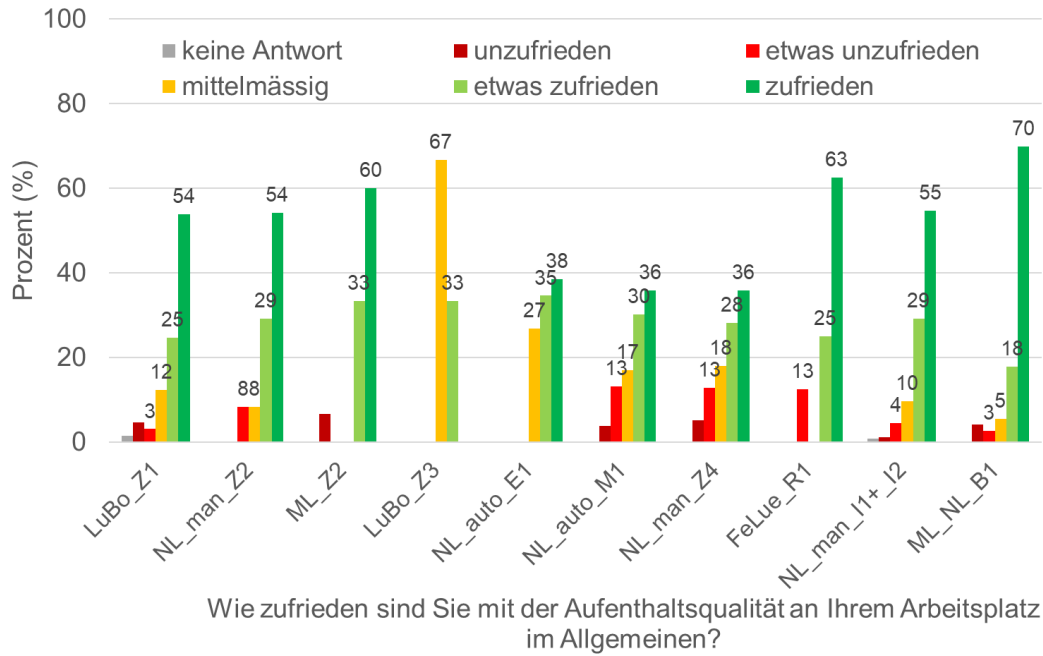


Abb. 26: Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz. Angabe in Prozent.

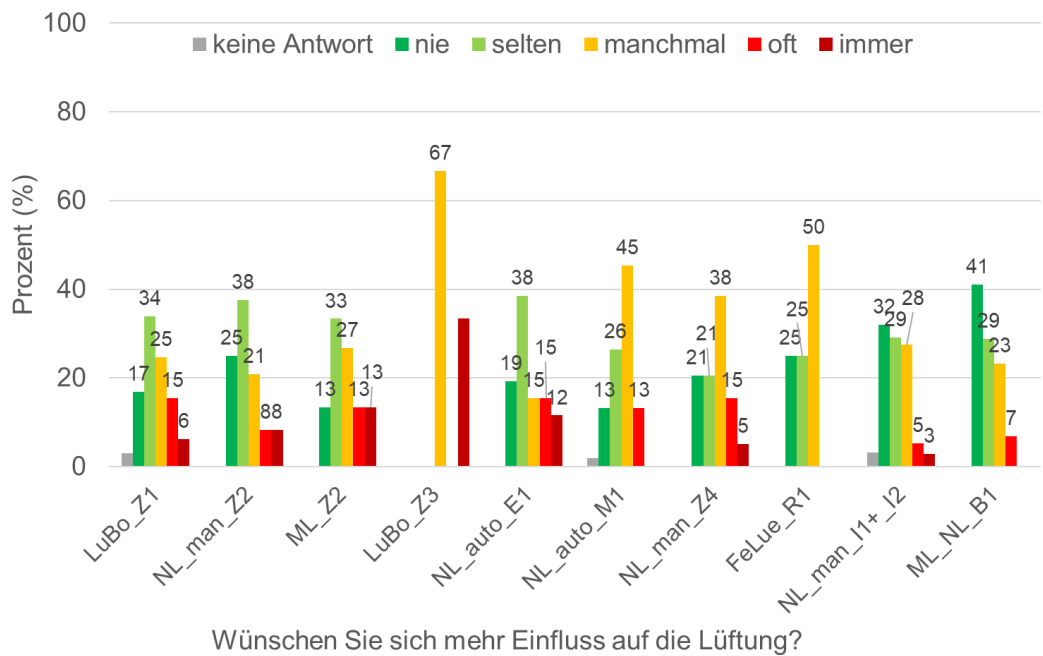


Abb. 27: Wunsch nach mehr Einfluss auf die Lüftung. Angabe in Prozent.

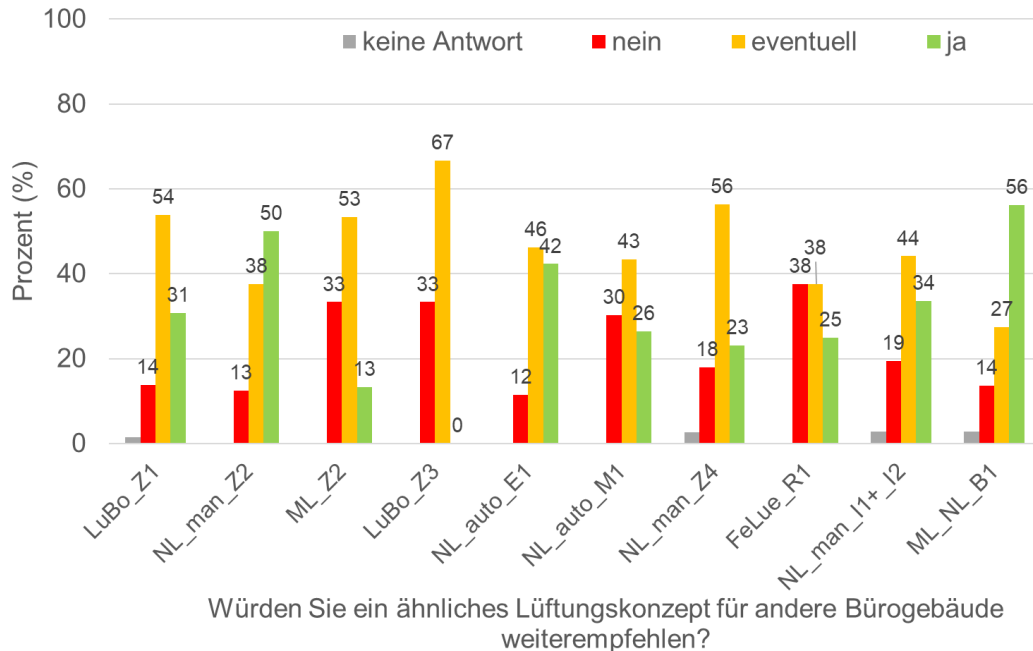


Abb. 28: Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept («Weiterempfehlung des Lüftungskonzeptes»). Angabe in Prozent.

5.8.2 Sommer

Wie Tabelle 34 zeigt, treten zwischen der Bewertung des thermischen und akustischen Komforts, der Innenraumluftqualität und der Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem und dem Gebäude, in dem die Benutzenden arbeiten nur im Bereich des Lärms sehr schwache, bis schwache hochsignifikante Korrelationen auf.

Im Sommer wird das Gebäude ML_NL_man_B1 getrennt nach Lüftungssystem betrachtet, da sich zu dieser Jahreszeit signifikante Unterschiede in den Gebäudeteilen zeigen (Kap. 5.7.2). Von der gebäudeweisen Auswertung ausgenommen ist das Gebäude LuBo_Z3, da hier nur zwei Personen an der Befragung teilgenommen haben.

Bezogen auf die Wirksamkeit der Nachtlüftung wird der natürlich belüftete Teil des Gebäudes NL_man_B1 mit Abstand am schlechtesten bewertet ($\bar{x} = 5.0$, $N = 20$). Hier wäre allenfalls eine durch die Benutzenden ausgeführte manuelle Nachtlüftung möglich. Die Gebäude ML_Z2 und NL_man_I1+_I2 werden am besten bewertet ($\bar{x} = 3.8$, $N = 13$, bzw. 240). Beide Gebäude verfügen über eine automatische Nachtlüftung (siehe Kapitel 4.2.1).

Als am wärmsten werden die Raumtemperaturen im Gebäude LuBo_Z1 ($\bar{x} = 4.4$, $N = 9$) beurteilt. Das Gebäude verfügt über Erdsonden und eine Wärmepumpe, die Kälteabgabe erfolgt über BKT und die Luftboxen. Das Gebäude, in dem die Temperaturen als «angenehm» mit einer leichten Tendenz hin zu «etwas zu warm» bewertet werden ist FeLue_R1 ($\bar{x} = 3.3$, $N = 9$). Das Gebäude verfügt über Erdsonden und eine Kälteabgabe über BKT. Die Raumluftfeuchte wird in den Gebäuden ML_Z2, NL_auto_M1, FeLue_R1 und NL_man_I1+_I2 als «angenehm» beurteilt ($\bar{x} = 3.0$, $N = 13$, 60, 9 und 240), in den Gebäuden NL_auto_E1 und NL_man_Z4 wird sie am kritischsten mit einer leichten Tendenz zu «etwas zu feucht» ($\bar{x} = 2.7$, $N = 27$, bzw. 35) bewertet. Die Werte weisen insgesamt aber keine grosse Spreizung auf.



Bei der Zufriedenheit mit der Raumluftqualität wird das Gebäude NL_man_Z2 und NL_man_B1 mit NL als Lüftungsprinzip am schlechtesten bewertet ($\bar{x} = 2.7$, $N = 9$), das Gebäude FeLue_R1 mit NL und Fensterlüftern am besten ($\bar{x} = 3.8$, $N = 9$).

Lärm von aussen als Störung wird im Gebäude ML_NL_man_B1 mit «manchmal» und einer leichten Tendenz hin zu «häufig» wahrgenommen (ML_B1: $\bar{x} = 3.3$, $N = 35$, NL_man_B1: $\bar{x} = 3.2$, $N = 20$). Das Gebäude liegt an einer Strasse, deren Beurteilungspegel tagsüber im Bereich des Grenzwertes für eine reine Wohnnutzung liegt (Mobilitätsmodell 2015). Am besten wird das Gebäude LuBo_Z1 bewertet. Lärm wird dort «selten» mit einer leichten Tendenz zu «manchmal» als störend bewertet ($\bar{x} = 2.2$, $N = 9$). Geräusche von der Lüftung werden im Gebäude NL_man_Z2 mit NL als am störendsten mit «selten» und einer Tendenz zu «manchmal» beurteilt ($\bar{x} = 2.4$, $N = 9$). Dieses Gebäude hat eine automatische Nachtlüftung und (möglicherweise) laute Ventilatoren in den innenliegenden Sitzungsräumen. Am wenigsten präsent sind Geräusche von der Anlage im Gebäude FeLue_R1 ($\bar{x} = 1.4$, $N = 9$).

Abb. 29 zeigt den Wunsch der Benutzenden nach mehr Einfluss auf die Lüftung aufgeschlüsselt nach Gebäuden. Es wird deutlich, dass im Gebäude NL_auto_E1 der stärkste Wunsch besteht ($\bar{x} = 3.1$, $N = 27$). Dieses Gebäude verfügt über eine automatische Fensterlüftung. Im Gebäude FeLue_R1 ist der Wunsch am wenigsten ausgeprägt ($\bar{x} = 2.3$, $N = 9$). Das Gebäude hat NL mit Fensterlüftern.

Die höchste Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept (Abb. 30) besteht in den Gebäuden ML_Z2 (mit ML), FeLue_R1 (mit NL) und NL_man_I1+_I2 (mit NL), ($\bar{x} = 2.0$, $N = 13$, 9 und 240). Am wenigsten zufrieden sind die Nutzenden in den Gebäuden NL_man_Z2 (mit NL) und NL_auto_E1 (mit NL und automatischer Fensterlüftung), ($\bar{x} = 1.7$, $N = 9$ und 27). Beim Gebäude NL_man_Z2 besteht im Vergleich mit den anderen Gebäuden die schlechteste Bewertung im Bereich der Luftqualität und der Geräusche durch die Lüftung. Beim Gebäude NL_auto_E1 wird die Luftfeuchte schlecht bewertet und der Einfluss auf die Lüftung.

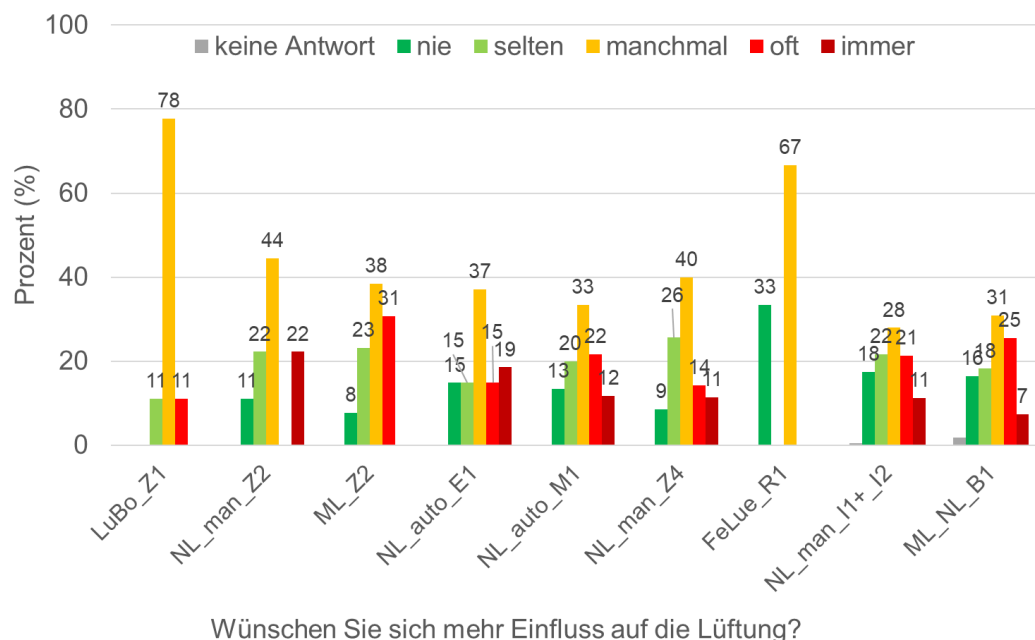


Abb. 29: Wunsch nach mehr Einfluss auf die Lüftung im Sommer. Angabe in Prozent.

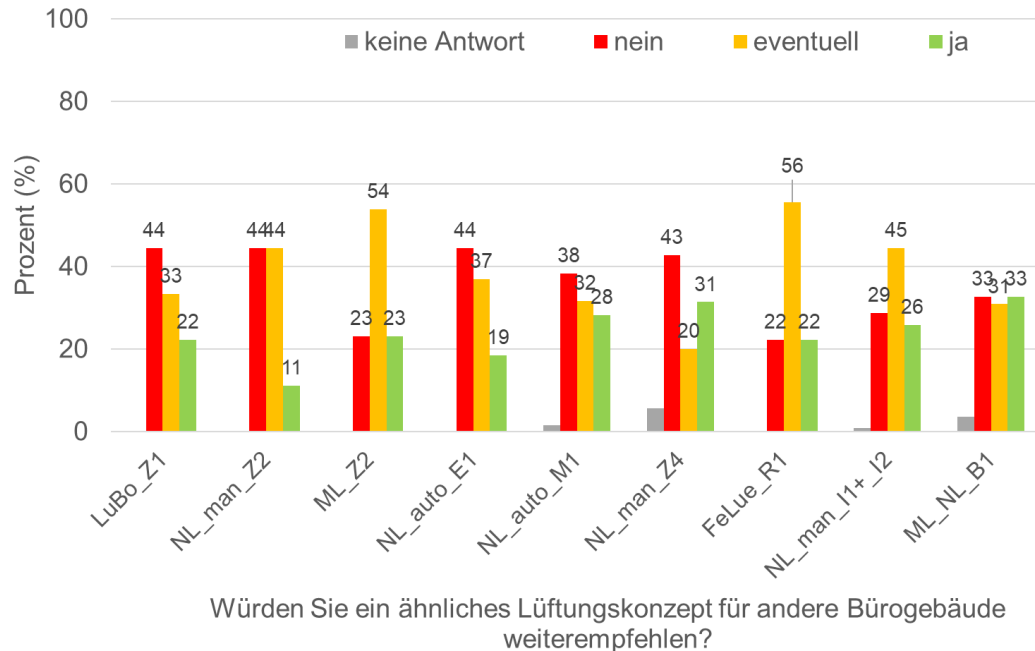


Abb. 30: Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept («Weiterempfehlung des Lüftungskonzeptes») im Sommer. Angabe in Prozent.

Tabelle 34: Untersuchung Parameter zum thermischen und zum akustischen Komfort, zur Innenraumluftqualität und zur Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem und der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz bezogen auf das Gebäude im Sommer. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau. Anmerkung: die gegenläufigen Korrelationen ergeben sich bei Parametern, bei denen ein kleiner Wert einer positiven Bewertung (z. B. «nie») entspricht. Interpretationshilfe:
 WNL: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»
 SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»
 ZIDA: 1 = «unzufrieden», 2 = «etwas unzufrieden», 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»,
 ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»
 ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»
 ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Wirk-samkeit Nacht-lüftung (WNL)	Zufriedenheit mit			Störung durch		Ein-fluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüft-ungs-konzept (ZL)
		Luft-qualität (ZIDA)	Luft-feuchtig-keit (ZLF)	Raum-temp. (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)		
<i>D</i>	4.0	3.0	3.0	4.0	2.0	1.0	3.0	2.0
\bar{x}	4.0	3.0	3.0	4.0	2.0	1.0	3.0	2.0
\bar{x}	4.0	3.2	2.9	3.9	1.9	1.7	2.9	1.9
<i>N</i>	459	459	459	459	459	459	459	459
<i>s</i>	1.1	1.3	0.66	0.89	1.1	0.9	1.2	0.8
τ_b	-	-	-		0.210**	-0.143**	-	-



5.9 Einfluss passive oder aktive Kühlung auf die Zufriedenheit der Benutzenden im Sommer

Auswertung: Kühlkonzept V

Die Gebäude können je nach Kühlkonzept und der Kälteabgabe unterschieden werden. Angaben zur Aufteilung finden sich Kapitel 3.3.3. Dabei gibt es sechs unterschiedliche Konzepte:

- Gebäude mit einer hohen Kühlleistung über eine aktive Kühlung (Kälteverteilung über die Zuluft, Deckensegel, ggf. BKT) und keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung.
- Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung über eine aktive Kühlung mit Geothermie und eine Wärmepumpe (Kälteverteilung über BKT) und keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung.
- Gebäude ohne Kühlleistung und mit automatischer / manueller Nachtlüftung

Als am wärmsten wird die Raumlufttemperatur in den Gebäuden mit einer hohen Kühlleistung bewertet ($\bar{x} = 4.4$ (4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm», Häufigkeiten siehe Tabelle 35). Weniger kritisch, also kühler, wird die Raumlufttemperatur in den Gebäuden mit einer mittleren Kühlleistung mit/ohne automatischer Nachtlüftung bewertet ($\bar{x} = 3.8$). In der Mitte liegen die Gebäude ohne Kühlleistung mit automatischer Nachtlüftung ($\bar{x} = 3.9$) und die Gebäude mit einer hohen Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung, sowie das Gebäude ohne Kühlleistung mit manueller Nachtlüftung (jeweils $\bar{x} = 4.1$). Eine sehr schwache, gleichgerichtete, hochsignifikante Korrelation besteht zwischen der Bewertung der Raumtemperatur und dem Kühlkonzept bei den Gebäuden mit einer hohen Kühlleistung. Diejenigen mit einer hohen Kühlleistung beurteilen die Lufttemperatur also kritischer (finden es wärmer). Eine sehr schwache, gegenläufige, hochsignifikante Korrelation besteht zwischen der Bewertung der Raumtemperatur und dem Kühlkonzept bei den Gebäuden mittlerer ohne Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung. Das heisst, dass diejenigen mit mittlerer Kühlleistung und Nachtlüftung die Temperatur weniger kritisch beurteilen (finden es also kühler).

Die Wirksamkeit der Nachtlüftung (Temperaturbewertung morgens beim Betreten des Raumes) wird in den Gebäuden mit einer hohen oder mittleren Kühlleistung mit jeweils automatischer Nachtlüftung am besten bewertet ($\bar{x} = 3.8$ (3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», Häufigkeiten siehe Tabelle 35). In den Gebäuden ohne Kühlleistung und mit automatischer, oder manueller Nachtlüftung wird die Wirksamkeit etwas kritischer beurteilt ($\bar{x} = 4.0$, bzw. $\bar{x} = 3.9$). In den Gebäuden, die keine Nachtlüftung haben, wird die Temperatur morgens beim Betreten des Raumes wärmer beurteilt (Gebäude mit hoher Kühlleistung: $\bar{x} = 4.7$ und Gebäude mit mittlerer Kühlleistung $\bar{x} = 4.3$). Eine sehr schwache, gegenläufige, hochsignifikante Korrelation besteht zwischen der Beurteilung der Wirksamkeit der Nachtlüftung bei den Gebäuden mit mittlerer Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung. Hier wird die Temperatur also weniger kritisch beurteilt. Eine sehr schwache, gleichgerichtete, hochsignifikante Korrelation besteht bei den Gebäuden mit hoher Kühlleistung. Hier wird die Temperatur kritischer bewertet.

Das Lüftungskonzept wird in den Gebäuden mit mittlerer Kühlleistung am besten bewertet ($\bar{x} = 2.1$ (Weiterempfehlung Lüftungskonzept: 2 = «eventuell», 3 = «ja»)), in den Gebäuden mit hoher Kühlleistung am kritischsten ($\bar{x} = 1.6$). Eine sehr schwache, signifikante, gegenläufige Korrelation zeigt bei diesen Gebäuden, dass das Konzept schlechter bewertet wird.



Tabelle 35: Zufriedenheit Benutzende hinsichtlich Raumluftqualität und Lüftungskonzept in Abhängigkeit vom Kühlkonzept und der Nachtlüftung im Sommer. Es werden nur signifikante Testergebnisse für τ_b ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4), der Signifikanzwert liegt jeweils bei 0.000. * = Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %-Niveau, ** = 1 %-Niveau. Graue Zahlen: Nutzer beurteilen die Nachtlüftung, obwohl das Gebäude über keine Nachtlüftung verfügt. Interpretationshilfe:
 ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»
 WNL: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»
 ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

		Zufriedenheit Raumtemperatur (ZRT)	Wirksamkeit der Nachtlüftung (WNL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)
Gebäude mit einer hohen Kühlleistung und einer automatischen Nachtlüftung	<i>D</i>	4.0	3.0	2.0
	\tilde{x}	4.0	3.0	2.0
	\bar{x}	4.1	3.8	2.0
	<i>s</i>	0.76	1.0	0.7
	<i>N</i>	13	13	13
	τ_b	-	-	-
Gebäude mit einer hohen Kühlleistung	<i>D</i>	5.0	(5.0)	1.0
	\tilde{x}	5.0	(5.0)	1.0
	\bar{x}	4.4	(4.7)	1.6
	<i>s</i>	0.72	(1.1)	0.8
	<i>N</i>	31	(31)	31
	τ_b	0.163**	(0.150**)	-0.092*
Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung und einer automatischen Nachtlüftung	<i>D</i>	4.0	3.0	2.0
	\tilde{x}	4.0	3.0	2.0
	\bar{x}	3.8	3.8	1.9
	<i>s</i>	0.89	1.3	0.78
	<i>N</i>	300	300	300
	τ_b	-0.130**	-0.116**	-
Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung	<i>D</i>	4.0	(4.0)	2.0
	\tilde{x}	4.0	(4.0)	2.0
	\bar{x}	3.8	(4.3)	2.1
	<i>s</i>	0.97	(1.6)	0.84
	<i>N</i>	44	(44)	44
	τ_b	-	(-)	-
Gebäude ohne Kühlleistung mit automatischer Nachtlüftung	<i>D</i>	4.0	4.0	2.0
	\tilde{x}	4.0	4.0	2.0
	\bar{x}	3.9	4.0	1.7
	<i>s</i>	0.93	1.5	0.74
	<i>N</i>	36	36	36
	τ_b	-	-	-
	<i>D</i>	4.0	3.0	2.0



		Zufriedenheit Raumtemperatur (ZRT)	Wirksamkeit der Nachlüftung (WNL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)
Gebäude ohne Kühlleistung mit manueller Nachlüftung	\bar{x}	4.0	3.0	2.0
	\bar{x}	4.1	3.9	1.8
	s	0.82	1.2	0.97
	N	35	35	35
	t_b	-	-	-

5.10 Befragungsergebnisse der Messgebäude

Auswertung: Gesamt I, Gebäude IV

Um zu sehen, ob sich die Mittelwerte der Messgebäude signifikant von der Grundgesamtheit unterscheiden, wird der Zweistichproben t-Test verwendet. Es werden die folgenden Fragestellungen damit untersucht:

- Spüren Sie im Winter in der Nähe des geschlossenen Fensters / bei der geöffneten Lüftungseinrichtung / am Arbeitsplatz Zugluft?
- Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität im Büro (Frische, Düfte, etc.) im Winter?
- Wie empfinden Sie die Luftfeuchtigkeit / die Temperatur im Büro im Winter?
- Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen / von der Lüftung (z. B. Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) im Winter als Störung wahr?
- Wie zufrieden sind Sie mit der Aufenthaltsqualität an Ihrem Arbeitsplatz im Allgemeinen?
- Wünschen Sie sich mehr Einfluss auf die Lüftung?
- Würden Sie ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen?

5.10.1 NL_auto_E1

Winter

Da die Stichprobengrösse von NL_auto_E1 < 30 ist, wird zunächst auf Normalverteilung getestet. Da diese für die untersuchten Parameter nicht vorliegt wird der Unterschied der Mittelwerte mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Signifikanz untersucht.

Das Gebäude NL_auto_E1 unterscheidet sich bei der Bewertung der Zugluft bei geöffneten Fenstern signifikant von der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 3.0$; 3 = «manchmal»). Die Zugluft bei geöffnetem Fenster wird bei NL_auto_E1 also schlechter bewertet als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 2.2$; 2 = selten). Dies ist auch bei der Zufriedenheit mit der Raumluft der Fall (NL_auto_E1: $\bar{x} = 3.1$; 3 = «mittelmässig zufrieden», Grundgesamtheit $\bar{x} = 3.7$; 4 = «etwas zufrieden»). Auch die Raumlufttemperatur wird kühler als bei der Grundgesamtheit bewertet (NL_auto_E1: $\bar{x} = 1.8$; 2 = «etwas zu kalt», Grundgesamtheit $\bar{x} = 2.5$; 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»). Bei der Begehung wird deutlich, dass im Winter situativ an einigen Arbeitsplätzen mit elektrischen Heizlüftern zusätzlich geheizt wird. Bei der Bewertung der Zugluft bei geöffneten Fenstern und der Raumtemperatur entspricht die Effektstärke r einem mittleren Effekt. Bei der Bewertung der Raumluftqualität ist die Effektstärke schwach.

Die übrigen Parameter unterscheiden sich in der Bewertung nicht signifikant von der Grundgesamtheit.

In der Frage, wie häufig gelüftet wird unterscheidet sich das Gebäude nicht von der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 2.0$; 2 = «1 - 2 mal pro Tag»; Gesamtheit $\bar{x} = 2.0$). Die Dauer ist etwas länger als bei der



Gesamtheit ($\bar{x} = 1.8$; 1 = «1-5 Minuten, 2 = «6-10 Minuten»; Gesamtheit $\bar{x} = 1.5$). Hier ist auch die Differenz der Mittelwerte signifikant ($T = 2.2$; $df = 551$, $Sig. = 0.03$). Die Fenster sind seltener länger als 30 Minuten geöffnet als bei der Gesamtheit ($\bar{x} = 1.3$; 1 = «nie», 2 = «selten»; Gesamtheit $\bar{x} = 1.4$).

Bei der Begehung und bei der Messung wird deutlich, dass die Fenster derzeit manuell geöffnet und geschlossen werden (da die automatische Öffnung im Zusammenhang mit der CO₂-Steuerung die Fenster beim Lüftungsvorgang zu lange offen hält). In diesem Zusammenhang sind die Differenzen zur Gesamtheit plausibel. Ob sich die Abweichung bei der Lüftungsdauer auf die automatische oder die manuelle Fensteröffnung bezieht, bleibt offen.

Die meisten der Befragten arbeiten auf dem 2. OG (38 %), auf dem 4. OG sind es 31 %, auf dem 3. OG 19 % und auf dem 1. OG 11.5 %.

Tabelle 36: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_auto_E1 hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Bewertung Zugluft			Zufriedenheit mit			Störung durch		Aufenthaltsqualität AP (ZAA)	Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	F. zu BZ	AP BZ	F. auf BZ	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)				
NL_auto	\bar{x}	1.5	1.6	3.0	3.1	3.2	1.8	1.8	1.8	4.1	2.6	2.3
	s	0.81	0.94	1.3	1.4	1.2	0.75	0.71	0.85	0.82	2.6	0.68
	N	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
M-W-U-Test	U			4299	4986		4399					
	Z			-3.3	-2.4		-3.2					
	$Sig.$			0.001	0.015		0.001					
	r			0.14	0.1		0.19					
Gesamt	\bar{x}	1.7	1.8	1.9	3.7	3.3	2.6	1.9	1.5	4.2	2.2	2.1
	s	1.1	1.1	1.7	1.3	0.83	0.86	0.88	0.88	1.1	1.1	0.78
	N	527	527	527	527	527	527	527	527	527	527	527

Sommer

Auch im Sommer ist die Stichprobengrösse < 30 und es liegt keine Normalverteilung vor, daher wird der Unterschied der Mittelwerte mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Signifikanz untersucht.

Im Vergleich zur Gesamtheit unterscheidet sich das Gebäude nur in Bezug auf den Lärm signifikant von der Grundgesamtheit. Die Bewertung des Lärms von aussen fällt besser aus als bei der Grundgesamtheit (NL_auto_E1: $\bar{x} = 2.3$; 2 = «selten», Grundgesamtheit: $\bar{x} = 2.8$; 3 = «manchmal»). Die Bewertung der Störungen durch Lärm von innen hingegen ist beim untersuchten Gebäude



schlechter als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 2.1$; 2 = «selten»; Grundgesamtheit: $\bar{x} = 1.7$). Die Effektstärke r ist bei beiden Parametern «mittel».

Tabelle 37: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_auto_E1 hinsichtlich Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

ZRT: 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 2 = «etwas zu feucht», 3 = «angenehm»,

ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Wirksamkeit Nachtlüftung (WNL)	Zufriedenheit mit			Störung durch Lärm		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
		Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	von aussen (SLA)	von Lüftung (SLL)			
NL_auto	\bar{x}	4.0	2.8	2.7	3.8	2.3	2.1	3.1	1.7
	s	1.6	1.4	1.0	0.97	1.0	1.1	1.3	0.76
	N	27	27	27	27	27	27	27	27
M-W-U-Test	U					4310	4407		
	Z					-2.4	-2.3		
	$Sig.$					0.018	0.021		
	r					0.11	0.11		
Gesamt	\bar{x}	4.0	3.3	2.9	3.9	2.8	1.7	2.9	1.9
	s	1.7	1.3	0.63	0.89	1.0	0.93	1.2	0.81
	N	432	432	432	432	432	432	432	432

5.10.2 NL_auto_M1

Winter

Die Stichprobengrösse erlaubt hier die Verwendung des t-Tests.

Das Gebäude NL_auto_M1 unterscheidet sich bei zwei Parametern, welche die Zugluft am Arbeitsplatz und bei geöffnetem Fenster betreffen, signifikant von der Grundgesamtheit. Speziell bei geöffneten Fenstern ist die Differenz zwischen den Mittelwerten gross (NL_auto_M1: $\bar{x} = 2.7$; 3 = «manchmal», Gesamtheit: $\bar{x} = 1.9$; 2 = «selten»). Die Effektstärke entspricht einem mittleren Effekt. In allen Fällen ist die Bewertung beim Gebäude NL_auto_M1 schlechter als bei der Grundgesamtheit. Auch bei der Bewertung der Raumluftqualität ergeben sich signifikante Unterschiede ($\bar{x} = 3.4$; 3 = «mittelmässig zufrieden»), wobei die Zufriedenheit mit der Raumluftqualität schlechter ist als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 3.7$; 4 = «etwas zufrieden»), mit einer mittleren Effektstärke.

Auch Störungen durch Lärm der Lüftungseinrichtungen (hier Fensterantriebe und Ventilatoren in den Sitzungsräumen) treten beim Gebäude «selten» ($\bar{x} = 2.2$) auf, bei der Gesamtheit «nie» bis «selten» ($\bar{x} = 1.4$). Bei diesem Parameter ist die Effektstärke stark. Die Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz wird



etwas schlechter bewertet als bei den anderen Gebäuden (NL_auto_M1: \bar{x} = 3.8; Gesamtheit \bar{x} = 4.2; 4 = «etwas zufrieden»). Die Effektstärke ist mittel.

Die Benutzenden lüften selber im Gebäude signifikant weniger als die Gesamtheit: (\bar{x} = 1.6; 2 = «1 - 2 mal pro Tag»; Gesamtheit \bar{x} = 2.0; T = -4.1; df = 551, $Sig.$ = < 0.001). Die Dauer der Lüftung ist etwas kürzer als bei der Gesamtheit (\bar{x} = 1.3; 1 = «1-5 Minuten, 2 = «6-10 Minuten»; Gesamtheit \bar{x} = 1.5). Bei der Frage, ob die Fenster länger als 30 Minuten offen sind, fallen die Antworten der Benutzenden von NL_auto_M1 und der Gesamtheit ähnlich aus (\bar{x} = 1.5; 1 = «nie», 2 = «selten»; Gesamtheit \bar{x} = 1.4).

Über die automatische Fensteröffnung werden die Fenster dreimal täglich für einige Minuten geöffnet (morgens: 5:00-5:10, mittags: 14:00-14:03, nachmittags: 16:45-17:00).

Tabelle 38: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_auto_M1 hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Bewertung Zugluft			Zufriedenheit mit			Störung durch		Aufenthaltsqualität AP (ZAA)	Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	F. zu BZ	AP BZ	F. auf BZ	ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)				
NL_auto	\bar{x}	1.8	2.1	2.7	3.4	3.1	2.5	1.8	2.2	3.8	2.5	2.0
	s	1.2	1.2	1.4	1.3	0.90	0.82	0.99	1.0	1.2	0.95	0.76
	N	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
t-Test	T		2.4 _a	3.3 _a	-2.2 _a				6.0 _a	-2.9 _a		
	df		551	551	551				551	551		
	$Sig.$		0.016	0.001	0.029				0.001	0.004		
	d		0.35	0.48	-0.32				0.86	0.41		
Gesamt	\bar{x}	1.7	1.8	1.9	3.7	3.3	2.5	1.9	1.4	4.2	2.2	2.1
	s	1.1	1.1	1.7	1.2	0.82	0.86	0.87	0.84	1.0	1.1	0.78
	N	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

Sommer

Auch im Sommer kann der t-Test verwendet werden. Das Gebäude unterscheidet sich nur bezüglich des Lärms signifikant von der Grundgesamtheit. Die Bewertung des Lärms von aussen fällt deutlich besser aus als bei der Grundgesamtheit (NL_auto_M1: \bar{x} = 2.1; 2 = «selten», Grundgesamtheit: \bar{x} = 2.8; 3 = «manchmal»). Die Bewertung der Störungen durch Lärm von innen hingegen ist beim untersuchten Gebäude schlechter als bei der Grundgesamtheit (\bar{x} = 2.3; 2 = «selten»; Grundgesamtheit: \bar{x} = 1.6). Die Effektstärke r ist bei beim Lärm von aussen «mittel», beim Lärm von innen «stark».



Tabelle 39: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_auto_M1 hinsichtlich Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Sommer. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

ZRT: 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 2 = «etwas zu feucht», 3 = «angenehm»,

ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Wirksamkeit Nachtlüftung (WNL)	Zufriedenheit mit			Störung durch Lärm		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
		Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	von aussen (SLA)	von Lüftung (SLL)			
NL_auto	\bar{x}	4.0	3.3	2.9	3.9	2.1	2.3	3.0	1.9
	<i>s</i>	1.4	1.3	0.5	0.78	1.0	1.2	1.2	0.85
	<i>N</i>	60	60	60	60	60	60	60	60
t-Test	<i>T</i>					2.6 _a	-5.2 _a		
	<i>df</i>					457	457		
	<i>Sig.</i>					0.013	0.001		
	<i>d</i>					0.35	0.72		
Gesamt	\bar{x}	3.9	3.2	2.9	3.8	2.8	1.6	2.9	1.9
	<i>s</i>	1.3	1.3	0.68	0.91	1.0	0.88	1.2	0.78
	<i>N</i>	399	399	399	399	399	399	399	399

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

5.10.3 ML_NL_man_B1

Winter

Da die Stichprobengrösse von NL_man_B1 < 30 ist, wird zunächst auf Normalverteilung getestet. Da diese für die untersuchten Parameter nicht vorliegt wird der Unterschied der Mittelwerte mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Signifikanz untersucht.

Beim Gebäude ML_NL_man_B1 kann zwischen natürlich und mechanisch belüfteten Gebäudeteilen unterschieden werden. Zwischen den Gebäudeteilen bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Zufriedenheit der Benutzenden (Kap 5.7). Vergleicht man beide Gebäudeteile mit der Grundgesamtheit treten allerdings besonders beim natürlich belüfteten Gebäudeteil grössere Unterschiede auf. Dies ist zunächst bei der Bewertung der Raumluftqualität der Fall, die beim natürlich belüfteten Gebäudeteil besser ist als bei der Gesamtheit (\bar{x} = 4.3; 4 = «etwas zufrieden»). Die Störung durch Lärm von aussen wird etwas schlechter bewertet (\bar{x} = 2.3; 2 = «selten») als bei der Gesamtheit. Signifikant besser bewertet werden die Parameter Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz (\bar{x} = 4.8; 5 = «zufrieden») und der Wunsch nach Einflussnahme auf die Lüftung (\bar{x} = 1.6; 2 = «selten»). Mit Ausnahme der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept und der Bewertung der Raumluftqualität, bei der die Effektstärke schwach ist, sind die Effektstärken bei allen anderen Parametern mittel.

Beim Gebäudeteil mit mechanischer Lüftung unterscheidet sich die Bewertung der Zugserscheinungen bei geöffnetem Fenster signifikant von der Grundgesamtheit (\bar{x} = 2.9; 3 = «manchmal»). Die



Effektstärke ist «mittel». Auch beim Gebäudeteil mit mechanischer Lüftung wird die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept besser bewertet als bei den anderen Gebäuden. Die Benutzenden des Gebäudes würden das Konzept häufiger für andere Gebäude weiterempfehlen als die Gesamtheit (NL_man_B1: \bar{x} = 2.4; 2 = «eventuell», ML_B1: \bar{x} = 2.3; 2 = «eventuell»). Auch hier ist die Effektstärke knapp mittel.

Tabelle 40: Zufriedenheit Benutzende Gebäude ML_NL_man_B1 hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Bewertung Zugluft			Zufriedenheit mit			Störung durch		Aufenthaltsqualität AP (ZAA)	Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	F. zu BZ	AP BZ	F. auf BZ	ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)				
NL_man_B1	\bar{x}	1.65	1.6	2.1	4.3	3.4	2.6	2.3	1.5	4.8	1.6	2.4
	<i>s</i>	1.0	0.84	1.4	0.93	0.59	0.59	0.75	0.73	0.42	0.71	0.73
	<i>N</i>	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
M-W-U-Test	<i>U</i>				4430			4370		4189	4074	4673
	<i>Z</i>				-2.3			2.5		-2.78	-2.79	-2.0
	<i>Sig.</i>				0.021			0.014		0.005	0.005	0.042
	<i>r</i>				0.1			0.11		0.12	0.12	0.09
Gesamt	\bar{x}	1.7	1.8	1.9	3.7	3.3	2.5	1.9	1.5	4.2	2.3	2.1
	<i>s</i>	1.1	1.1	1.7	1.3	0.84	0.87	0.90	0.9	1.1	1.1	0.76
	<i>N</i>	530	530	411	530	530	530	530	530	530	530	530
ML_B1	\bar{x}	1.8	1.9	2.9	4.0	3.4	2.6	1.9	1.5	4.3	2.1	2.3
	<i>s</i>	1.3	1.4	1.8	1.1	0.84	0.83	0.84	0.79	1.2	1.0	0.87
	<i>N</i>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
M-W-U-Test	<i>U</i>			8667								10089
	<i>Z</i>			-3.69								-2.48
	<i>Sig.</i>			0.001								0.026
	<i>r</i>			0.1								0.11
Gesamt	\bar{x}	1.7	1.8	1.9	3.7	3.3	2.5	1.9	1.5	4.2	2.3	2.1
	<i>s</i>	1.1	1.1	1.7	1.3	0.83	0.87	0.89	0.80	1.1	1.1	0.77
	<i>N</i>	503	503	503	503	503	503	503	503	503	503	503



Sommer

Die Vorgehensweise bei der Berechnung ist wie im Winter. Im Sommer bestehen Unterschiede zwischen den Gebäudeteilen bezogen auf die Zufriedenheit der Benutzenden (Kapitel 5.7.2). Vergleicht man beide Gebäudeteile mit der Grundgesamtheit, so treten beim natürlich belüfteten Gebäude grössere Unterschiede auf. Die Wirksamkeit der (manuell betätigten) Nachtlüftung wird signifikant schlechter als bei den anderen Gebäuden bewertet ($\bar{x} = 4.9$; 5 = «zu warm»).

Tabelle 41: Zufriedenheit Benutzende Gebäude ML_NL_man_B1 hinsichtlich Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

ZRT: 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 2 = «etwas zu feucht», 3 = «angenehm»,

ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Wirksamkeit Nachtlüftung (WNL)	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
		Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
NL_man_B1	\bar{x}	4.9	2.7	2.7	4.5	3.2	1.9	3.0	1.5
	<i>s</i>	1.0	1.3	0.66	0.76	1.0	0.91	1.2	0.83
	<i>N</i>	20	20	20	20	20	20	20	20
M-W-U-Test	<i>U</i>	2411			2542	33103			3312
	<i>Z</i>	-3.6			-3.4	-2.3			-2.0
	<i>Sig.</i>	0.001			0.001	0.021			0.048
	<i>r</i>	0.17			0.16	0.11			0.09
Gesamt	\bar{x}	3.9	3.2	2.9	3.8	2.7	1.7	2.9	1.9
	<i>s</i>	1.3	1.3	0.66	0.89	1.0	0.9	1.2	0.8
	<i>N</i>	439	439	439	439	439	439	439	439
ML_B1	\bar{x}	4.4	3.3	3.1	3.9	3.3	1.9	2.7	2.1
	<i>s</i>	1.7	1.5	0.87	0.97	0.84	0.94	1.3	0.88
	<i>N</i>	35	35	35	35	35	35	35	35
M-W-U-Test	<i>U</i>	5778				4918			
	<i>Z</i>	-2.3				-3.4			
	<i>Sig.</i>	0.022				0.001			
	<i>r</i>	0.11				0.16			
Gesamt	\bar{x}	3.9	3.2	2.1	3.9	2.7	1.7	2.9	1.9
	<i>s</i>	1.3	1.3	0.83	0.89	1.1	0.95	1.2	0.79
	<i>N</i>	424	424	424	424	424	424	424	424



Konsequenterweise wird auch die Raumtemperatur als wärmer bewertet ($\bar{x} = 4.5$; 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»). Der Lärm von aussen ist störender, da «manchmal» Störungen auftreten ($\bar{x} = 3.2$; 3 = «manchmal»). Die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ist daher auch signifikant geringer als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 1.5$; Weiterempfehlung Lüftungskonzept: 1 = «nein», 2 = «eventuell»). Bis auf die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept, bei der die Effektstärke «schwach» ist, sind die Effektstärken bei den anderen Parametern «mittel».

Beim mechanisch belüfteten Teil wird auch die Wirksamkeit der Nachtlüftung schlechter bewertet als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 4.4$; 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm», es können nicht in allen Räumen die Fenster geöffnet werden, daher wurde bei der Beantwortung der Fragen wohl angenommen, die Nachtlüftung erfolge mechanisch). Auch der Lärm von aussen weicht in seiner Bewertung negativ von der Grundgesamtheit ab ($\bar{x} = 3.3$; 3 = «manchmal»). Die Effektstärke ist bei beiden Parametern im mittleren Bereich.

5.10.4 NL_man_I1

Winter

In Tabelle 42 wird nur das Gebäude, in dem auch gemessen wird, mit der Grundgesamtheit verglichen. Bei diesem Gebäude tritt eine signifikant tiefere Störung durch Lüftungslärm auf als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 1.2$; 1 = «nie»). Die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ist etwas schlechter als bei der Grundgesamtheit ($\bar{x} = 2.0$; 2 = «Weiterempfehlung eventuell»). Die Effektstärke ist mittel.

Tabelle 42: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_man_I1 (nur das Gebäude, in dem gemessen wird) hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Bewertung Zugluft			Zufriedenheit mit			Störung durch		Aufenthaltsqualität AP (ZAA)	Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	F. zu BZ	AP BZ	F. auf BZ	ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)				
NL_man	\bar{x}	1.6	1.7	2.0	3.8	3.4	2.6	1.8	1.2	4.3	2.3	2.0
	<i>s</i>	1.0	1.0	1.6	1.2	0.83	0.84	0.79	0.55	0.94	1.1	0.81
	<i>N</i>	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146
t-Test	<i>T</i>								4.8 _a			2.2 _a
	<i>df</i>								551			551
	<i>Sig.</i>								0.001			0.028
	<i>r</i>								0.47			0.21
Gesamt	\bar{x}	1.7	1.8	1.9	3.7	3.3	2.5	1.9	1.6	4.2	2.3	2.2
	<i>s</i>	1.1	1.1	1.7	1.3	0.83	0.86	0.91	0.95	1.1	1.1	0.76
	<i>N</i>	407	407	411	407	407	407	407	407	407	407	407

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich



Sommer

Der Vergleich mit der Grundgesamtheit wird nur für das Messgebäude (NL_man_I1) durchgeführt. Auch im Sommer ist der Lärm durch die Lüftung signifikant tiefer als bei den anderen Gebäuden ($\bar{x} = 1.5$; 1 = «nie», 2 = «selten»). Die Effektstärke ist mittel.

Tabelle 43: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_man_I1 hinsichtlich Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Sommer. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

ZRT: 4 = «etwas zu warm», 5 = «zu warm»

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 2 = «etwas zu feucht», 3 = «angenehm»,

ZRT: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu warm»

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Wirksamkeit Nachtlüftung (WNL)	Zufriedenheit mit			Störung durch Lärm		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
		Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	von aussen (SLA)	von Lüftung (SLL)			
NL_man	\bar{x}	3.8	3.3	2.9	3.8	2.6	1.5	3.0	1.9
	<i>s</i>	1.3	1.3	0.6	0.92	1.0	0.8	1.3	0.74
	<i>N</i>	141	141	141	141	141	141	141	141
t-Test	<i>T</i>						-3.0 _a		
	<i>df</i>						457		
	<i>Sig.</i>						0.003		
	<i>d</i>						0.31		
Gesamt	\bar{x}	4.0	3.2	2.9	3.9	2.8	1.8	2.9	1.9
	<i>s</i>	1.3	1.3	0.7	0.9	1.1	0.9	1.2	0.83
	<i>N</i>	318	318	318	318	318	318	318	318

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

5.11 Vergleich Winter und Sommer

5.11.1 Alle Gebäude

Auswertung: Lüftungskonzept III

Die Mittelwerte der nachfolgenden Fragestellungen werden daraufhin untersucht, ob sie sich im Sommer und Winter signifikant voneinander unterscheiden:

- Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität im Büro (Frische, Düfte, etc.) im Winter?
- Wie empfinden sind Sie die Luftfeuchtigkeit / die Temperatur im Büro im Winter?
- Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen / von der Lüftung (z. B. Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) im Winter als Störung wahr?
- Wünschen Sie sich mehr Einfluss auf die Lüftung?



- Würden Sie ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen?

Es werden Gruppen bezogen auf das Lüftungskonzept gebildet. Da bei den Gruppen Luftbox und Fensterlüfter die Stichprobengrösse ≤ 30 ist wird hier der Mann-Whitney-U-Test verwendet, bei den Gruppen natürliche und mechanische Lüftung ist die Stichprobengrösse ≥ 30 und es kann angenommen werden, dass die Populationen normalverteilt sind. Es wird der Zweistichproben-t-Test verwendet.

Bei der Gruppe mit Luftboxen ergeben sich bei den Parametern Temperatur und Bewertung der Geräusche von aussen signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winter (Tabelle 44). Obwohl die Gebäude eine maschinelle Kühlung aufweisen, wird die Raumtemperatur im Sommer signifikant wärmer ($\bar{x} = 4.3$; 4 = «etwas zu warm») beurteilt als im Winter ($\bar{x} = 3.4$; 3 = «angenehm»), die Effektstärke ist stark. Auch der Lärm von aussen wird im Sommer kritischer bewertet, die Effektstärke ist mittel (Sommer: $\bar{x} = 2.3$; 2 = «selten», Winter: $\bar{x} = 1.9$).

Es ist anzumerken, dass die Anzahl der Antworten mit $N = 11$ im Sommer deutlich kleiner ist als im Winter ($N = 68$).

Tabelle 44: Zufriedenheit Benutzende Gebäude mit Luftboxen hinsichtlich Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.0	2.9	4.3	2.3	1.9	3.2	1.7
	<i>s</i>	1.0	0.3	0.65	0.47	0.94	0.75	0.79
	<i>N</i>	11	11	11	11	11	11	11
M-W-U-Test	<i>U</i>			40.5	239.5			
	<i>Z</i>			-4.92	-2.02			
	<i>Sig.</i>			0.001	0.043			
	<i>r</i>			0.5	0.2			
Winter	\bar{x}	3.6	3.3	3.4	1.9	1.9	2.6	2.1
	<i>s</i>	1.3	0.87	0.97	1.1	1.3	1.2	0.7
	<i>N</i>	68	68	68	68	68	68	68

Bei dem Gebäude mit Fensterlüftern ergeben sich keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der untersuchten Grössen im Sommer und Winter (Tabelle 45).



Tabelle 45: Zufriedenheit Benutzende Gebäude mit Fensterlüftern hinsichtlich Raumlufthqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumlufthqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.8	3.0	3.3	2.4	1.4	2.3	2.0
	s	1.1	0.5	0.87	1.1	0.73	1.0	0.71
	N	9	9	9	9	9	9	9
M-W-U-Test	U							
	Z							
	$Sig.$							
	r							
Winter	\bar{x}	3.7	3.3	2.7	1.7	1.1	2.2	1.9
	s	1.0	0.46	0.89	1.2	0.35	0.89	0.83
	N	8	8	8	8	8	8	8

Bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung ergeben sich bei allen untersuchten Grössen signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winter (Tabelle 46). Die stärksten Effekte zeigen sich bei der Temperatur, bei den Störungen durch Lärm von aussen und beim gewünschten Einfluss auf die Lüftung. Mittlere Effektstärken treten bei der Bewertung der Luftfeuchtigkeit, der Raumlufthqualität und bei Störungen durch Lärm von der Lüftung auf. Eine schwache Effektstärke zeigt sich bei der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept.

Auch bei den Gebäuden mit mechanischer Lüftung treten zwischen Sommer und Winter signifikante Unterschiede auf (Tabelle 47). Nur bei der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept ist kein Unterschied zwischen den Jahreszeiten vorhanden. Starke Effekte zeigen sich bei der Bewertung der Raumtemperatur und bei Störungen durch Lärm von aussen. Mittlere Effekte zeigen sich bei beim gewünschten Einfluss auf die Lüftung, bei der Bewertung der Raumlufthqualität, der Luftfeuchtigkeit, und bei Störungen durch Lärm von der Lüftung auf.

Die Anzahl der Antworten ist im Sommer geringer als im Winter ($N = 48 / 74$).



Tabelle 46: Zufriedenheit Benutzende Gebäude mit natürlicher Lüftung hinsichtlich Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.2	2.9	3.8	2.7	1.7	2.9	1.9
	s	1.3	0.65	0.89	1.1	0.95	1.2	0.8
	N	391	391	391	391	391	391	391
t-Test	T	-5.1 _a	-7.8 _a	21.6 _a	12.3 _a	4.1 _a	8.1 _a	-3.6 _a
	df	792	792	792	792	792	792	792
	$Sig.$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	r	-0.4	-0.5	1.5	0.9	0.3	0.6	-0.2
Winter	\bar{x}	3.7	3.3	2.5	1.9	1.5	2.2	2.1
	s	1.3	0.85	0.83	0.84	0.78	1.1	0.78
	N	403	403	403	403	403	403	403

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich



Tabelle 47: Zufriedenheit Benutzende Gebäude mit mechanischer Lüftung hinsichtlich Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.3	3.0	4.0	3.1	1.9	2.8	2.1
	<i>s</i>	1.4	0.85	0.91	0.96	0.93	1.2	0.83
	<i>N</i>	48	48	48	48	48	48	48
t-Test	<i>T</i>	-2.6 _a	-2.5 _a	7.6 _a	7.6 _a	2.4 _a	2.9 _a	
	<i>df</i>	120	120	120	120	120	120	
	<i>Sig.</i>	0.009	0.015	0.001	0.001	0.015	0.005	
	<i>r</i>	0.5	0.5	1.4	1.4	0.4	0.5	
Winter	\bar{x}	3.9	3.4	2.8	1.9	1.5	2.2	2.3
	<i>s</i>	1.1	0.76	0.84	0.8	0.878	1.1	0.82
	<i>N</i>	74	74	74	74	74	74	74

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

5.11.2 Messgebäude

NL_auto_E1

Beim Gebäude NL_auto_E1 ist die Stichprobengrösse ≤ 30 , daher wird der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Es ergeben sich signifikante Unterschiede bei der Bewertung der Raumtemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept (Tabelle 48). Die Effektstärke ist bei der Raumtemperatur stark, bei der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept und der Bewertung der Luftfeuchtigkeit ist die Effektstärke mittel.



Tabelle 48: Zufriedenheit Benutzende im Gebäude NL_auto_E1 hinsichtlich Raumlufthqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumlufthqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	2.8	2.7	3.8	2.2	2.1	3.1	1.7
	s	1.4	1.0	0.97	1.0	1.1	1.3	0.76
	N	27	27	27	27	27	27	27
M-W-U-Test	U		243.5	41				210.5
	Z		-2.0	-5.7				-2.7
	$Sig.$		0.041	0.001				0.008
	r		0.3	0.8				0.4
Winter	\bar{x}	3.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.6	2.3
	s	1.4	1.2	0.75	0.71	0.85	1.3	0.7
	N	26	26	26	26	26	26	26

NL_auto_M1

Beim Gebäude NL_auto_M1 kann der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet werden. Signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winter mit einem starken Effekt liegen bei der Bewertung der Temperatur und der Störung durch Lärm von aussen vor (Tabelle 49). Ein Unterschied mit mittlerer Effektstärke tritt bei dem Wunsch nach mehr Einfluss auf die Lüftung auf.



Tabelle 49: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_auto_M1 hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Sommer und Winter. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.3	2.9	4.3	2.4	2.3	3.0	1.9
	<i>s</i>	1.3	0.5	0.65	1.0	1.2	1.2	0.85
	<i>N</i>	60	60	60	60	60	60	60
t-Test	<i>T</i>			9.4 _a	3.2 _a		2.1 _a	
	<i>df</i>			111	111		111	
	<i>Sig.</i>			0.001	0.002		0.036	
	<i>r</i>			1.8	0.6		0.4	
Winter	\bar{x}	3.3	3.1	2.5	1.8	2.2	2.5	2.0
	<i>s</i>	1.3	0.9	0.82	1.0	1.0	0.95	0.76
	<i>N</i>	53	53	53	53	53	53	53

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

ML_NL_man_B1

Das Gebäude ML_NL_man_B1 kann vom Lüftungskonzept her in einem Teil mit natürlicher und einen Teil mit mechanischer Lüftung unterteilt werden. Die Stichprobengrösse für den Teil mit natürlicher Lüftung ist ≤ 30 , daher wird der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Beim Teil mit natürlicher Lüftung treten bei allen Parametern, ausser der Störung durch Lärm von der Lüftung, signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winter auf (Tabelle 50). Die Effekte sind bei diesen Parametern stark.

Beim Gebäudeteil mit mechanischer Lüftung treten keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Raumluftqualität und bei der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept auf, bei den anderen Parametern treten signifikante Unterschiede auf. Starke Effekte zeigen sich bei der Bewertung der Raumtemperatur und bei der Störung durch Lärm von aussen. Bei den Parametern Störung durch Lärm von der Lüftung und beim Wunsch nach mehr Einfluss auf das Lüftungskonzept treten mittlere Effektstärken auf. Ein schwacher Effekt zeigt sich bei der Bewertung der Luftfeuchtigkeit. Die gefunden Effektstärken sich beim Gebäudeteil mit mechanischer Lüftung, mit Ausnahme der Bewertung der Störung durch Lärm von aussen, schwächer als beim Gebäudeteil mit natürlicher Lüftung.



Tabelle 50: Zufriedenheit Benutzende im Gebäude ML_NL_man_B1 hinsichtlich Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter und Sommer. Für den Mann-Whitney-U-Test (M-W-U) wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
NL_man_B1	\bar{x}	2.7	2.7	4.5	3.2	1.9	3.0	1.5
	<i>s</i>	1.3	0.66	0.76	1.0	0.91	1.2	0.82
	<i>N</i>	20	20	20	20	20	20	20
M-W-U-Test	<i>U</i>	78	109	21	97		79.5	103.5
	<i>Z</i>	-3.8	-3.4	-5.3	-3.4		-3.8	-3.2
	<i>Sig.</i>	0.001	0.001	0.001	0.001		0.001	0.001
	<i>r</i>	0.6	0.5	0.8	0.5		0.6	0.5
Gesamt	\bar{x}	4.3	3.4	2.6	2.3	1.5	1.6	2.4
	<i>s</i>	0.93	0.59	0.6	0.75	0.73	0.71	0.73
	<i>N</i>	23	23	23	23	23	23	23
ML_B1	\bar{x}	3.3	3.0	3.9	3.0	1.9	2.7	2.1
	<i>s</i>	1.5	0.87	1.0	0.84	0.94	1.3	0.9
	<i>N</i>	35	35	35	35	35	35	35
M-W-U-Test	<i>U</i>		671	300	235.5	610.5	623.5	
	<i>Z</i>		-2.0	-5.4	-5.9	2.6	-2.3	
	<i>Sig.</i>		0.43	0.001	0.001	0.009	0.02	
	<i>r</i>		0.2	0.6	0.6	0.3	0.3	
Gesamt	\bar{x}	4.0	3.4	2.6	1.9	1.5	2.1	2.3
	<i>s</i>	1.1	0.84	0.83	0.84	0.79	1.0	0.87
	<i>N</i>	50	50	50	50	50	50	50

NL_man_I1

Beim Gebäude NL_man_I1 kann der t-Test verwendet werden. Nur beim Parameter Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept tritt kein signifikanter Unterschied zwischen Sommer und Winter auf.

Signifikante Unterschiede mit starken Effekten treten bei der Bewertung der Raumtemperatur, der Störung durch Lärm von aussen und bei der Bewertung der Luftfeuchtigkeit auf. Mittlere Effektstärken zeigen sich bei der Bewertung der Raumluftqualität und bei der Störung durch Lärm von Lüftungseinrichtungen. Ein schwacher Effekt liegt beim Wunsch nach Einfluss auf die Lüftung vor.



Tabelle 51: Zufriedenheit Benutzende Gebäude NL_man_I1 hinsichtlich Zugluft, Raumluftqualität, Raumtemperatur, Lärm und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept im Winter. Für den t-Test wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 5 %-Niveau ausgewiesen (Farbcode Ergebnis, siehe Tabelle 4).

Interpretationshilfe:

BZ, SLA, SLL, EL: 1 = «nie», 2 = «selten», 3 = «manchmal», 4 = «häufig», 5 = «immer»

ZIDA, ZAA: 3 = «mittelmässig», 4 = «etwas zufrieden», 5 = «zufrieden»

ZLF: 3 = «angenehm», 4 = «etwas zu trocken»

ZRT: 2 = «etwas zu kalt», 3 = «angenehm», 4 = etwas zu warm, 5 = zu warm

ZL: 1 = «nein», 2 = «eventuell», 3 = «ja»

	Zufriedenheit mit			Störung durch		Einfluss Lüftung (EL)	Zufr. Lüftungskonzept (ZL)	
	Raumluftqual. ZIDA	Luftfeuchtigkeit (ZLF)	Raumtemperatur (ZRT)	Lärm von aussen (SLA)	Lärm Lüftung (SLL)			
Sommer	\bar{x}	3.3	2.9	3.8	2.6	1.5	3.0	1.9
	<i>s</i>	1.3	0.58	0.92	1.0	0.8	1.3	0.74
	<i>N</i>	141	141	141	141	141	141	141
t-Test	<i>T</i>	-3.3 _a	-5.7 _a	12 _a	7.7 _a	3.9 _a	5.0 _a	
	<i>df</i>	285	285	285	285	285	285	285
	<i>Sig.</i>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	<i>r</i>	0.4	0.7	1.4	0.9	0.4	0.2	
Winter	\bar{x}	3.8	3.4	2.6	1.8	1.2	2.3	2.0
	<i>s</i>	1.2	0.83	0.84	0.79	0.56	1.1	0.81
	<i>N</i>	146	146	146	146	146	146	146

a = Levene-Test: Varianzen sind gleich, b = Levene-Test: Varianzen sind nicht gleich

5.12 Zusammenfassung und Diskussion Nutzerbefragung

5.12.1 Winter

Mit der hier vorgestellten Befragung liegen für den Winter Antworten von 553 Benutzenden aus neun Gebäuden vor. Der Fragebogen umfasst Fragen zum Informationsfluss, zu Zufriedenheitsparametern, zum Lüftungsverhalten, sowie zum thermischen Komfort, der Innenraumluftqualität und dem akustischen Komfort.

Die meisten Benutzenden lüften tagsüber zwischen 2 und 10 Minuten. Weniger Benutzende öffnen tagsüber zwischen 6 und 20 Minuten das Fenster.

Insgesamt berichten rund 2 % aller Befragten über Schimmel. Am häufigsten ist dies im Gebäude LuBo_Z1 (8% der dort Befragten) der Fall.

Bei geschlossenen Lüftungsöffnungen spüren nur 20 % aller Befragten «selten» Zugluft («oft» oder «immer» sind es 9 %). Am Arbeitsplatz berichtet rund ein Viertel aller Befragten über «selten» auftretende Zugluft («oft» oder «immer» sind es 9 %). Beim Lüftungsvorgang tritt bei den Gebäuden mit Fensterlüftung bei 25 % «oft» oder «immer» Luftzug auf. Bei den Gebäuden mit automatisierter Fensterlüftung tritt beim Gebäude NL_auto_E1 «oft» oder «immer» bei 27 % ($N = 7$) Luftzug auf, beim Gebäude NL_auto_M1 bei 30 %. Die Differenzen zwischen den beiden Gebäuden mit automatisierter Fensterlüftung und den übrigen Gebäuden mit Fensterlüftung sind nicht signifikant. Allerdings ist anzumerken, dass beim Gebäude NL_auto_E1 die automatische Fensterlüftung



teilweise wegen Zugerscheinungen unterbunden wird, beim Gebäude NL_auto_M1 wird dreimal am Tag (5:00 – 5:10, 14:00 – 14:03, 16:45 – 17:00 Uhr) gelüftet. Bei den Gebäuden mit Luftboxen und dem mit Fensterlüftern berichten jeweils 12 % «oft» oder «immer» über Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang. Bei den Gebäuden mit mechanischer Lüftung berichten 30 % «oft» oder «immer» über Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang. Das bei den Gebäuden mit mechanischer Lüftung häufiger über Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang geklagt wird ist überraschend. Dies liegt am Gebäude ML_B1 (beim Gebäude ML_Z2 treten Zugerscheinungen beim Lüftungsvorgang bei 87 % «nie» oder «selten» auf). Bei ML_B1 können die Fenster zudem nicht geöffnet werden. Es könnte sein, dass damit gemeint ist, dass Zug entsteht, wenn zusätzlich zur mechanischen Grundlüftung gelüftet wird (sei es über offene Bürotüren oder die wenigen Fenster, die geöffnet werden können. Dafür spricht, dass bei ML_B1 bei geschlossenem Fenster nur 16 % und am Arbeitsplatz 18 % «oft» oder «immer» über Zugluft berichten. Beim Gebäude ML_Z2 tritt dies nicht auf (jeweils 0 %).

Die Luft in den Büros ist für fast ein Viertel der Befragten «etwas zu trocken» oder «zu trocken». Über 60 % der Benutzenden bewerten die Luftfeuchtigkeit als angenehm. Rund 40 % der Befragten empfinden die Raumtemperatur als «kalt» oder «zu kalt». Etwa 50 % empfinden sie als «angenehm».

Mit der Raumluftqualität sind fast 60 % «etwas zufrieden» oder «zufrieden». Bezogen auf das Lüftungskonzept lassen sich keine grossen Unterschiede feststellen.

Geräusche von aussen werden von rund 80 % «nie» oder «selten» als Störung wahrgenommen. Störende Geräusche von der Lüftungsanlage oder den Einrichtungen zur Lüftung werden von rund 90 % der Benutzenden «selten» oder «nie» wahrgenommen. In Abhängigkeit zum Lüftungskonzept treten hier bei der Bewertung bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung und bei den Gebäuden mit Luftboxen sehr schwache, signifikante Korrelationen auf, bei den Gebäuden mit ML über den Raum tritt eine schwache, hochsignifikante Korrelation auf.

Eine Information der Benutzenden zum Lüftungskonzept und mit Hinweisen zur manuellen Lüftung gab es in den Gebäuden NL_auto_E1, FeLue_R1 und NL_auto_M1.

Rund 80 % sind mit der Aufenthaltsqualität ihres Arbeitsplatzes «etwas zufrieden» oder «zufrieden». Einen grösseren Einfluss auf die Lüftung wünschen sich «oft» oder «immer» nur 13 % («nie» oder «selten» knapp 60%). Etwa 35 % der Befragten würde das Lüftungssystem weiterempfehlen, ist also mit dem System zufrieden. Etwa 45 % würden dies «eventuell» tun. Schwache Korrelationen bestehen zwischen der Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz und der Einflussnahme auf die Lüftung, sowie zwischen der Einflussnahme auf das Lüftungssystem und der generellen Zufriedenheit. Eine mittelstarke Korrelation besteht zwischen der Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz und der generellen Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem.

Bei zwei Gebäuden gibt es zwei Gebäudeteile, die entweder mit ML oder NL betrieben werden. Beim Gebäude ML_NL_man_B1 treten keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilung der Komfort- und der Zufriedenheitsparameter auf, beim Gebäude ML_NL_man_Z2 ist der einzige Parameter, der signifikant unterschiedlich beurteilt wird, die Beurteilung der Raumtemperatur.

Auf das Gebäude bezogen kann zum einen überprüft werden, ob es bei bestimmten Gebäuden Auffälligkeiten bezüglich grosser Zufriedenheit oder Unzufriedenheit gibt und ob Korrelationen zwischen einzelnen Parametern und dem Gebäude auftauchen. Es bestehen sehr schwache Korrelationen zwischen dem thermischen und dem akustischen Komfort, der Einflussnahme auf die Lüftung und der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz. Keine Korrelationen bestehen zwischen dem Gebäude und der Luftfeuchtigkeit und überraschenderweise mit der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept.

Es gibt Gebäude, die bei auffallend vielen Parametern kritisch bewertet werden:

- Mit zehn Parametern: LuBo_Z3 (drei Zugluftparameter, Raumluftqualität, Raumluftfeuchte, störende Geräusche von aussen und innen, mehr Einflussnahme auf Lüftung, Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz sowie Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept). Achtung: hier ist die Stichprobe sehr klein.



- Mit vier Parametern: NL_man_Z4 (drei Zugluftparameter und Raumluftfeuchte) und NL_man_Z2 (Raumluftqualität, Raumluftfeuchte, mehr Einflussnahme auf Lüftung sowie Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept)
- Mit jeweils einem Parameter: NL_auto_E1 (Raumlufttemperaturen), ML_NL_man_B1 (störende Geräusche von aussen) und NL_auto_M1 (störende Geräusche von den Lüftungseinrichtungen)

Andere Gebäude werden bei mehreren Parametern positiv bewertet:

- Mit vier Parametern: ML_NL_man_B1 (Raumluftqualität, keine Einflussnahme auf Lüftung gewünscht, Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept)
- Mit zwei Parametern: LuBo_Z1 (ein Zugluftparameter, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept), NL_auto_E1 (zwei Zugluftparameter) und NL_man_I1+_I2 (zwei Zugluftparameter)
- Mit jeweils einem Parameter: NL_auto_M1 (Raumluftfeuchte), ML_Z2 und LuBo_Z3 (Raumtemperatur), NL_man_Z2 (keine störenden Geräusche von aussen) und FeLue_R1 (keine störenden Geräusche von innen)

Ausser beim Gebäude LuBo_Z3 gibt es keine Überschneidungen in dem Sinn, dass Gebäude in einem Bereich positiv und in einem anderen Bereich negativ bewertet werden.

5.12.2 Sommer

Im Sommer beantworten 459 Benutzende den Fragebogen.

Im Sommer wird wie im Winter «nur» ein- bis zweimal am Tag gelüftet, dafür sind die Fenster allerdings länger als 60 Minuten geöffnet.

Mit Ausnahme des Gebäudes NL_auto_E1 verfügen alle Gebäude über einen automatisch betriebenen Sonnenschutz. Rund 30 % der Befragten geben allerdings an, dass es einen manuell bedienten Sonnenschutz gäbe. Ob dies eine partielle Ausnahme bei den Gebäuden ist, oder Unwissenheit der Benutzenden ist, bleibt offen. Auf das Lüftungsverhalten ansich wirkt sich die Position des Sonnenschutzes bei rund zwei Dritteln der Benutzenden mit mechanischer und natürlicher Lüftung nicht aus.

Selbstberichtet verfügt knapp ein Drittel über eine automatische Nachtlüftung, gemäss Gebäudekonzept hätten drei Viertel der Befragten dies angeben müssen. Befragt nach der Wirksamkeit der Nachtlüftung beurteilen rund 40 % die Temperatur beim Arbeitsbeginn als «angenehm» und einem Drittel ist es «etwas zu warm» oder «zu warm».

Die Luftfeuchtigkeit ist im Sommer für rund 70 % der Benutzenden «angenehm», als «etwas zu feucht» empfinden 14 % die Raumluft.

Rund zwei Drittel der Befragten bewerten die Raumlufttemperatur als «zu warm» «etwas zu warm», rund ein Drittel empfindet die Raumtemperatur als «angenehm». Die Zufriedenheit ist hier tiefer als im Winter. Unterteilt nach Kühlkonzept ergeben sich sechs unterschiedliche Kühlkonzepte: Gebäude mit einer hohen Kühlleistung durch aktive Kühlung und mit keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung, Gebäude mit einer mittleren Kühlleistung durch eine aktive Kühlung über Geothermie und eine Wärmepumpe und keiner/einer ergänzenden automatischen Nachtlüftung, sowie Gebäude ohne Kühlleistung mit automatischer oder manueller Nachtlüftung. Betrachtet man die Bewertung der Raumtemperatur generell und morgens beim Betreten des Raumes sowie die Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept so werden alle drei Aspekte in den Gebäuden mit hoher Kühlleistung signifikant am kritischsten bewertet. Signifikant weniger kritisch werden die Raumtemperatur tagsüber und die Wirksamkeit der Nachtlüftung (Temperatur morgens beim Betreten des Raumes) in den Gebäuden mit mittlerer Kühlleistung und automatischer Nachtlüftung beurteilt. Ein Grund für die kritische Bewertung in den Gebäuden mit hoher Kühlleistung könnte die Erwartungshaltung sein, welche die Benutzenden aufgrund der technischen Ausstattung im Sommer gekühlte Räumlichkeiten erwarten lässt. Dies deckt



sich auch mit Forschungsergebnissen zu Bürogebäuden mit aktiver und passiver Kühlung [21], [27], [28], [29], [30]. Da allerdings bei der Gruppe mit ausschliesslich passiver Kühlung durch Nachtlüftung keine Korrelation zur Temperaturbewertung besteht, kann dieser Erklärungsversuch nicht durch die Befragungsergebnisse erhärtet werden.

Wie bei der Temperatur sind auch bei der Bewertung der Raumluftqualität im Sommer weniger, nämlich 40 %, «etwas zufrieden» oder «zufrieden» (im Winter 60 %).

Im Sommer werden mehr Geräusche von aussen als Störung wahrgenommen als im Winter: «Oft» oder «immer» tritt dieser Fall für 26 % der Benutzenden ein, für 30 % «manchmal», 42 % berichten «nie» oder «selten» darüber. Bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung tritt eine sehr schwache, hochsignifikante Korrelation auf.

Störungen durch die Lüftungseinrichtungen oder die Lüftung selber sind auch im Sommer mit rund 80 % der Befragten, die «nie» oder «selten» gestört werden, selten (Winter: 90 %).

Eine Information der Benutzenden mit Hinweisen zur Lüftung im Sommer gab es in den Gebäuden NL_auto_E1, FeLue_R1 und NL_auto_M1, NL_man_I1+_I2 und ML_NL_man_B1.

Im Sommer wünschen sich rund 30 % «oft» oder «immer» mehr Einfluss auf die Lüftung, dies sind mehr als im Winter (13 %). Rund ein Viertel der Befragten würde das Lüftungskonzept weiterempfehlen (10 % weniger als im Winter), ist also zufrieden damit. Ein Drittel würde dies eventuell tun (gegenüber 45 % im Winter). Es besteht eine mittelstarke Korrelation zwischen der Einflussnahme auf die Lüftung und der generellen Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem.

Die beiden Gebäude ML_NL_man_Z2 und ML_NL_man_B1, in denen Teile mit NL und ML betrieben werden, werden auch im Sommer daraufhin untersucht, ob sich die Beurteilung bestimmter Parameter unterscheidet. Im Winter traten beim Gebäude ML_NL_man_B1 keine signifikanten Unterschiede auf. Im Sommer können bei fünf Fragestellungen Unterschiede festgestellt werden: Bei den Themen «Zufriedenheit mit Luftfeuchtigkeit», «Störung Lärm durch Lüftung» und «Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept» sind die Effektstärke mittel, bei den Fragen «Zufriedenheit mit Raumtemperatur» und «Wirksamkeit der Nachtlüftung» sind die Effekte stark. Beim Gebäude ML_NL_man_Z2 wird im Winter die Raumtemperatur signifikant unterschiedlich bewertet, im Sommer ergeben sich hingegen keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Untersuchung, ob es Korrelationen zwischen dem Gebäude, in dem die Benutzenden arbeiten und der Bewertung des thermischen und akustischen Komforts, der Innenraumluftqualität und der Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem gibt, zeigt sich ein anderes Bild als im Winter. Im Winter bestanden sehr schwache Korrelationen zwischen dem thermischen und dem akustischen Komfort, der Einflussnahme auf die Lüftung und der Aufenthaltsqualität am Arbeitsplatz. Im Sommer finden sich nur im Bereich Lärm hochsignifikante Korrelationen. Beim Lärm von aussen besteht eine schwache Korrelation, beim Lärm durch die Lüftung besteht eine sehr schwache Korrelation.

Auch im Sommer werden einzelne Gebäude bei mehreren Parametern kritisch bewertet:

- Mit jeweils drei Parametern: NL_man_Z2 mit NL (Raumluftqualität, Geräusche von der Lüftung und Lüftungseinrichtungen und Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept), ML_NL_man_B1 mit (Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumluftqualität, Lärm von aussen als Störung) und NL_auto_E1 (Raumluffeuchte, Wunsch nach Einfluss auf Lüftung, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept)
- Mit jeweils einem Parameter: ML_B1 (Lärm von aussen als Störung), LuBo_Z1 (Raumtemperaturen) und NL_man_Z4 (Raumluffeuchte)

Diese Rangfolge entspricht nicht dem Winter. Bei keinem Gebäude ist der als am kritischsten bewertete Parameter im Sommer und Winter gleich.



Positiv:

- Mit sechs Parametern: FeLue_R1 (Raumtemperaturen, Raumlufffeuchte, Raumluffqualität, Geräusche von der Lüftung und Lüftungseinrichtungen, Wunsch nach Einfluss auf Lüftung, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept)
- Mit jeweils drei Parametern: NL_man_I1+_I2 (Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumlufffeuchte, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept) und ML_Z2 (Wirksamkeit der Nachtlüftung, Raumlufffeuchte, Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept)
- Mit jeweils einem Parameter: LuBo_Z1 (Lärm von aussen als Störung) und NL_auto_M1 (Raumlufffeuchte)

Die Rangfolge ist auch hier nicht wie im Winter. Bei keinem Gebäude ist der am positivsten bewertete Parameter gleich wie im Winter.

Im Winter wird damit die Gebäude ML_NL_man_B1 am besten bewertet, im Sommer das Gebäude FeLue_R1.

5.12.3 Vergleich Sommer und Winter

Beim Vergleich zwischen Sommer und Winter geht es darum herauszufinden, bei welchen Lüftungskonzepten zwischen den Jahreszeiten signifikante Unterschiede bestehen.

- Beim Gebäude mit Fensterlüftern ist dies bei keinem Parameter der Fall.
- Bei den Gebäuden mit Luftboxen treten Unterschiede bei zwei Parametern auf: der Raumtemperatur und beim Lärm von aussen.
- Bei den Gebäuden mit mechanischer Lüftung trifft dies bei sechs Parametern zu, nämlich der Bewertung des thermischen und akustischen Komforts und der Innenraumluffqualität.
- Bei den Gebäuden mit natürlicher Lüftung ist dies bei allen sieben Parametern, nämlich der Bewertung des thermischen und akustischen Komforts, der Innenraumluffqualität und der Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem der Fall.

Insgesamt gibt es bei der Differenzierung nach Lüftungsprinzip II im Sommer weniger Antworten von Benutzenden von Gebäuden mit ML als im Winter ($N = 142 / 59$). Werden die Gebäude nach dem Lüftungskonzept III unterteilt, dann betrifft die geringere Anzahl von Antworten im Sommer die Gruppen Luftbox ($N = 68 / 11$) und die Gruppe ML mit Zu- und Abluft (Zuluft eintritt im Raum, $N = 74 / 48$).

5.12.4 Bewertung low-tech

Für die Bewertung low-tech werden jeweils die Mittelwerte für alle Gebäude mit den gebäudespezifischen Mittelwerten betrachtet. Beim Vergleich der Gebäude untereinander können für ein Gebiet, wie z. B: «Raumluffqualität» die zwei am besten / am schlechtesten bewerteten Gebäude herausgegriffen werden (siehe Tabelle 52). Die beiden bei einem Thema am besten bewertete Gebäude bekommen jeweils einen Punkt, die beiden am schlechtesten bewertete Gebäude bekommen einen Punkt abgezogen.



Tabelle 52: Vergleich der Befragungsergebnisse für einzelne Themen der Gebäude untereinander. Zur Bewertungssystematik siehe Tabelle 19.

Verwendete Abkürzungen: S = Sommer, W = Winter

Farb- und Schriftcode Befragungsergebnisse: Grün = Bewertung besser als Durchschnitt alle Gebäude, rot = Bewertung schlechter als Durchschnitt alle Gebäude; fett = beste/schlechteste zwei Gebäude.

Lesebeispiel: Im Bereich Raumluftqualität im Sommer ist das Gebäude FeLue_R1 am besten bewertet.

		LuBo_Z1	ML_Z2	NL_man_Z2	NL_auto_E1	NL_auto_M1	NL_man_Z4	FeLue_R1	NL_man_I1+2	NL_man_B1	ML_B1	alle Gebäude
Raumluftqualität	W	3.7	3.8	2.9	3.1	3.4	3.2	3.8	3.9	4.3	4.0	3.7
	S	2.9	2.7	3.2	2.8	3.3	2.9	3.8	3.3	2.7	3.3	3.2
Temperatur	W	2.3	3.0	2.5	1.8	2.5	2.3	2.8	2.6	2.6	2.6	2.5
	S	4.4	4.1	4.1	3.8	3.9	4.1	3.3	3.7	4.5	3.9	3.9
Lärm von aussen	W	1.8	1.8	1.6	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9	2.3	1.9	1.9
	S	2.2	2.4	2.5	2.3	2.4	2.7	2.4	2.8	3.2	3.3	2.7
Einfluss auf Lüftung	W	2.5	2.4	2.8	2.6	2.5	2.6	2.3	2.1	1.7	2.1	2.3
	S	3.0	3.0	2.9	3.1	3.0	2.9	2.3	2.9	3.0	2.7	2.9
Zufriedenheit mit Lüftung	W	2.1	2.4	1.8	2.3	2.0	2.0	1.9	2.1	2.4	2.3	2.1
	S	1.8	1.7	2.0	1.7	1.9	1.8	2.0	2.0	1.5	2.1	1.9
Anzahl Antworten	W	65	24	15	26	53	39	8	247	23	50	553
	S	9	9	13	27	60	35	9	240	20	35	459
Bewertung Befragung	W+	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	S	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	



6 Resultate Messungen

6.1 Resultate Kurzzeitmessungen Winter

6.1.1 Volumenstrommessungen Abluft

In den Gebäuden NL_auto_E1 und NL_auto_M1, sind in den Kernzonen einige Räume mit Abluftventilatoren ausgestattet. Im Gebäude NL_auto_E1 gibt es vier separate Sanitärräume, die Ventilatoren werden über den Lichtschalter eingeschaltet, der Abluftvolumenstrom liegt zwischen 45 und 53 m³/h je Raum. Ein Sanitärraum wurde zum Mikrowellenraum umfunktioniert.

Im Gebäude NL_auto_M1 sind elf Sitzungszimmer mit einem Abluftventilator ausgerüstet, sie werden über einen Schalter manuell bei Bedarf eingeschaltet. Die Sollluftmenge beträgt gemäss Schema 75 m³/h pro Ventilator. In fünf Sitzungszimmern ist keine Messung möglich, da in fünf Räumen die Abluftdurchlässe nicht zugänglich sind und ein Ventilator nicht funktioniert. Die Messung in den verbleibenden fünf Sitzungszimmern ergeben einen Abluftvolumenstrom zwischen 32 und 74 m³/h bei offenen Türen und zwischen 31 und 71 m³/h bei geschlossenen Türen.

Gemäss Angaben der Benutzenden öffnet sich bei Betrieb der Ventilatoren kein Lüftungsflügel, die Nachströmung ist daher nicht definiert. Eine Differenzdruckmessung ist in beiden Gebäuden nicht möglich.

6.1.2 Akustische Messungen

Die akustischen Messungen des Schalldruckpegels werden einmal am Arbeitsplatz mit geschlossenem Fenster / Lüftungsflügel und einmal am Arbeitsplatz mit geöffnetem Fenster / Lüftungsflügel durchgeführt. So kann der Einfluss des geöffneten Fensters / Lüftungsflügels relativ mit dem Schalldruckpegel im «üblichen» Büroumfeld verglichen werden. Die Messdauer für die Schallmessung beträgt zwei Minuten, so können allfällige Peaks ausgeglichen werden. Die akustischen Messungen stellen Momentaufnahmen dar und sind abhängig von der jeweiligen Bürobelegung sowie der Verkehrssituation zum Zeitpunkt der Messung.

Gebäudespezifische Besonderheiten bei der Messung:

- Beim Gebäude NL_auto_M1 musste die Messung in einem Sitzungszimmer vorgenommen werden, da sich nur dort die Lüftungsflügel individuell öffnen lassen.
- Beim Gebäude NL_auto_E1 sind alle Lüftungsflügel geöffnet, nicht nur zwei pro Zone wie dies bei einem automatischen Lüftungsvorgang eigentlich vorgesehen ist. Der Grund ist, dass die CO₂-Steuerung seitens Betreiber ausser Betrieb genommen wurde und sich manuell nur alle Lüftungsflügel pro Zone öffnen lassen. Zusätzlich wird bei NL_auto_E1 an zwei Arbeitsplätzen mit geschlossenem Lüftungsflügel gemessen. Zum Zeitpunkt der Messung ist in der gesamten Zone «Nordwest» niemand anwesend, weshalb die Messung an einem Arbeitsplatz im belegten Teil wiederholt wird.
- Beim Gebäude ML_NL_man_B1 wird im Teil mit natürlicher Lüftung gemessen (NL_man_B1).

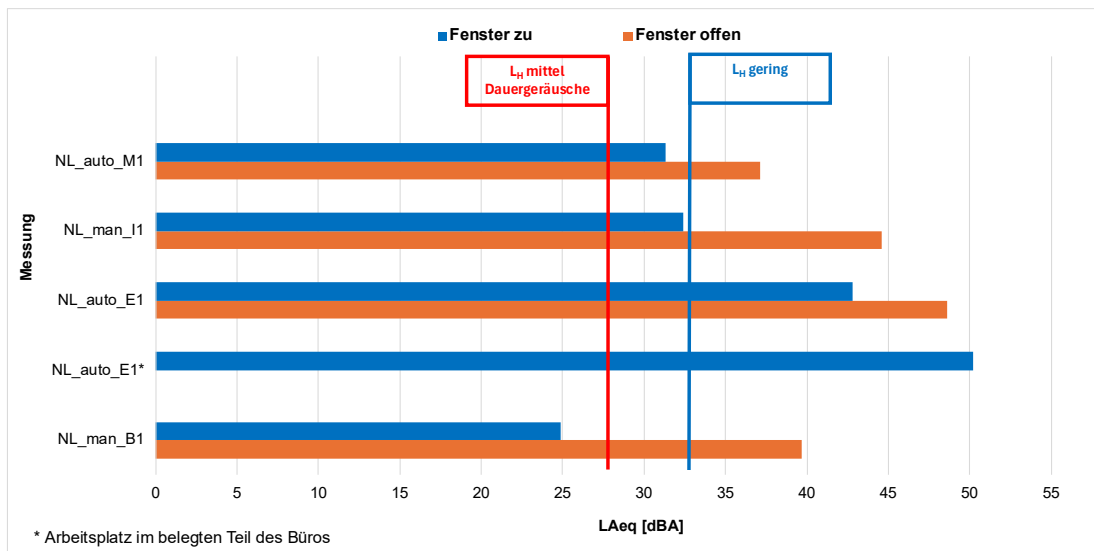


Abb. 31: Übersicht Schalldruckmessung (A-Bewertet) bei geöffnetem und bei geschlossenem Fenster (Lüftungsflügel).

Das offene Fenster wird als Dauergeräusch klassifiziert, wobei ein Grenzwert von 28 dB(A) für Einzel- und Gruppenbüros sowie 33 dB(A) für Grossraumbüros und Sitzungszimmer gilt (siehe Kapitel 3.4.5). Die Arbeitsplätze bei NL_auto_M1 und NL_auto_E1 befinden sich in Grossraumbüros mit einem Grenzwert von 33 dB(A), während die Arbeitsplätze bei NL_man_I1 und NL_man_B1 in Gruppenbüros mit einem Grenzwert von 28 dB(A) liegen.

Wie in Abb. 31 dargestellt, werden die Grenzwerte bei NL_auto_M1 und NL_man_B1 bei geschlossenem Fenster eingehalten. In den übrigen Gebäuden wird der Grenzwert sowohl bei geschlossenem Fenster beziehungsweise Lüftungsflügeln überschritten. Während des Lüftungsvorgangs wird der jeweilige Grenzwert in keiner Messung eingehalten.



Abluftventilatoren Sitzungszimmer NL_auto_M1

Im Gebäude NL_auto_M1 wird zusätzlich eine Messung in einem Sitzungszimmer mit Abluftventilator durchgeführt. Ohne laufenden Ventilator wird ein Schalleistungspegel von 37 dB(A) gemessen, während dieser bei aktiviertem Ventilator auf 48 dB(A) ansteigt. Dieser Wert überschreitet den Grenzwert von 33 dB(A) deutlich.

6.1.3 Thermische Behaglichkeit

Nachfolgend sind die Resultate der Behaglichkeitsmessungen im Winter aufgeführt. Im Anhang 12.8 finden sich ergänzende Diagramme mit Häufigkeitsverteilungen. Betrachtet werden bei den Lüftungsvorgängen jeweils die Dauer des Lüftungsvorgangs und eine Abklingzeit von derselben Dauer danach.

In Tabelle 53 sind alle Messstandorte mit den Messdauern für die Lüftung an den jeweiligen Arbeitsplätzen zusammengefasst.

Tabelle 53: Ergänzende Beschreibung der verschiedenen Arbeitsplätze, Kurzzeitmessungen Winter.

Standort	Arbeitsplatz	Keine Lüftung (k. L) Dauer Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Stosslüftung (s. FL) Dauer Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Kipplüftung Dauer (k. FL) Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Mittlere Aussenluft- temperatur am Messtag (°C)
Emmen	NL_auto_E1_1	- / 60	15 / 30 ¹⁾ 48 / 60 ²⁾	-	-2.2
	NL_auto_E1_2	- / 60	15 / 30 ¹⁾ 48 / 60 ²⁾	-	
Murten	NL_auto_M1_1	- / 60	3 / 6 ³⁾	-	-0.6
	NL_auto_M1_2	- / 60	3 / 6 ³⁾	-	
Ittigen*	NL_man_I1_1	- / 60	5 / 10	10 / 20	-1.7
	NL_man_I1_2	- / 60	5 / 10	10 / 20	
Bern	NL_man_B1_1	- / 60	5 / 10	10 / 20	-2.5
	NL_man_B1_2	- / 60	5 / 10	10 / 20	

¹⁾ alle Lüftungsflügel werden für 15 Minuten manuell geöffnet

²⁾ automatisch induzierter Lüftungsvorgang von zwei Fensterflügeln, wegen zu hohem CO₂-Schwellwert nach 48 Minuten manuell beendet.

³⁾ Dies entspricht dem Lüftungsvorgang um 14:00 Uhr gemäss dem Zeitschaltprogramm während der Wintermonate.

* Die Messung wird in NL_man_I1 durchgeführt (die Gebäude sind nahezu baugleich)



Klassifizierung lokale thermische Unbehaglichkeit, LDC (Zugluftraten)

Nachfolgend sind die Zugluftraten für die Wintermessungen jeweils 10 cm über dem Boden aufgeführt. Die Position 10 cm über Boden wird durch den Abfall der kalten Aussenluft im Winter als am kritischsten erachtet. Die Messsonden werden immer am äusseren Rand der Aufenthaltszone und in der Mitte des untersuchten Arbeitsplatzes platziert. In SIA 180:2014 [13] ist die zulässigen Zugluftrate bei einer natürlichen Lüftung auf 20 % begrenzt, dies ergibt nach SIA 382/1:2025 [1] die Klasse IEQ_{II} (LDC), siehe auch Kapitel 3.4.5. Weitere Ergebnisse für die Zugluftraten finden sich im Anhang 12.8.1.

In Tabelle 54 sind die Zugluftraten für das Gebäude NL_auto_E1, bei geschlossenen Lüftungsflügeln (k. L) und bei geöffneten Lüftungsflügeln (s. FL) an beiden Messpunkten für beide Arbeitsplätze aufgelistet. In der letzten Spalte ist ein verlängerter Lüftungsvorgang ersichtlich, wie er bei einer aktivierten CO₂-Steuerung stattfindet: es öffnen sich die dafür vorgesehenen Lüftungsflügel, schliessen sich aber aufgrund des ungünstig, mittig im Büro (abgeschirmt) platzierten CO₂-Fühlers nicht mehr. Aus diesem Grund wurde die automatische Fensteröffnung deaktiviert.

Tabelle 54: NL_auto_E1: Zugluftrate DR; Überschreitung der Klasse IEQ_{II} (LDC) (> 20 %) auf der Höhe 0.1 m, mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 15 min; MD = 30 min ¹⁾	s. FL. 48 min; MD = 60 min ²⁾
NL_auto_E1_1; Abstand 1.0 m	0%	54%	64%
NL_auto_E1_1; Abstand 1.3 m	0%	42%	61%
NL_auto_E1_2; Abstand 0.5 m	0%	0%	0%
NL_auto_E1_2; Abstand 1.3 m	0%	44%	4%

¹⁾ Alle Lüftungsflügel

²⁾ Zwei Lüftungsflügel in der Zone

Im Raum NL_auto_E1_1 übersteigt die Zugluftrate bei geöffnetem Lüftungsflügel mit 54 % und 42 % die IEQ_{II} (LDC) (> 20 %) um mehr als das Doppelte. Bei NL_auto_E1_2 ergeben sich im Abstand von 1.3 m ähnliche Zugluftraten wie unmittelbar beim Lüftungsflügel.

Die Zugluftraten für das Gebäude NL_auto_M1 zeigt Tabelle 55. Einmal bei geschlossenem Lüftungsflügel (k. L) und einmal bei einem Lüftungsvorgang von 3 min (s. FL). Die Dauer von drei Minuten entspricht dem täglichen Lüftungsvorgang um 14:00 Uhr gemäss dem Zeitschaltprogramm während der Wintermonate.

Tabelle 55: NL_auto_M1; Zugluftrate DR; Überschreitung der Klasse IEQ_{II} (LDC) (> 20 %) auf der Höhe 0.1 m, mittlere Aussentemperatur - 0.6 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 3 min; MD = 6 min
NL_auto_M1_1; Abstand 1.0 m	0%	36%
NL_auto_M1_1; Abstand 1.5 m	0%	53%
NL_auto_M1_2; Abstand 1.0 m	0%	0%
NL_auto_M1_2; Abstand 1.5 m	0%	3%

Bei NL_auto_M1_1 in direkter Nähe zum Lüftungsflügel ist die Zugluftrate mit 36 % und 53 % ähnlich hoch wie bei den anderen Gebäuden und ausserhalb IEQ_{II} (LDC) (> 20 %). Bei NL_auto_M1_2, weiter entfernt vom Lüftungsflügel, ist die Zugluftrate mit 3 % unproblematisch.

In Tabelle 56 sind die Zugluftraten für das Gebäude NL_man_I1, bei geschlossenem Fenster (k. L), bei vollständiger Öffnung aller Fenster für 5 Minuten (s. FL) und einem 10-minütigem Lüftungsvorgang mit gekipptem Fenster (k. FL) ersichtlich.



Tabelle 56: NL_man_I1; Zugluftrate DR; Überschreitung der Klasse IEQ_{II} (LDC) (> 20 %) auf der Höhe 0.1 m, mittlere Aussentemperatur - 1.7 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 5 min; MD = 10 min	k. FL. 10 min; MD = 20 min
NL_man_I1_1; Abstand 1.0 m	0%	53%	51%
NL_man_I1_1; Abstand 1.5 m	0%	53%	50%
NL_man_I1_2; Abstand 1.0 m	0%	50%	47%
NL_man_I1_2; Abstand 1.6 m	0%	50%	42%

Beim Gebäude NL_man_I1 sind beim Lüftungsvorgang mit vollständig geöffneten Fenstern sowohl bei NL_man_I1_1 im Einzelbüro als auch bei NL_man_I1_2 im Sitzungszimmer die Zugluftraten immer $\geq 50\%$ und damit ausserhalb IEQ_{II} (LDC) (> 20 %). Auch bei der Kipplüftung sind die Zugluftraten mit Werten zwischen 42 % und 51 % sehr hoch und ausserhalb von IEQ_{II} (LDC) (> 20 %).

Tabelle 57 zeigt die Zugluftraten für das Gebäude NL_man_B1, bei geschlossenem Fenster (k. L), bei einem Lüftungsvorgang mit vollständig geöffnetem Fenster mit einer Lüftungszeit von 5 Minuten (s. FL) und einem Lüftungsvorgang mit gekipptem Fenster mit einer Lüftungszeit von 10 Minuten (k. FL).

Tabelle 57: NL_man_B1; Zugluftrate DR; Überschreitung der Klasse IEQ_{II} (LDC) (> 20 %) auf der Höhe 0.1 m, mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 5 min; MD = 10 min	k. FL. 10 min; MD = 20 min
NL_man_B1_1; Abstand 1.0 m	0%	33%	0%
NL_man_B1_1; Abstand 1.8 m	0%	50%	3%
NL_man_B1_2; Abstand 1.0 m	0%	53%	-
NL_man_B1_2; Abstand 1.8 m	0%	53%	-

Beim Lüftungsvorgang mit vollständig geöffnetem Fenster liegt sowohl bei NL_man_B1_1 im Einzelbüro mit 33 % und 50 % wie auch bei NL_man_B1_2 im Mehrpersonenbüro mit zweimal 53 % die Zugluftrate ausserhalb von IEQ_{II} (LDC) (>20%). Bei einer Kipplüftung ergeben sich hingegen Zugluftraten von maximal 3 %.

Fazit Zugluftrate

Die Zugluftraten während eines Lüftungsvorgangs mit vollständig geöffneten Fenstern bzw. Lüftungsflügeln liegen bei allen Gebäuden im Bereich von ca. 50 %. Beim Gebäude NL_auto_M1 ist zumindest an einem Arbeitsplatz, der sich weiter weg vom Lüftungsflügel befindet, die Zugluftrate deutlich niedriger und innerhalb von IEQ_{II} (LDC) (> 20 %).

Allerdings ist anzumerken, dass sich die Zugserscheinungen auf die Dauer des Lüftungsvorgangs beschränken. Nach dem Schliessen der Fenster normalisieren sich die Werte schnell wieder (siehe dazu auch die Grafiken im Anhang 12.8.1.)

Vertikale Temperaturunterschiede

In diesem Kapitel wird das Innenraumklima bezüglich vertikaler Lufttemperaturunterschiede beurteilt. Gemäss SIA 382/1:2025 [1] wird die IEQ_{II} (LDC) Klasse überschritten, wenn der vertikale Lufttemperaturunterschied zwischen den Höhen 1.1 m und 0.1 m über dem Boden grösser als 5 K ist (siehe auch Kapitel 12.7).

In den folgenden Tabellen ist die Häufigkeit dieser Überschreitungen je nach Zustand des Fensters, (geschlossen k. L., geöffnet s. FL. oder gekippt k. FL., Tabelle 53) ersichtlich.

In Tabelle 58 sind die Häufigkeiten der vertikalen Temperaturunterschiede > 5 K für das Gebäude NL_auto_E1 aufgeführt. In diesem Gebäude befinden sich die Arbeitsplätze NL_auto_E1_1 direkt



beim Lüftungsflügel und NL_auto_E1_2 zwischen den Lüftungsflügeln. Bei geschlossenen Lüftungsflügeln gibt es keine Überschreitungen der IEQ_{II} (LDC) Klasse. Wenn alle Lüftungsflügel für 15 Minuten geöffnet sind, kommt es bei NL_auto_E1_1 zu Überschreitungen von 29 % resp. 33 %. Beim langen Lüftungsvorgang über die zwei Lüftungsflügel in der Zone sind die Überschreitungen am Arbeitsplatz NL_auto_E1_1 mit 67 % resp. 56 % noch höher. Bei NL_auto_E1_2 kommt es nur zu einer kurzfristigen Überschreitung während 2 % bei der 15-minütigen Fensterlüftung über alle Lüftungsflügel.

Tabelle 58: NL_auto_E1: Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m); Überschreitung IEQ_{II} (LDC) (> 5 K), mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 15 min; MD = 30 min ¹⁾	s. FL. 48 min; MD = 60 min ²⁾
NL_auto_E1_1; Abstand 1.0 m	0%	29%	67%
NL_auto_E1_1; Abstand 1.3 m	0%	33%	56%
NL_auto_E1_2; Abstand 0.5 m	0%	0%	0%
NL_auto_E1_2; Abstand 1.3 m	0%	2%	0%

1) Alle Lüftungsflügel

2) Zwei Lüftungsflügel in der Zone

Beim Gebäude NL_auto_M1 wird die IEQ_{II} (LDC) Klasse mit geschlossenen Fenstern und auch beim Standardlüftungsvorgang von 3 min bei beiden untersuchten Arbeitsplätzen eingehalten.

Tabelle 59 zeigt, wie oft der vertikale Lufttemperaturunterschied im Gebäude NL_man_I1 bei den untersuchten Arbeitsplätzen 5 K überschreitet, bzw. wie oft die IEQ_{II} (LDC) Klasse nicht eingehalten wird. Der Arbeitsplatz NL_man_I1_1 ist in einem Zweipersonenbüro und NL_man_I1_2 befindet sich in einem Sitzungszimmer. Mit geschlossenem Fenster treten keine Überschreitungen der IEQ_{II} (LDC) Klasse auf. Bei geöffnetem Fenster betragen die Überschreitungen bei NL_man_I1_1 45 - 48 % und bei NL_man_I1_2 22 – 32 %. Mit gekipptem Fenster werden keine Überschreitungen von IEQ_{II} (LDC) festgestellt.

Tabelle 59: NL_man_I1: Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m); Überschreitung IEQ_{II} (LDC) (> 5 K), mittlere Aussentemperatur -1.7 °C.

	k. L.; MD = 60 min	s. FL. 5 min; MD = 10 min	k. FL. 10 min; MD = 20 min
NL_man_I1_1; Abstand 1.0 m	0%	48%	0%
NL_man_I1_1; Abstand 1.5 m	0%	45%	0%
NL_man_I1_2; Abstand 1.0 m	0%	32%	0%
NL_man_I1_2; Abstand 1.6 m	0%	22%	0%

Im Gebäude NL_man_B1 wird nur beim Arbeitsplatz NL_man_B1_2 (Mehrpersonenbüro im Altbau-Teil) beim 5-minütigen Lüftungsvorgang eine Überschreitung der IEQ_{II} (LDC) Klasse während 2 % der Messdauer (10 Minuten) erfasst. Diese Überschreitung betrifft nur die Messstelle 1.8 m vom Fenster entfernt. Bei NL_man_B1_1 (Einzelbüro im Neubau-Teil) ist der vertikale Lufttemperaturunterschied auch bei Messungen mit Fensterlüftung und Kipplüftung nie grösser als 5 K wodurch die IEQ_{II} (LDC) Klasse stets eingehalten wird.

Fazit vertikaler Temperaturunterschied

Bei Lüftungsvorgängen mit vollständig geöffneten Fenstern kommt es zu maximal 67 % Überschreitung der IEQ_{II} (LDC) Klasse (NL_auto_E1_1). Nennenswerte Überschreitungen werden jedoch nur beim Gebäude NL_man_I1 und Arbeitsplatz NL_auto_E1_1 festgestellt. Bei Kipplüftung,



sofern diese im Gebäude möglich ist (NL_man_I1 und NL_man_B1), wird die IEQ_{II} (LDC) Klasse eingehalten.

Klassifizierung des Innenraumklimas bezüglich Raumtemperatur (operative Temperatur)

Die operative Temperatur wird jeweils auf einer Höhe von 1.05 m, am Rand der Aufenthaltszone und daher mit 1.0 m Abstand zum Fenster bzw. 0.5 m Abstand zur Aussenwand gemessen. Die Klassierung erfolgt gemäss SIA 382/1:2025 [1] (Kapitel 3.4.5).

Es wird wieder zwischen «keine Lüftung, k. L.», «Stosslüftung, s. FL.» und «Kipplüftung, k. FL.» unterschieden (Tabelle 53). Die Messdauer übersteigt die Lüftungsdauer immer um das Doppelte, um zu erfassen, wie schnell sich die operative Temperatur nach dem Lüftungsvorgang normalisiert.

Für das Gebäude NL_auto_E1 zeigen Abb. 32 und Abb. 33 die operativen Temperaturen für die Arbeitsplätze NL_auto_E1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und NL_auto_E1_2 (zwischen den Lüftungsflügeln).

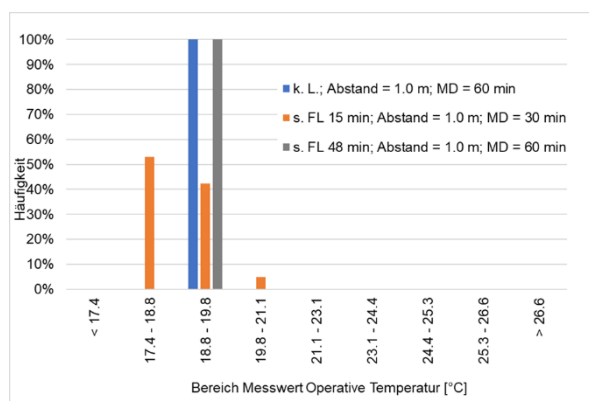


Abb. 32: NL_auto_E1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

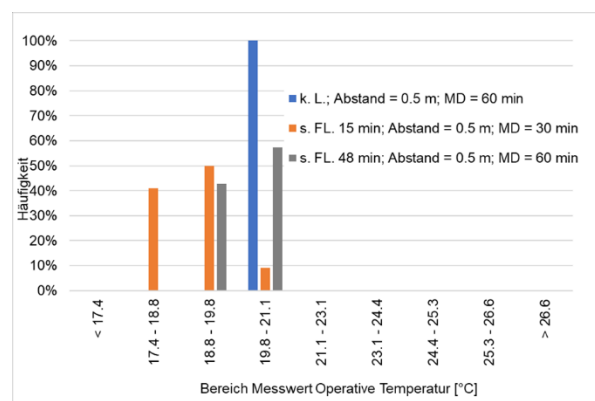


Abb. 33: NL_auto_E1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

- Mit geschlossenen Fenstern liegt die operative Temperatur bei NL_auto_E1_1 zwischen 18.8 und 19.8 °C und ist daher innerhalb IEQ_{III} (RT). Bei NL_auto_E1_2 wird eine höhere Klasse IEQ_{II} (RT) erreicht, da die Temperatur zwischen 19.8 und 21.1 °C liegt.
- Werden nur zwei Lüftungsflügel geöffnet, selbst bei einer langen Öffnungsdauer von 48 Minuten, ist der Einfluss auf die operative Temperatur eher gering. Bei NL_auto_E1_1 bleibt die Klassierung unverändert in IEQ_{III} (RT), bei NL_auto_E1_2 liegt sie während ca. 40 % der Zeit in IEQ_{II} (RT) und während 60 % der Zeit innerhalb von IEQ_{III} (RT).
- Werden alle Lüftungsflügel geöffnet, kommt es bei NL_auto_E1_1 zu einem kurzzeitigen Anstieg der operativen Temperatur. Dies lässt sich durch die Vermischung der gesamten Raumluft erklären. An beiden Arbeitsplätzen sinkt die operative Temperatur während der manuellen Fensterlüftung auf Werte ausserhalb von IEQ_{III} (RT) (AP 1: 50 %, AP 2: 40 %)

Abb. 34 und Abb. 35 zeigen für das Gebäude NL_auto_M1 die operativen Temperaturen für die Arbeitsplätze NL_auto_M1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und NL_auto_M1_2 (zwischen zwei Lüftungsflügeln). Die Öffnungsdauer für die Lüftungsvorgänge und die Messungen sind in Tabelle 53 aufgeführt.

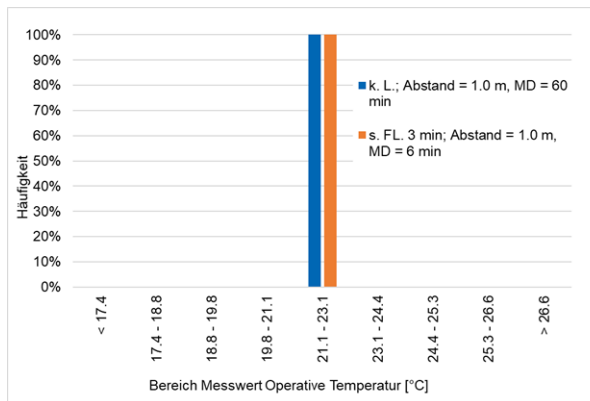


Abb. 34: NL_auto_M1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 0.6 °C.

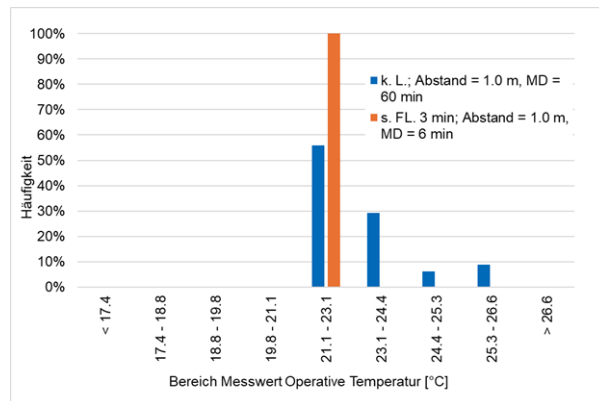


Abb. 35: NL_auto_M1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 0.6 °C.

- Mit geöffnetem Fenster sinkt an beiden Arbeitsplätzen die operative Temperatur nie unter 21.1 °C IEQ_I (RT). Beim Arbeitsplatz 2 liegt die Temperatur während ca. 45 % der Zeit sogar über 23.1 °C. Für eine Wintermessung mit einer mittleren Aussentemperatur von - 0.6 °C liegt die operative Temperatur eher hoch. Dies ist auf die hohen internen Lasten und eine direkte Sonneneinstrahlung zurückzuführen.

In Abb. 36 und Abb. 37 sind die operativen Temperaturen für NL_man_I1_1 (Zweipersonenbüro) und NL_man_I1_2 (Sitzungszimmer) dargestellt.

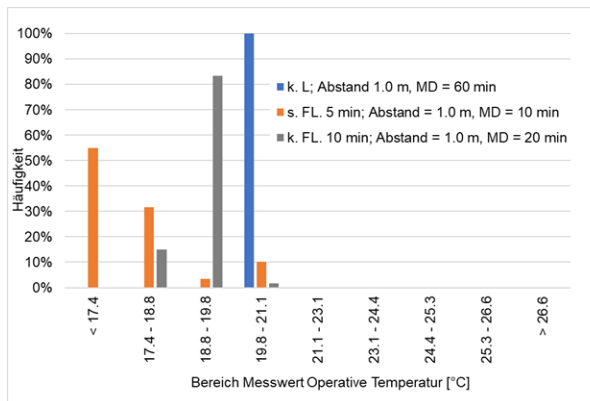


Abb. 36: NL_man_I1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 1.7 °C.

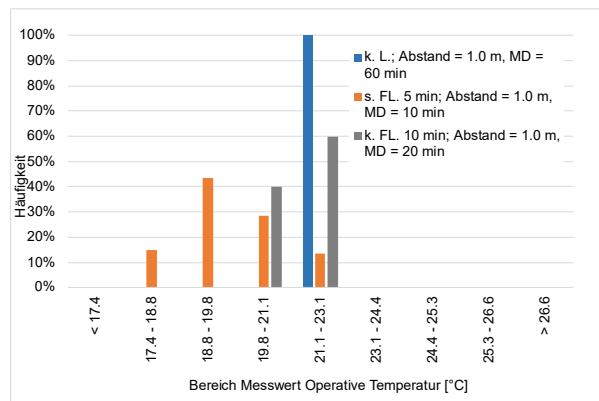


Abb. 37: NL_man_I1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 1.7 °C.

- Bei geschlossenem Fenster liegt die operative Temperatur an beiden Arbeitsplätzen in der Kategorie IEQ_{II} (RT) (19.8 und 21.1 °C).
- Mit geöffnetem Fenster fällt die Temperatur bei NL_man_I1_1 während ca. 55 % der Zeit auf Werte unter 17.4 °C. Bei NL_man_I1_2 sinkt nie tiefer als 17.4 °C und ist aber ca. 15 % der Zeit unter 18.8 °C und befindet sich damit ausserhalb von IEQ_{III} (RT).
- Bei gekipptem Fenster liegt die Temperatur am Arbeitsplatz NL_man_I1_1 während ca. 85 % der Zeit über 18.8 °C und liegt daher innerhalb IEQ_{III} (RT) und IEQ_{II} (RT). Bei NL_man_I1_2 überschreitet die Temperatur immer 19.8 °C und ist damit innerhalb von IEQ_{II} (RT) und IEQ_I (RT).



In Abb. 38 und Abb. 39 sind die operativen Temperaturen für NL_man_B1_1 (Einzelbüro Neubau) und NL_man_B1_2 (Mehrpersonenbüro Altbau) dargestellt. Die Dauer der Lüftungsvorgänge und der Messungen sind in Tabelle 53 aufgeführt. Die «Kipplüftung» wurde nur am Arbeitsplatz NL_man_B1_1 durchgeführt.

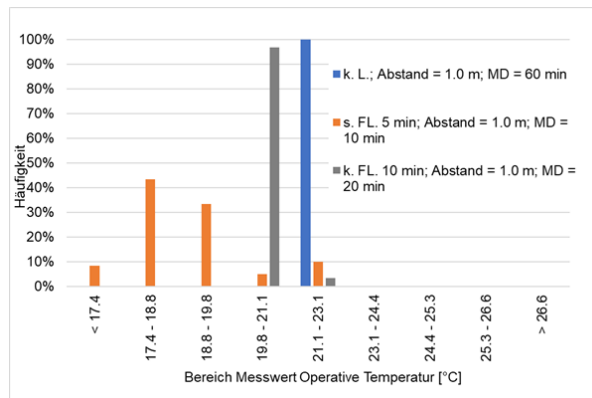


Abb. 38: NL_man_B1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

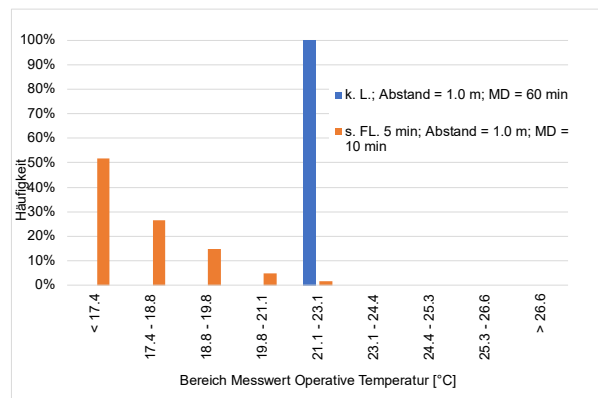


Abb. 39: NL_man_B1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

- Bei geschlossenen Fenstern liegen die operativen Temperaturen an beiden Arbeitsplätzen innerhalb von IEQ_I (RT) und damit zwischen 21.1 und 23.1 °C.
- Durch das Kippen der Fenster sinkt die Temperatur bei NL_man_B1_1 während ca. 95 % der Zeit auf Werte zwischen 19.8 und 21.1 °C und liegt damit innerhalb von IEQ_{II} (RT).
- Mit geöffnetem Fenster fällt die operative Temperatur am Arbeitsplatz NL_man_B1_2 während ca. 50 % der Zeit auf Werte unter 17.4°C, bei NL_man_B1_2 liegt sie während ca. 50 % der Zeit unter 18.8 °C und somit ausserhalb IEQ_{III} (RT), knapp 10 % dieser Zeit liegt sie unter 17.4°C.

Fazit operativen Temperatur

Wie zu erwarten, wird durch Fensterlüftung oder Kipplüftung während und nach dem Lüftungsvorgang eine tiefere operative Temperatur gemessen. Der angestrebte Wert IEQ_{II} (RT) (< 19.8 °C) wird oft deutlich unterschritten. Bei NL_auto_E1_1 ist die operative Temperatur auch bei geschlossenem Fenster tiefer als IEQ_{II} (RT) (< 19.8 °C), siehe Abb. 32. Bei NL_auto_M1, Abb. 34 und Abb. 35, hat die Fensterlüftung von drei Minuten keinen Einfluss auf die operative Temperatur. Die hohen operativen Temperaturen bei NL_auto_M1 sind auf Sonneneinstrahlung während der Messung und die hohen interne Lasten zurückzuführen. Die fast konstante Temperatur während des langen Lüftungsvorgangs bei NL_auto_E1 weist auf einen eher geringen Luftwechsel hin, der sich bei zwei geöffneten Lüftungsflügeln pro Zone einstellt.

Klassifizierung Innenraumklima bezüglich allgemeiner thermischer Behaglichkeit (PMV-Werte)

Hier wird die Verteilung der berechneten PMV-Werte für eine sitzende Tätigkeit (Höhe: 0.6 m) und für eine stehende Tätigkeit (Höhe: 1.1 m) untersucht. Die Betrachtung bezieht sich auf den Aufenthaltsbereich mit einem Meter Abstand zum Fenster. Die relative Luftfeuchtigkeit wird auf einer Höhe von 1.2 m und die operative Temperatur auf einer Höhe von 1.05 m gemessen. Die Berechnung der PMV-Werte wird gemäss SIA 180:2014 [13] resp. SN EN ISO 7730:2006 durchgeführt, siehe dazu auch Kapitel 3.4.5. Der PMV-Wert entspricht jeweils einem zu erwarteten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD-Wert). Nachfolgend wird nur der PMV-Wert ausgewiesen, da so zusätzlich



ersichtlich ist, ob die Klimabeurteilung der Personen eher zu kalt (negativer PMV-Wert) oder zu warm (positiver PMV-Wert) ausfällt.

Die Spezifizierung der Dauer der jeweiligen Lüftungs- und Messvorgänge findet sich in Tabelle 53. In den nachfolgenden Abbildungen gelten die pastellfarbenen Balken für eine stehende Tätigkeit (met 1.6), die vollfarbigen Balken für eine sitzende Tätigkeit (Messhöhe 1.1 m, met 1.2). Bei der stehenden Tätigkeit liegt metabolische Rate höher, was zu höheren PMV-Werten führt.

Die PMV-Werte für das Gebäude NL_auto_E1 zeigen Abb. 40 und Abb. 41 für die Arbeitsplätze NL_auto_E1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und für NL_auto_E1_2 (zwischen den Lüftungsflügeln). Die Lüftungs- und Messdauern für das Gebäude sind in Tabelle 53 aufgeführt.

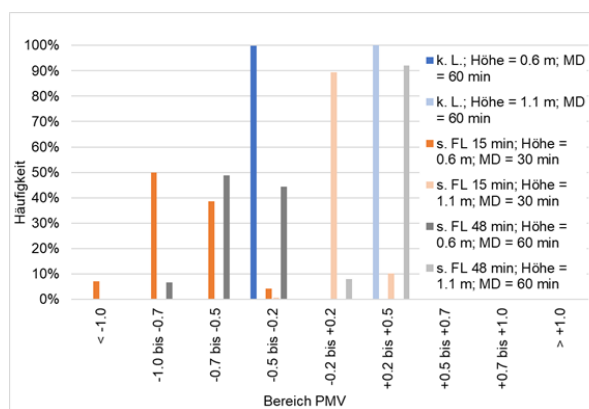


Abb. 40: NL_auto_E1_1, PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

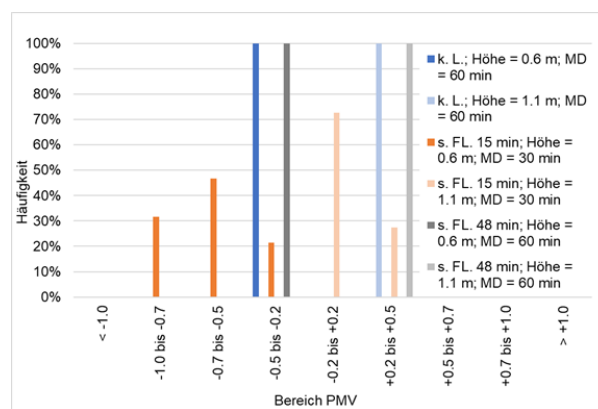


Abb. 41: NL_auto_E1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 2.2 °C.

- Für eine stehende Tätigkeit sind alle PMV-Werte für NL_auto_E1_1 und NL_auto_E1_2 im neutralen bzw. positiven Bereich zwischen PMV - 0.2 und PMV + 0.5.
- Betrachtet man die sitzenden Tätigkeiten (vollfarbigen Balken) sind bei beiden Arbeitsplätzen bei geschlossenen Fensterflügeln (dunkelblauer Balken) die PMV-Werte im negativen Bereich (PMV: - 0.5 bis -0.2), IEQ_{II} (GTC). Damit sind ca. 10 % der anwesenden Personen voraussichtlich unzufrieden. Mit offenen Fensterflügeln (oranger Balken) wird bei NL_auto_E1_1 während knapp 60 % der Zeit ein PMV-Wert von - 0.7 unterschritten, was bedeutet, dass mehr als 15 % der anwesenden Personen dies als zu kalt empfinden. Die Bewertung liegt damit ausserhalb IEQ_{III} (GTC). Bei NL_auto_E1_2 wird der PMV-Wert von - 0.7 während ca. 30 % der Messzeit bei offenen Fensterflügeln unterschritten.

Für das Gebäude NL_auto_M1 sind in Abb. 42 und Abb. 43 NL_auto_M1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und NL_auto_M1_2 (zwischen zwei Lüftungsflügeln) dargestellt.

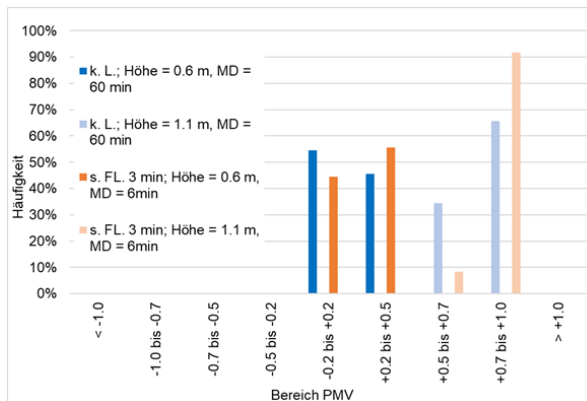


Abb. 42: NL_auto_M1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 0.6 °C.

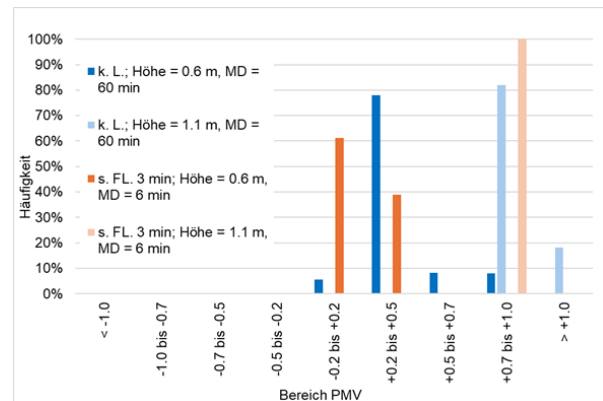


Abb. 43: NL_auto_M1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 0.6 °C.

- Für stehende und sitzende Tätigkeiten sind alle PMV-Werte im positiven Bereich, daher empfinden auch bei einem Lüftungsvorgang die anwesenden Personen die Raumtemperatur als tendenziell zu warm. Die durchschnittliche Aussentemperatur beträgt - 0.6 °C während der Messung.

Abb. 44 und Abb. 45 zeigen die PMV-Werte für NL_man_I1_1 (Zweipersonenbüro) und NL_man_I1_2 (Sitzungszimmer).

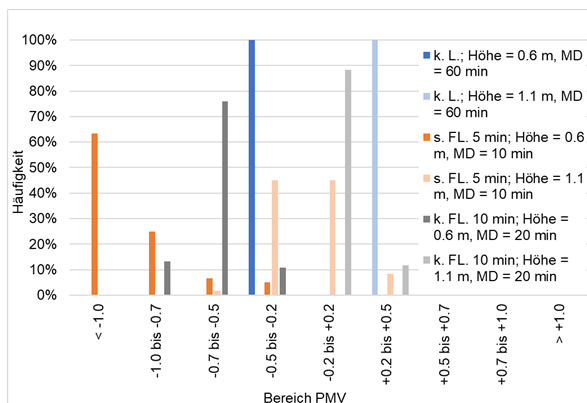


Abb. 44: NL_man_I1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 1.7 °C.

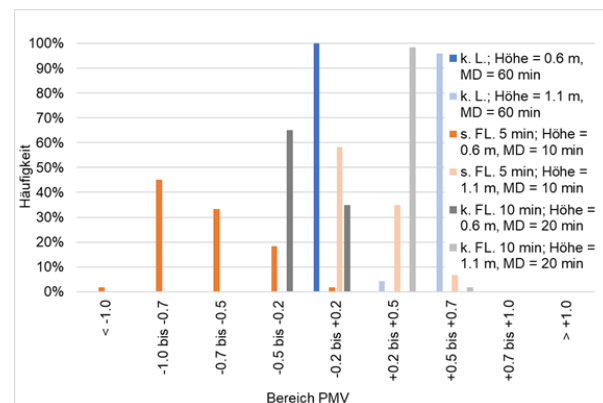


Abb. 45: NL_man_I1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 1.7 °C.

- Für eine stehende Tätigkeit sind alle PMV-Werte bei NL_man_I1_2 im neutralen bzw. positiven Bereich. Bei NL_man_I1_1 liegt der PMV-Wert bei Fensterlüftung während etwa der Hälfte der Messzeit unter - 0.2.
- Bei einer sitzenden Tätigkeit sind bei beiden Arbeitsplätzen mit geschlossenen Fenstern die PMV-Werte im negativen, bzw. nur schwach positiven Bereich (AP 1: PMV: - 0.5 bis - 0.2, AP 2: PMV: - 0.2 bis + 0.2). Bei NL_man_I1_1 wird bei offenen Fenstern während mehr als 60 % der Messzeit ein PMV-Wert von - 1.0 unterschritten, damit finden es voraussichtlich mehr als 25 % der anwesenden Personen zu kalt. Bei NL_man_I1_2 wird der PMV-Wert von - 0.7 während ca. 45 % der Zeit bei geöffneten Fenstern unterschritten. PMV-Werte unter - 0.7 liegen ausserhalb von IEQ_{III} (GTC).



Abb. 46 und Abb. 47 zeigen die PMV-Werte für beide Arbeitsplätze (NL_man_B1_1: Einzelbüro Neubau, NL_man_B1_2: Mehrpersonenbüro Altbau). Angaben zu den Lüftungsintervallen und Messzeiträumen finden sich in Tabelle 53. Bei NL_man_B1_2 wurde keine «Kipplüftung» durchgeführt.

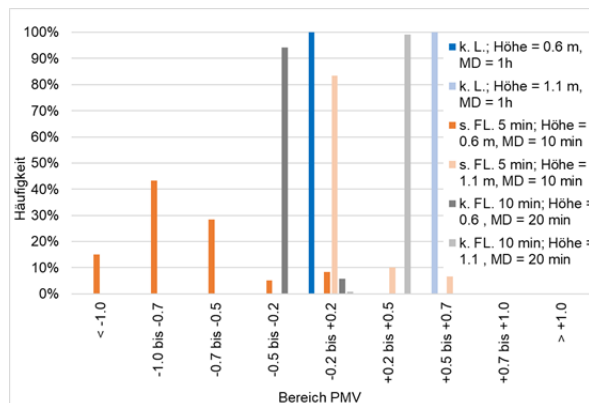


Abb. 46: NL_man_B1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

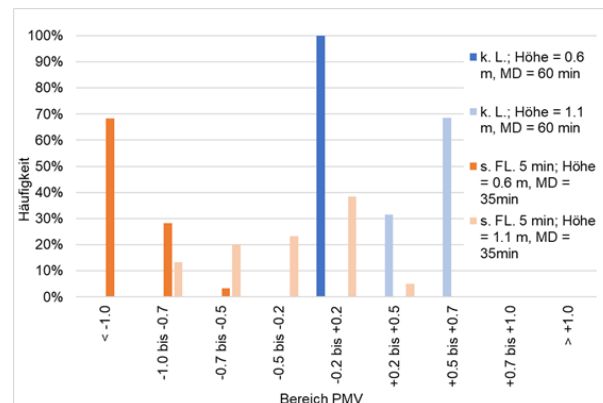


Abb. 47: NL_man_B1_2, PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

- Für eine stehende Tätigkeit liegen alle PMV-Werte bei NL_man_B1_1 im neutralen Bereich mit leichten Abweichungen nach oben (PMV: - 0.2 bis + 0.7).
- Bei einer sitzenden Tätigkeit und während des Lüftungsvorgangs wird bei NL_man_B1_1 während ca. 15 % der Zeit ein PMV-Wert von - 1 unterschritten. Das bedeutet, dass voraussichtlich mehr als 25 % der anwesenden Personen die Temperatur als zu kalt bewerten. Bei NL_man_B1_2 wird während der Stosslüftung mit sitzender Tätigkeit der PMV-Wert von - 1 während knapp 70 % der Zeit unterschritten. Bei geschlossenem Fenster liegen beide Arbeitsplätze im neutralen Bereich mit leichten positiven und negativen Abweichungen (PMV: - 0.2 bis + 0.2).

Fazit PMV-Werte

Bei sitzender Tätigkeit und geöffnetem Fenster/Lüftungsflügel werden hauptsächlich die PMV-Werte IEQ_{II} (+/- 0.5) unterschritten. Ausser beim Gebäude NL_auto_M1 (in dem es tendenziell warm ist) liegen bei den anderen Gebäuden die Werte auch ausserhalb der Klasse IEQ_{III} (GTC) und der PMV-Wert ist im negativen Bereich. Bei geschlossenem Fenster sind die Messungen im Bereich von IEQ_I (GTC) und IEQ_{II} (GTC). Der PMV-Wert ist oft positiv, was auf eine erhöhte Raumtemperatur hinweist. Bei beiden Arbeitsplätzen im Gebäude NL_auto_E1 und bei NL_man_I1_1 werden auch bei geschlossenen Lüftungsflügeln bzw. Fenstern negative PMV-Werte festgestellt.

Generell sind bei stehender Tätigkeit die Temperaturen höher als bei sitzender Tätigkeit. Dies gilt für alle Lüftungszustände. IEQ_{II} (GTC) wird bei fast allen Gebäuden überschritten. Vor allem im Gebäude NL_auto_M1, werden sehr hohe, positive PMV-Werte gemessen, hier sind viele Werte auch ausserhalb von IEQ_{III} (GTC).



PMV-Verläufe in Abhängigkeit des vertikalen Temperaturunterschiedes

Im Anhang, Kapitel 12.8.3, in den Abb. 136 bis Abb. 143 sind die PMV- Verläufe in Abhängigkeit vom vertikalen Temperaturunterschied pro Gebäude und untersuchtem Arbeitsplatz ersichtlich.

In den Diagrammen sind der Lüftungsvorgang selber und das Einschwingen des PMV-Wertes sowie des vertikalen Temperaturunterschiedes nach dem Lüftungsvorgang dargestellt. Bei den Gebäuden NL_man_I1, NL_man_B1 und NL_auto_E1 kann das Einschwingen bis zu 30 Minuten dauern und beim Gebäude NL_auto_M1 wird nur eine geringfügige Störung festgestellt.

Ebenfalls dargestellt ist das Verhalten bei offenen Türen und geschlossenen Fenstern bei den Gebäuden NL_man_B1 und NL_man_I1 (Abb. 136 bis Abb. 139). Dabei ist die Auswirkung von offenen Türen nur minimal.

6.1.4 Vergleich Kurzzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden

Winter

Aus den Befragungsergebnissen werden für jedes Messgebäude die Ergebnisse herausgegriffen, die sich signifikant von der Grundgesamtheit unterscheiden und mit den Kurzzeitmessungen verglichen.

Die Bewertung der Zugluft kann mit der Benutzendenbefragung indirekt über die beiden Fragen nach Zugluft bei geschlossenem Fenster und nach Zugluft am Arbeitsplatz verglichen werden. Es werden die beiden Antworten «oft» und «immer» zusammengefasst.

NL_auto_E1

Das Gebäude NL_auto_E1 weicht bei der Bewertung der Zugluft bei geöffneten Fenstern signifikant von der Grundgesamtheit ab, indem die Zugluft bei geöffnetem Fenster bei diesem Gebäude schlechter bewertet wird als bei den anderen Gebäuden.

Durch die Messung konnte beim Gebäude NL_auto_E1 keine höhere Zugluftrate, als bei anderen Gebäuden festgestellt werden. Sie liegt für einen viertelstündigen Lüftungsvorgang für einen Arbeitsplatz zwischen 42 und 54 % und für den anderen Arbeitsplatz zwischen 0 und 44 %. Andere Gebäude weisen für die Stosslüftung Werte zwischen 33 und 53 % (NL_man_B1, fünfminütige Lüftung), 0 und 53 % (NL_auto_M1, dreiminütige Lüftung) und 50 bis 53 % (NL_man_I1, fünfminütige Lüftung) auf. Auffallend hingegen ist, dass das Gebäude NL_auto_E1 selbst bei geschlossenen Fenstern negative PMV-Werte und daher eher zu kalte Raumlufttemperaturen aufweist.

Beide Fragen nach Zugluft bei geschlossenem Fenster und am Arbeitsplatz werden von jeweils 4 % der Befragten mit «oft» oder «immer» beantwortet.

NL_auto_M1

Bei diesem Gebäude wird die Zugluft am Arbeitsplatz und diejenige bei geöffneten Fenstern signifikant schlechter bewertet als bei den anderen Gebäuden.

Die Frage nach Zugluft bei geschlossenem Fenster wird von 11 % der Befragten mit «oft» oder «immer» beantwortet. Zugluft am Arbeitsplatz verspüren 15 % «oft» oder «immer». Bei den Messungen tritt mit geschlossenem Fenster während einer einstündigen Messung keine Zugluft auf. Die Messung unterstützt also die Befragungsergebnisse nicht.

Auch die Bewertung der Störungen durch Lärm der Lüftungseinrichtungen (hier Fensterantriebe und Ventilatoren in den Sitzungsräumen) ist hier signifikant schlechter als bei den anderen Gebäuden.

Die Messung bestätigt, dass die Ventilatoren in den Sitzungszimmern deutlich über den vorgeschriebenen 33 dB(A) liegen.



NL_man_B1

Beide Fragen zur Zugluft bei geschlossenem Fenster und am Arbeitsplatz werden von jeweils 14 % der Befragten mit «oft» oder «immer» beantwortet. Die gemessene Zugluft rate liegt bei geschlossenen Fenstern bei 0 %, die Messung bestätigt die Befragungsergebnisse damit nicht.

Die Störung durch Lärm von aussen wird hier etwas schlechter beurteilt als bei der Gesamtheit.

Die Schalleistungen bei NL_man_B1 bei geöffnetem Fenster, sind nicht höher als bei den anderen Gebäuden. Die Geräuschkulisse beim «normalen» Bürobetrieb ist bei NL_man_B1 jedoch tiefer als in den anderen Gebäuden, dies führt relativ zu einem etwas grösseren Unterschied.

NL_man_I1

Beide Fragen nach Zugluft bei geschlossenem Fenster und am Arbeitsplatz werden von jeweils 7 % der Befragten mit «oft» oder «immer» beantwortet. Bei der Messung der Zugluft rate wird bei geschlossenem Fenster keine Zugluft festgestellt, damit weichen die Messungen von den Befragungen ab.

Der Lärm von aussen wird beim Gebäude NL_man_I1 signifikant besser eingeschätzt als bei den anderen Gebäuden.

NL_man_I1 liegt bei der Messung in etwa zwischen den Gebäuden NL_auto_M1 und NL_auto_E1. Die Aussage aus der Befragung der Benutzenden kann durch die Messung also nicht bestätigt werden.



6.2 Resultate Kurzzeitmessungen Sommer

6.2.1 Thermische Behaglichkeit

Die folgenden Abschnitte zeigen die Resultate der Behaglichkeitsmessungen im Sommer. Bei der Auswertung der Lüftungsvorgänge wird jeweils sowohl die Dauer des Lüftungsvorgangs als auch eine daran anschliessende Abklingzeit gleicher Länge berücksichtigt.

Die untersuchten Arbeitsplätze und die Messdauern sind in Tabelle 60 dargestellt.

Tabelle 60: Ergänzende Beschreibung der verschiedenen Arbeitsplätze, Kurzzeitmessungen.

Standort	Arbeitsplatz	Keine Lüftung (k. L) Dauer Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Stosslüftung (s. FL) Dauer Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Kipplüftung Dauer (k. FL) Lüftung / Dauer Messung (Minuten)	Mittlere Aussenluft- temperatur am Messtag (°C)
Emmen	NL_auto_E1_1	- / 30	15 / 30 ¹⁾ 15 / 30 ²⁾	-	23.6
	NL_auto_E1_2	- / 30	15 / 30 ¹⁾ 15 / 30 ²⁾	-	
Murten	NL_auto_M1_1	- / 60	8 / 16 3 / 6 ³⁾	-	26.6
	NL_auto_M1_2	- / 60	8 / 16 3 / 6 ³⁾	-	
Ittigen*	NL_man_I1_1	- / 60	5 / 10 15 / 30 ⁴⁾	10 / 20	21.9
	NL_man_I1_2	- / 60	5 / 10 15 / 30 ⁴⁾	10 / 20	
Bern	NL_man_B1_1	- / 60	5 / 10	10 / 20	14.2
	NL_man_B1_2	- / 60	5 / 10	-	

¹⁾ alle Lüftungsflügel werden für 15 Minuten manuell geöffnet

²⁾ nur die Lüftungsflügel NW werden für 15 Minuten manuell geöffnet

³⁾ Dies entspricht dem Lüftungsvorgang um 14:00 Uhr gemäss dem Zeitschaltprogramm während der Wintermonate

⁴⁾ Während diesem Lüftungsvorgang ist die Tür zum Korridor geöffnet

* Die Messung wird in NL_man_I1 durchgeführt (die Gebäude sind nahezu baugleich)

Klassifizierung lokale thermische Unbehaglichkeit, LDC (Zugluftraten)

Die nachfolgenden Abschnitte fassen die Ergebnisse zu den Zugluftraten der Sommermessungen zusammen. Im Unterschied zu den Wintermessungen kann im Sommer nicht davon ausgegangen werden, dass primär die Messposition in 0.1 m Höhe durch absinkende Kaltluft beeinflusst wird. Deshalb werden alle Messhöhen in die Auswertung einbezogen.

Da in den meisten Fällen die zulässigen Zugluftrate nicht überschritten wird, wird auf eine vollständige tabellarische Darstellung aller Einzelwerte verzichtet.

Die Messsonden werden jeweils am äusseren Rand der Aufenthaltszone sowie in der Mitte des untersuchten Arbeitsplatzes positioniert.

Gemäss SIA 180:2014 [13] ist die zulässige Zugluftrate bei natürlicher Lüftung auf 20 % begrenzt.

Nach SIA 382/1:2025 [1] entspricht dies der Klasse IEQ_{II} (LDC), siehe auch Kapitel 3.4.5.



Die gemessenen Zugluftfraten überschreiten die Klasse IEQ_{II} (LDC) (20 %) nur in einzelnen Situationen:

- **NL_auto_E1**
Am Arbeitsplatz NL_auto_E1_1, direkt neben dem Fenster, wird der Grenzwert ausschliesslich während der Lüftung der Zone Nordwest (NW) über die zwei Lüftungsflügel am äusseren Rand der Aufenthaltszone überschritten: in 3 % der Messdauer auf Höhe 1.1 m sowie in 1 % auf Höhe 0.6 m und 1.7 m.
Am Arbeitsplatz NL_auto_E1_2 kommt es lediglich bei einer Fensterlüftung (NW) auf Höhe 1.7 m, sowohl in der Mitte als auch am Rand der Aufenthaltszone, zu einer Überschreitung von jeweils 1 % der Messdauer. Während dieser Messungen beträgt die mittlere Aussenlufttemperatur 23.6 °C.
- **NL_auto_M1**
An beiden Arbeitsplätzen (NL_auto_M1_1 und NL_auto_M1_2) werden während der gesamten Messperiode und über alle Messsituationen keine Überschreitungen von IEQ_{II} (LDC) festgestellt. Die Zugluftfraten bleiben auch während der achtminütigen Lüftungsvorgänge auf allen Höhen stets unter 20 %. Dies ist vermutlich auf die geringe Differenz zwischen Aussen- und Innenlufttemperatur sowie auf das Lüftungssystem mit schmalen Lüftungsflügeln zurückzuführen.
- **NL_man_I1**
Im Zweipersonenbüro NL_man_I1_1 liegt die Zugluftfrate stets innerhalb von IEQ_I (LDC), mit Ausnahme einer 15-minütigen Fensterlüftung bei geöffneter Bürotür: In der Mitte des Aufenthaltsbereichs überschreitet die Zugluftfrate während 8 % der Messdauer auf Höhe 1.1 m sowie während 7 % auf Höhe 1.7 m den zulässigen Bereich.
Im Sitzungszimmer NL_man_I1_2 bleiben die Zugluftfraten sowohl bei geschlossenem Fenster als auch während der Lüftungsvorgänge durchgehend innerhalb der Klasse IEQ_{II} (LDC). Die mittlere Aussenlufttemperatur während dieser Messung beträgt 21.9 °C.
- **NL_man_B1**
Im Büro NL_man_B1_1 führt eine fünfminütige Fensterlüftung in der Mitte des Aufenthaltsbereichs auf Knöchelhöhe (0.1 m) zu einer Überschreitung der zulässigen Zugluftfrate um 20 % während 12 % der Messdauer. In allen anderen Fällen bleiben die Werte innerhalb von IEQ_{II} (LDC).
Im Altbau-Büro NL_man_B1_2 hingegen führt derselbe Lüftungsvorgang zu deutlichen Überschreitungen: Auf Höhe 0.6 m sowohl am Rand als auch in der Mitte des Aufenthaltsbereichs während der Hälfte der Messdauer, auf 1.1 m und 0.1 m treten ebenfalls Überschreitungen auf, während nahezu 50 % bzw. rund einem Drittel der Messdauer. Diese Ergebnisse sind wahrscheinlich auf die tiefe Aussenlufttemperatur von 14.2 °C zurückzuführen. Wie bereits im Winter sind hier vor allem die tieferliegenden Luftschichten betroffen.

Fazit Zugluftfrate

Die Zugluftfraten liegen bei den meisten Gebäuden auch während der Lüftungsvorgänge auf allen Höhen, sowohl in der Mitte als auch am Rand des Aufenthaltsbereichs im zulässigen Bereich innerhalb von IEQ_{II} (LDC) ($\leq 20\%$). Nur bei NL_man_B1 überschreitet die Zugluftfrate während mehr als 10 % der Messperiode den Grenzwert von IEQ_{II} (LDC). Insbesondere bei NL_man_B1_2 zeigt sich, analog zur Wintermessung, Luftzug während der Lüftung. Die Werte normalisieren sich jedoch nach dem Schliessen des Fensters wieder. Aufgrund der tiefen Aussenlufttemperatur ist die Messung bei NL_man_B1 nicht repräsentativ für einen typischen Sommertag.



Vertikale Temperaturunterschiede

In diesem Abschnitt wird das Innenraumklima hinsichtlich der vertikalen Lufttemperaturunterschiede beurteilt. Gemäss SIA 382/1:2025 [1] wird die Klasse IEQ_{II} (LDC) überschritten, wenn der vertikale Lufttemperaturunterschied zwischen den Höhen 1.1 m und 0.1 m über dem Boden grösser als 5 K ist (siehe auch Kapitel 3.4.5). Wie auch bei der Zugluft werden kaum Überschreitungen des zulässigen Lufttemperaturunterschieds festgestellt, weshalb auf eine tabellarische Darstellung aller Resultate verzichtet wird.

Besonderheiten:

- In den Gebäuden NL_auto_E1, NL_auto_M1 und NL_man_I1 ist der vertikale Temperaturunterschied auch während der Lüftungsvorgänge stets kleiner oder gleich 5 K und liegt damit innerhalb der Klasse IEQ_{II} (LDC). Bis auf vereinzelte kurzzeitige Überschreitungen liegen die Werte sogar innerhalb von IEQ_I (LDC) (≤ 3 K).
- Bei NL_man_B1_1 wird ein vertikaler Lufttemperaturunterschied von 2 bis 3 K während 25 % bis 30 % der Messperiode bei fünfminütiger Fensterlüftung gemessen. Die Werte bleiben jedoch jederzeit innerhalb von IEQ_{II} (LDC). Bei NL_man_B1_2 führt derselbe Lüftungsvorgang zu einem maximalen Lufttemperaturunterschied von 4 bis 5 K in der Mitte der Aufenthaltszone während 12 % der Messperiode. Am Rand des Aufenthaltsbereichs, also näher beim Fenster, sind die Werte tiefer. Insgesamt werden auch hier die zulässigen 5 K nicht überschritten. Die Aussenlufttemperatur ist an diesem Messtag mit durchschnittlich 14.2 °C deutlich tiefer als bei den anderen Messgebäuden.

Fazit vertikaler Temperaturunterschied

Die Sommermessungen ergeben ein konsistentes Bild der vertikalen Temperaturunterschiede. Die Werten bleiben, auch während der Lüftungsvorgänge, innerhalb von IEQ_I (LDC) (≤ 3 K). Eine Ausnahme bildet das Gebäude NL_man_B1 mit Unterschieden bis zu 5 K während der Lüftungsvorgänge. Die tiefen Aussenlufttemperatur von 14.2 °C macht diesen Messtag jedoch untypisch für die Sommerperiode.



Klassifizierung des Innenraumklimas bezüglich Raumtemperatur (operative Temperatur)

Die operative Temperatur wird jeweils auf einer Höhe von 1.05 m am Rand der Aufenthaltszone gemessen, mit einem Abstand von 1.0 m zum Fenster bzw. 0.5 m zur Aussenwand. Die Klassifizierung erfolgt gemäss SIA 382/1:2025 [1] (Kapitel 3.4.5).

Die Einteilung erfolgt gemäss Tabelle 60 in «keine Lüftung, k. L.», «Stosslüftung, s. FL.» und «Kipplüftung, k. FL.». Die Messdauer überschreitet die Lüftungsdauer jeweils um das Doppelte, um zu erfassen, wie schnell sich die operative Temperatur nach dem Lüftungsvorgang normalisiert.

Für das Gebäude NL_auto_E1 zeigt Abb. 48 die operativen Temperaturen für NL_auto_E1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel). Bei NL_auto_E1_2 (zwischen den Lüftungsflügeln) wurden die Daten für die operative Temperatur aufgrund eines technischen Fehlers nicht aufgezeichnet.

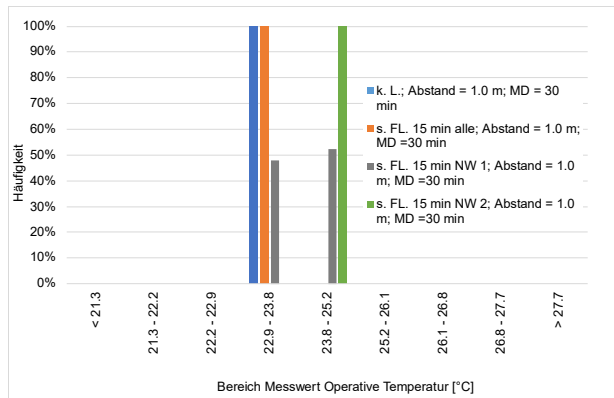


Abb. 48: NL_auto_E1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 23.6 °C.

- Bei geschlossenen Fenstern liegt die operative Temperatur zwischen 22.9 °C und 23.8 °C und befindet sich damit innerhalb von IEQ_{II} (RT).
- Bei der Öffnung aller Fensterflügel ändert sich die operative Temperatur während des Messzeitraums nicht. Hingegen steigt die Temperatur bei beiden Lüftungsvorgängen der Bürozone Nordwest über zwei Lüftungsflügel an, wobei beim zweiten Lüftungsvorgang alle Messwerte innerhalb von IEQ_I (RT) (23.8 °C bis 25.2 °C) liegen. Dies ist auf die Tageszeit zurückzuführen, da die Aussentemperatur im Verlauf des Tages (vgl. Vormittag / Nachmittag) von 23 °C auf 27 °C ansteigt.

Abb. 49 und Abb. 50 zeigen für das Gebäude NL_auto_M1 die operativen Temperaturen für NL_auto_M1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und NL_auto_M1_2 (zwischen zwei Lüftungsflügeln). Die Lüftungsvorgänge, Art der Öffnung und Öffnungsdauer sind in Tabelle 60 aufgeführt. Aufgrund von fehlenden Datenaufzeichnungen bei der Klimastation Murten werden für die Aussentemperatur die Daten der Station Payerne verwendet.

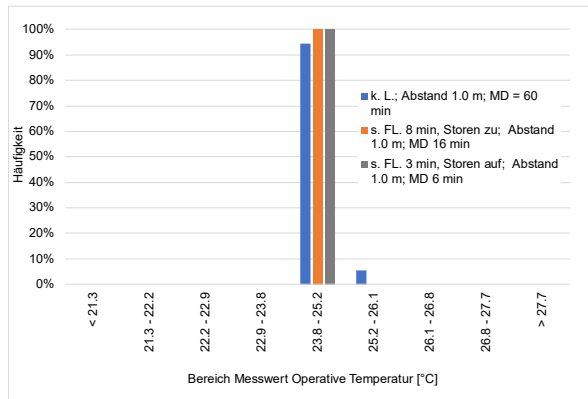


Abb. 49: NL_auto_M1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 26.6 °C.

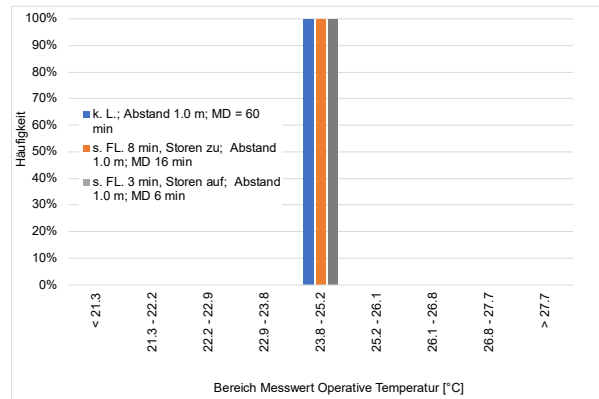


Abb. 50: NL_auto_M1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 26.6 °C.

- Bei geöffneten Fenstern bleibt die operative Temperatur an beiden Arbeitsplätzen innerhalb IEQ₁ (RT) zwischen 23.8 und 26.2 °C.
- Bei geschlossenem Fenster liegt die Temperatur am Arbeitsplatz NL_auto_M1_1 während 6 % der Zeit über 26.2 °C. Beim Arbeitsplatz NL_auto_M1_2 liegen keine Überschreitungen vor.

Abb. 51 und Abb. 52 zeigen die operativen Temperaturen für NL_man_I1_1 (Zweipersonenbüro) und NL_man_I1_2 (Sitzungszimmer).

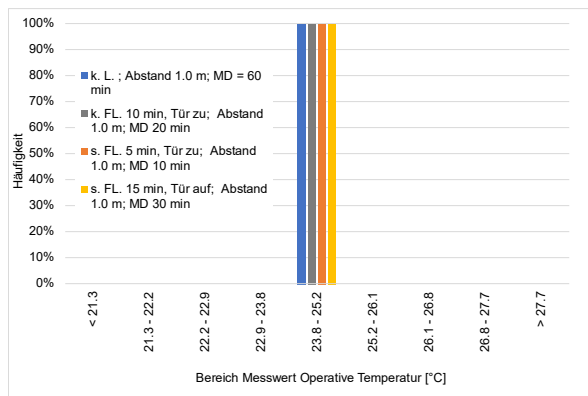


Abb. 51: NL_man_I1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 21.9 °C.

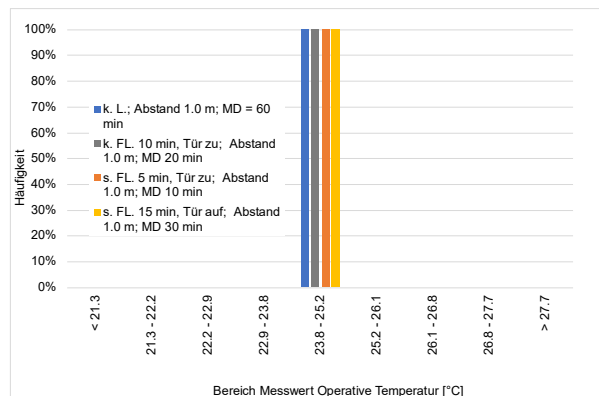


Abb. 52: NL_man_I1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 21.9 °C.

- Geschlossene und geöffnete Fenster: Die Messwerte für die operative Temperatur liegen an beiden Arbeitsplätzen im optimalen Bereich innerhalb IEQ₁ (RT) (≤ 25.2 °C). Die durchgeführten Lüftungsvorgänge haben bei einer mittleren Aussenlufttemperatur von 21.9 °C am Messtag keinen Einfluss auf die operative Temperatur.

Abb. 53 und Abb. 54 zeigen die operativen Temperaturen für NL_man_B1_1 (Einzelbüro Neubau) und NL_man_B1_2 (Mehrpersonenbüro Altbau). Die Lüftungsvorgänge, Art der Öffnung und



Öffnungsdauer sind in Tabelle 60 aufgeführt. Eine «Kipplüftung» wird nur bei NL_man_B1_1 durchgeführt.

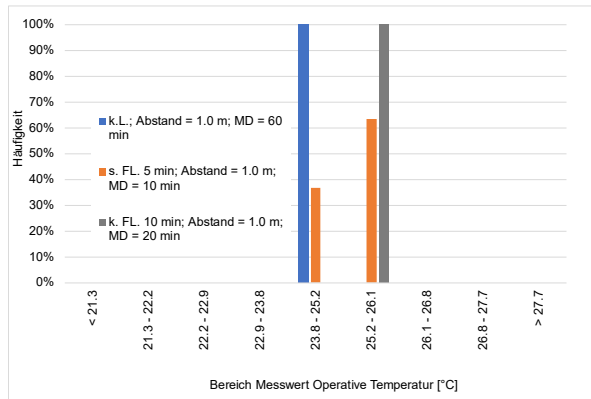


Abb. 53: NL_man_B1_1; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 14.2 °C.

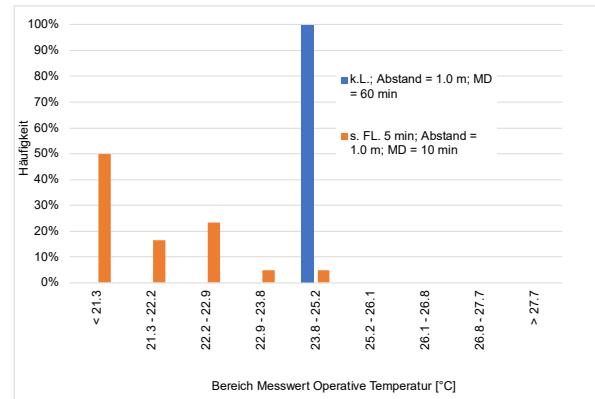


Abb. 54: NL_man_B1_2; operative Temperatur, 1.05 m ab Boden, mittlere Aussentemperatur 14.2 °C.

- Bei geschlossenen Fenstern liegen die operativen Temperaturen an beiden Arbeitsplätzen innerhalb von IEQ_I (RT), zwischen 23.8 °C und 25.2 °C.
- Bei den Lüftungsvorgängen sind die sehr hohen Werte bei der Fensterlüftung und der Kipplüftung bei NL_man_B1_1 auf den Temperaturanstieg von 24 °C auf 25.2 °C während der ersten Messung mit geschlossenem Fenster zurückzuführen. Bei beiden Lüftungsvorgängen sinkt die operative Temperatur während der Lüftungsdauer aufgrund der kühlen Aussentemperaturen etwas, fällt jedoch nicht unter 25 °C. Bei NL_man_B1_2 sinkt die operative Temperatur bei geöffnetem Fenster während rund 90 % der Messzeit unter 22.9 °C, teils sogar unter 21.3 °C, und liegt somit in der Kategorie IEQ_I (RT).

Fazit operative Temperatur

Bei den Gebäuden NL_auto_M1 und NL_man_I1 haben die Lüftungsvorgänge keinen Einfluss auf die operative Temperatur. Die Werte bleiben im optimalen Bereich zwischen 23.8 °C und 25.2 °C und liegen damit innerhalb von IEQ_I (RT). Bei NL_auto_E1 führt die Lüftung im Verlauf des Tages zu einer leichten Erhöhung der operativen Temperatur. Am Morgen liegen die Werte noch etwas tiefer, zwischen 22.9 °C und 23.8 °C, befinden sich jedoch weiterhin innerhalb von IEQ_{II} (RT). Wie zu erwarten, sinkt die operative Temperatur bei NL_man_B1_2 während der Lüftungsvorgänge deutlich ab, nachdem sie zuvor innerhalb von IEQ_I (RT) liegt. Ursache ist die tiefe Aussentemperatur von 14.2 °C. Bei NL_man_B1_1 hingegen ist der Einfluss der Lüftungsvorgänge nur klein, was auf das kleinere Fenster und auf die witterungsgeschützte Lage im Innenhof zurückzuführen ist. Der Temperaturanstieg in der ersten Messung ist wahrscheinlich durch die Anwesenheit der Messperson oder die Wärmeabgabe elektrischer Geräte zurückzuführen.

Klassifizierung Innenraumklima bezüglich allgemeiner thermischer Behaglichkeit (PMV-Werte)

Die Verteilung der berechneten PMV-Werte (gemäss SIA 180:2014 [13], bzw. SN EN ISO 7730:2006 [11]) wird analog zu den Wintermessungen (Kapitel 3.4.5) untersucht.

Die Spezifikation der Dauer der jeweiligen Lüftungs- und Messvorgänge ist in Tabelle 60 aufgeführt. In den Abbildungen gelten die pastellfarbenen, helleren Balken für eine stehende Tätigkeit (Messhöhe



1.1 m, met 1.6) und die vollfarbigen Balken für eine sitzende Tätigkeit (Messhöhe 0.6 m, met 1.2). Bei der stehenden Tätigkeit liegt die metabolische Rate höher, was zu höheren PMV-Werten führt.

Abb. 55 zeigt die PMV-Werte für NL_auto_E1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel). Die PMV-Werte für NL_auto_E1_2 können aufgrund eines technischen Fehlers bei der Messung der operativen Temperatur nicht berechnet werden. Die Lüftungs- und Messdauern sind in Tabelle 60 dargestellt.

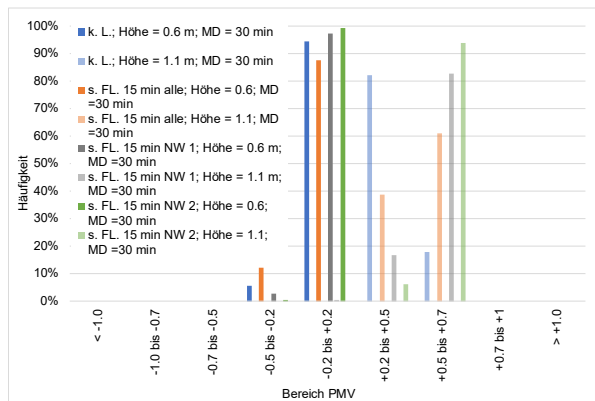


Abb. 55: EM_01, Arbeitsplatz 1, PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 23.6 °C.

- Für eine sitzende Tätigkeit (vollfarbige Balken) befinden sich die Werte meist im neutralen Bereich oder liegen leicht darunter. Insbesondere während des Lüftungsvorgangs am Morgen sind rund 10 % der Werte im Bereich zwischen -0.5 und -0.2.
- Für eine stehende Tätigkeit liegen alle PMV-Werte zwischen +0.2 und +0.7. Am höchsten sind die Werte beim Lüftungsvorgang über alle Lüftungsflügel am Nachmittag, was auf die Erhöhung der Aussenlufttemperatur von ca. 21 °C auf ca. 25 °C zurückzuführen ist.

Für das Gebäude NL_auto_M1 und die Arbeitsplätze NL_auto_M1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) und NL_auto_M1_2 (zwischen zwei Lüftungsflügeln) sind die Ergebnisse in Abb. 56 und Abb. 57 dargestellt.

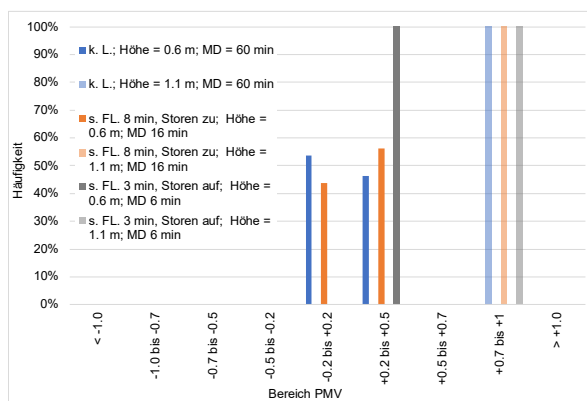


Abb. 56: NL_auto_M1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 26.6 °C.

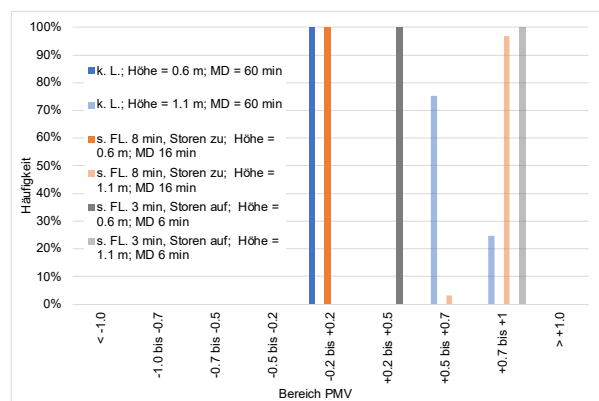


Abb. 57: NL_auto_M1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 26.6 °C.

- Die Werte für sitzende Tätigkeiten bei geschlossenem Fenster und bei einem Lüftungsvorgang mit geschlossenen Storen liegen im optimalen Bereich. Beim Lüftungsvorgang mit offenen Storen



werden an beiden Arbeitsplätzen die höchsten Werte erfasst. Dies ist auf die höheren Volumenströme bei geöffnetem Sonnenschutz und die hohen Aussentemperaturen zurückzuführen. Die Aussentemperatur bei Messbeginn beträgt 20.8 °C und steigt auf 25 °C, bei Messende.

- Alle PMV-Werte für stehende Aktivitäten sind bei NL_auto_M1_1 (direkt neben dem Lüftungsflügel) stark erhöht und liegen zwischen + 0.7 und 1.0. Auch beim Arbeitsplatz zwischen den Lüftungsflügeln (NL_auto_M1_2) befinden sich diese Werte ausserhalb der Kategorie IEQ_{III} (GTC) im Bereich zwischen + 0.5 und 1.0.

Abb. 58 und Abb. 59 zeigen die PMV-Werte für die Räume NL_man_I1_1 (Zweipersonenbüro) und NL_man_I1_2 (Sitzungszimmer).

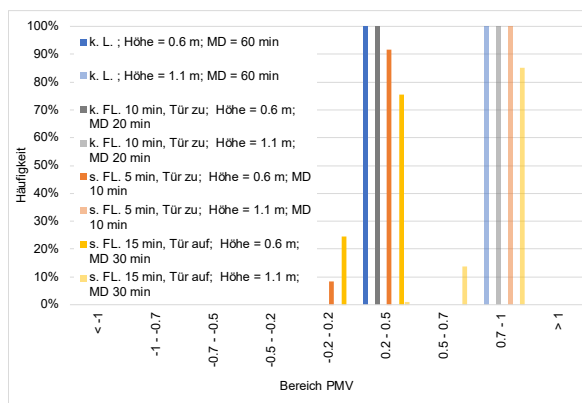


Abb. 58: NL_man_I1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 21.9 °C.

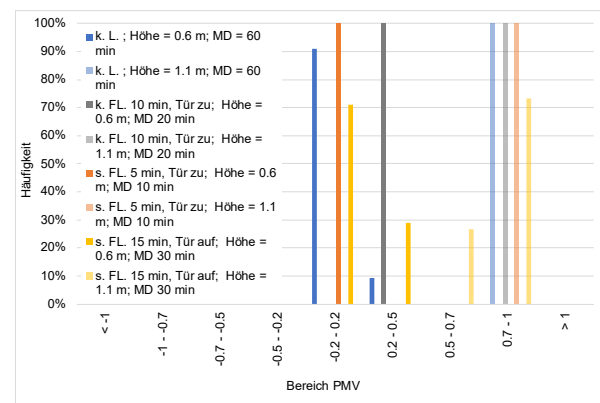


Abb. 59: NL_man_I1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 21.9 °C.

- Die Werte für sitzende Tätigkeiten befanden sich vollständig innerhalb der Klasse IEQ_{II} (GTC) bis maximal PMV +0.5.
- Alle PMV-Werte für eine stehende Aktivitäten liegen bei beiden Arbeitsplätzen im Bereich von PMV +0.7 bis +1.0.

Abb. 60 und Abb. 61 zeigen die PMV-Werte für NL_man_B1_1 (Einzelbüro Neubau) und NL_man_B1_2 (Mehrpersonenbüro Altbau). Angaben zu den Lüftungsintervallen und Messzeiträumen finden sich in Tabelle 60. Bei NL_man_B1_2 wird keine «Kipplüftung» durchgeführt.

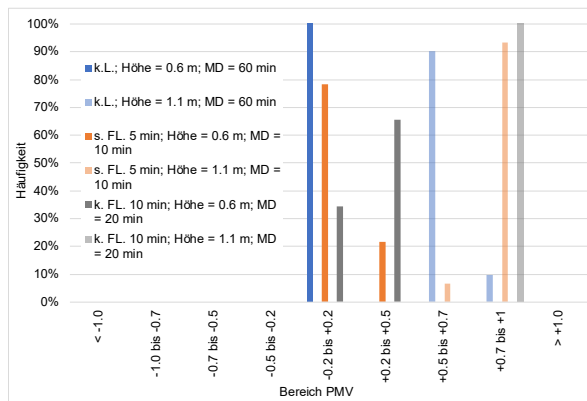


Abb. 60: NL_man_B1_1; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 14.2 °C.

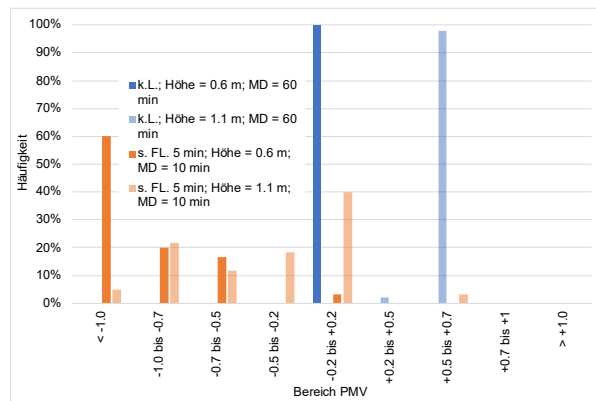


Abb. 61: NL_man_B1_2; PMV nach Höhe (x = 1.0 m), mittlere Aussentemperatur 14.2 °C.

- Für eine sitzende Tätigkeit liegen die PMV-Werte an beiden Arbeitsplätzen im neutralen Bereich (PMV -0.2 bis $+0.72$). Bei geöffnetem Fenster liegt der PMV-Wert für NL_man_B1_2 während 60 % der Messzeit unter -1.0 (es ist also deutlich zu kalt) und ausserhalb von IEQ_{III} (GTC). Dies ist auf die tiefen Aussentemperaturen am Messtag zurückzuführen. Für NL_man_B1_1 werden Werte im Bereich von -0.2 bis $+0.5$ gemessen, was auf die geschützte Lage zum Innenhof zurückzuführen ist.
- Für stehende Aktivitäten befinden sich die Werte für beide Arbeitsplätze ausserhalb der Klasse IEQ_{III} (GTC). Wie auch bei der operativen Temperatur steigen die PMV-Werte bei NL_man_B1_1 während der Lüftungsvorgänge an, was wahrscheinlich auf die Ausrichtung zum Innenhof zurückzuführen ist. Am Arbeitsplatz NL_man_B1_2 nehmen die Werte bei geöffnetem Fenster aufgrund der metabolischen Rate etwas weniger stark ab als bei sitzender Tätigkeit.

Fazit PMV-Werte

Auf der Ebene 0.6 m liegen die PMV-Werte im Sommer meist im neutralen Bereich (PMV -0.2 bis $+0.5$), was auf einen guten thermischen Komfort für sitzende Tätigkeiten hinweist. Auf 1.1 m liegen die Werte jedoch manchmal zwischen PMV $+0.5$ und $+0.7$ (NL_auto_E1), häufig treten Werte bis PMV $+1.0$ auf (NL_auto_M1, NL_man_I1 und NL_man_B1). In Kombination mit einer erhöhten metabolischen Rate tritt bei stehenden Arbeiten damit ein schlechterer thermischer Komfort auf (teilweise ausserhalb der Kategorie IEQ_{III} (GTC)). Die Fensterlüftung hat, abgesehen vom Gebäude NL_man_B1, keinen grossen Einfluss auf die PMV-Werte. Bei NL_man_B1_2 führt die tiefe mittlere Aussenlufttemperatur von 14.2 °C dazu, dass im sitzenden Bereich während 60 % der Messzeit Werte unter PMV $-1,0$ gemessen werden. Bei NL_man_B1_1 steigen die PMV-Werte während der Lüftungsvorgänge an, vermutlich aufgrund eines lokalen Mikroklimas im Innenhof. Im Vergleich zum Winter zeigen die Sommermessungen insgesamt niedrigere PMV-Werte auf Sitzhöhe und damit günstigere thermische Bedingungen bei sitzenden Tätigkeiten, während bei stehenden Arbeiten Werte ausserhalb der Kategorie IEQ_{II} (GTC) auftreten. Bei der Bewertung gilt es auch die Aussentemperatur am Messtag zu berücksichtigen. Die höchsten mittlere Aussentemperaturen treten beim Gebäude NL_auto_M1 auf, gefolgt von NL_auto_E1 und NL_man_I1. Die kühlestes Aussentemperaturen liegen beim Gebäude NL_man_B1 vor. Angesichts der Aussentemperaturen sind für sitzende Tätigkeiten die Gebäude NL_auto_M1, NL_auto_E1 und NL_man_I1 eher unauffällig, die Werte liegen meist in der Kategorie IEQ_{II} (GTC). Das Gebäude NL_man_B1 erreicht bei tiefen Aussentemperaturen mit geschlossenen Fenstern ähnliche Werte. Für stehende Tätigkeiten treten bei allen Gebäuden ausser NL_auto_E1 Werte ausserhalb der Klasse IEQ_{III} (GTC) auf.



Insgesamt ist aber anzumerken, dass diese Bewertung strenggenommen für Gebäude mit aktiver Kühlung gilt, was für das Gebäude NL_auto_E1 nicht zutrifft. Zwei der anderen Gebäude verfügen über eine geothermische Kühlung in Verbindung mit BKT (NL_auto_M1 und NL_man_I1, ML_B1), oder eine Kühlung der Luft im Gang (NL_man_B1).

6.2.2 Vergleich Kurzzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden

Sommer

Für die Messgebäude werden aus den Befragungsergebnissen die Ergebnisse herausgegriffen, die sich signifikant von der Grundgesamtheit unterscheiden und mit den Kurzzeitmessungen verglichen.

NL_auto_E1

Dieses Gebäude wird hinsichtlich des Lärms von aussen besser als die Grundgesamtheit bewertet (Kap. 5.10.1). Die Bewertung des Lärms von innen fällt schlechter aus als bei den übrigen Gebäuden. Die akustische Messung im Winter zeigt, dass die Grenzwerte bei geschlossenen und offenen Fenstern überschritten werden. Im Sommer werden keine Messungen durchgeführt.

NL_auto_M1

Die Benutzenden bewerten nur den Lärm abweichend von der Grundgesamtheit. Der Lärm von aussen wird besser beurteilt als bei den anderen Gebäuden, der Lärm von innen wird störender empfunden als von der Grundgesamtheit.

Bei den Messungen im Winter können mit geschlossenem Fenster die Grenzwerte eingehalten werden, bei geöffnetem Fenster werden sie überschritten. Die Bewertung des Lärms von innen kann sich auf die Ventilatoren in den Sitzungszimmern beziehen, welche bei der Messung im Winter die Grenzwerte deutlich überschreiten.

NL_man_B1

Bei diesem Gebäude wird im Teil mit natürlicher und im Teil mit mechanischer Lüftung der Lärm von aussen signifikant schlechter beurteilt als in der Grundgesamtheit. Die Kurzzeitmessungen im Winter stützen diese Wahrnehmung, indem sie erhöhte Aussenlärmpegel dokumentieren.

NL_man_I1

In der Befragung wird der Lärm von innen signifikant besser bewertet als von der Grundgesamtheit. Die Kurzzeitmessungen bestätigten dieses Ergebnis nicht eindeutig.



6.3 Resultate Langzeitmessungen Winter

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Verteilung der Raumlufttemperatur, der relativen Raumluftfeuchte und der CO₂-Konzentration über die gesamte Winter-Messperiode zu Belegungszeiten (siehe Kapitel 3.4.5).

6.3.1 Übersicht Temperaturverteilung

In Abb. 62 und in Tabelle 61 sind die Messergebnisse der Raumlufttemperatur für die gesamte Messperiode und alle Messgebäude nach Minimal-, Maximal-, Median und Perzentil-Werten (25 – 75 %) zusammengefasst dargestellt. Die Farben entsprechen der Bewertung der Temperaturen gem. SIA 382/1:2025 [1] für eine sitzende Tätigkeit (1.2 met) gemäss SN EN ISO 7730:2006 (siehe Kapitel 3.4.5):

- IEQ_I (RT), 21.1 – 23.1 °C in grün,
- IEQ_{II} (RT) zwischen 19.8 °C und 24.4 °C in gelb,
- IEQ_{III} (RT), 18.8 – 25.3 °C in hellrot
- Temperaturen ausserhalb IEQ_{III} (RT) in rot.

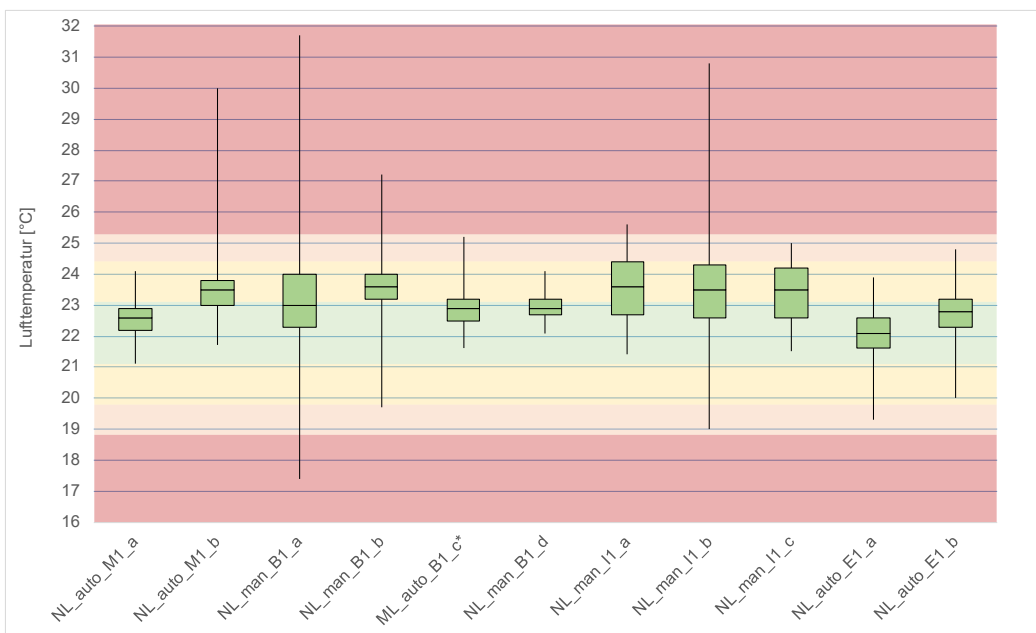


Abb. 62: Verteilung der Lufttemperatur (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%). Daten aus der Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12 bei sitzender Tätigkeit, IEQ_I (RT): 21.1 – 23.1 °C; IEQ_{II} (RT): 19.8 – 24.4 °C; IEQ_{III} (RT): 18.8 – 25.3 °C.

In allen gemessenen Gebäuden liegt der Median in der Klasse IEQ_I (RT) oder IEQ_{II} (RT). Bei NL_man_B1 und bei NL_auto_E1 liegen die Medianwerte bei beiden Arbeitsplätzen in der Klasse IEQ_I (RT). Obwohl das Gebäude NL_auto_E1 in der Klasse I liegt, weist es den tiefsten Medianwert auf. Dass die Benutzenden die Raumlufttemperaturen eher tief einschätzen, zeigt auch die Tatsache, dass bei der Begehung festgestellt wird, dass an wenigen Arbeitsplätzen zeitweise elektrische Heizlüfter benutzt werden. Bei NL_auto_M1, NL_man_B1 und bei NL_man_I1 steigen die Temperaturen an jeweils einem Arbeitsplatz sogar auf bis zu 30°C und höher. Dies könnte, bei ohnehin hohen internen Lasten, die Folge einer temporären direkten Sonneneinstrahlung auf den Sensor sein. Bei NL_man_B1_a sinkt die Temperatur im Minimum unter 18°C.



In Abb. 63 werden die Temperaturhäufigkeiten detaillierter aufgeteilt.

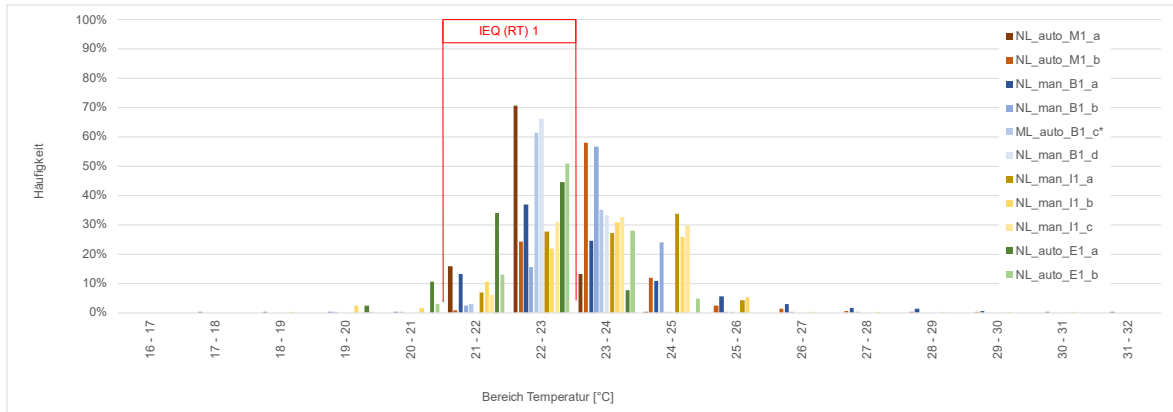


Abb. 63: Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur. Daten aus der Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12.

Die Temperatur überschreitet bei vielen Messpunkten IEQ_I (RT) ($21.1\text{ °C} - 23.1\text{ °C}$), bleibt jedoch im akzeptablen Bereich von IEQ_{II} (RT) ($19.8\text{ °C} - 24.4\text{ °C}$). Ausreisser im Bereich von, bzw. ausserhalb von IEQ_{III} (RT) ($18.8\text{ °C} - 25.3\text{ °C}$) treten vereinzelt auf. Wie in Abb. 63 ersichtlich beschränken sich diese aber auf unter 5 % der Messzeit. Die Messpunkte NL_man_B1_a und NL_man_I1_b mit den grössten Schwankungen sind beides manuell belüftete Zweipersonen-Büros. Tendenziell werden in der Messperiode Januar bis März in allen Untersuchungsgebäuden eher hohe Temperaturen gemessen.

Tabelle 61: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen pro untersuchtem Arbeitsplatz über die gesamte Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12 für die Temperaturmessungen in [°C].

	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_auto_B1_c*	NL_man_B1_d	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_c	NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b
Median	22.6 (±0.3)	23.5 (±0.3)	23 (±0.3)	23.6 (±0.3)	22.9 (±0.3)	22.9 (±0.3)	23.6 (±0.3)	23.5 (±0.3)	23.5 (±0.3)	22.1 (±0.3)	22.8 (±0.3)
Mittelwert	22.6	23.6	23.4	23.6	22.8	22.9	23.6	23.4	23.4	22.0	22.7
Min	21.1	21.7	17.4	19.7	21.6	22.1	21.4	19.0	21.5	19.3	20.0
Max	24.1	30.0	31.7	27.2	25.2	24.1	25.6	30.8	25.0	23.9	24.8
Standardabweichung	0.48	0.87	1.65	0.67	0.41	0.38	0.98	1.31	0.89	0.85	0.80
Anzahl Messpunkte	27'540	27'540	30'780	30'240	8'100	22'680	30'780	30'780	30'780	23'220	40'500

Der Mittelwert der Raumtemperaturen liegt bei allen Gebäuden zwischen 22 °C und 24 °C (Tabelle 61). Die tiefsten gemessenen Temperaturen liegen im Gebäude NL_auto_M1 bei 21 °C , im Gebäude NL_man_B1 bei 17 °C , im Gebäude NL_man_I1 und im Gebäude NL_auto_E1 bei 19 °C .

Fazit Temperaturverteilung

Alle Gebäude befinden sich, bezogen auf die Medianwerte im Bereich IEQ_I (RT). Im Gebäude NL_auto_E1 werden die vergleichsweise tiefsten Medianwerte gemessen (Tabelle 61). Unkritische Überschreitungen in die Klasse IEQ_{II} (RT) gehen hauptsächlich in Richtung höhere Temperaturen. Dies spricht angesichts der eher tiefen Belegung der Büros für eine komfortable Beheizung der Räumlichkeiten. Bei NL_auto_M1_b liegt die maximale gemessene Raumtemperatur bei 30 °C , in diesem Bereich sind sehr hohe interne Lasten vorhanden.



6.3.2 Übersicht relative Raumlufffeuchte

In Abb. 64 und Tabelle 62 sind die Messergebnisse der relativen Raumlufffeuchte für die gesamte Messperiode und alle Messgebäude nach Minimal-, Maximal-, Median und der Perzentil-Werten (25 – 75 %) zusammengefasst dargestellt. Die Bewertung richtet sich nach SIA 180:2014 [13]:

- Hellrot gekennzeichnet, als weniger optimal ist der Bereich mit Werten < 30 % und > 70 % r.H.,
- der Bereich mit der empfohlenen relativen Feuchte zwischen 30% und 70% ist grün eingefärbt.

Bemerkung: Die relativen Feuchten wurden nicht auf die absoluten Grenzwerte umgerechnet.

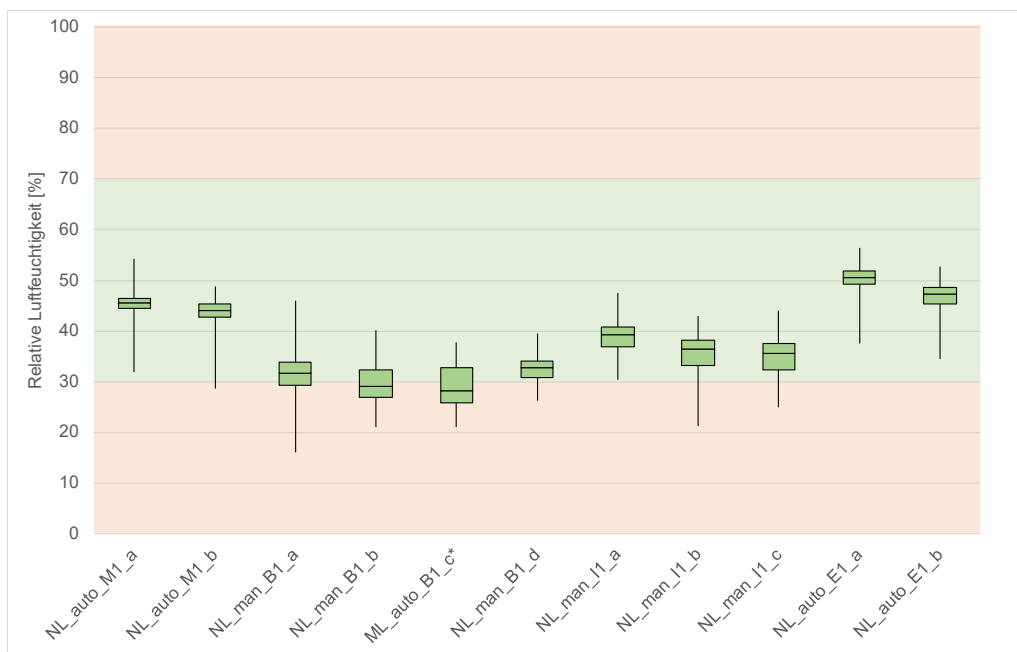


Abb. 64: Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 - 75 %). Daten aus der gesamten Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12.

Bei fast allen gemessenen Arbeitsplätzen liegt der Median zwischen 30 und 70 % r.H., nur bei zwei Messstandorten im Gebäude NL_man_B1 liegt der Median mit 28 % respektive 29 % leicht, aber mehr als 10 % der Zeit, unter dem optimalen, Bereich. In den Gebäuden NL_auto_E1 und NL_auto_M1 liegen die Medianwerte mit über 45 % r.H. für die kalte Jahreszeit in einem eher hohen Bereich.

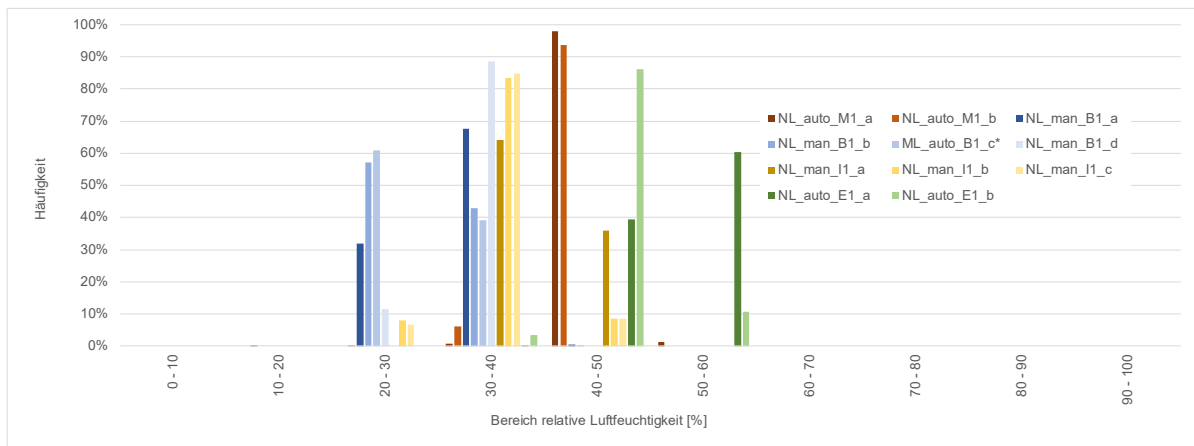


Abb. 65: Häufigkeitsverteilung der relativen Luftfeuchtigkeit. Daten aus der gesamten Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12. (* verkürzte Messung aufgrund von Messausfall)

In Abb. 65 werden die Häufigkeiten der relativen Raumlufffeuchte noch detaillierter aufgeteilt. Danach bewegt sich die relative Luftfeuchtigkeit bei den meisten Gebäuden im akzeptablen Bereich zwischen 30 und 70 % r.H. Im Gebäude NL_man_B1 sind die Werte tief und zu grösseren Teilen (30 - 60 %) unter 30 % r.H.

Tabelle 62: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Arbeitsplatz über die gesamte Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12 für die Feuchtemessungen in [% r.H.]

	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_auto_B1_c*	NL_man_B1_d	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_c	NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b
Median	45	44	32	30	28	33	39	36	35	51	47
	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2
Mittelwert	45	44	32	30	29	33	39	36	35	50	47
Min	32	29	16	21	21	26	31	21	25	38	35
Max	54	49	46	40	38	40	48	43	44	57	53
Standardabweichung	2.00	2.38	3.59	3.85	4.45	2.46	2.83	3.57	3.43	2.30	2.92
Anzahl Messpunkte	27'540	27'540	30'780	30'240	8'100	22'680	30'780	30'780	30'780	23'220	40'500

Der Mittelwert der relativen Feuchte liegt in NL_auto_M1, in NL_man_I1 und in NL_auto_E1 zwischen 35 und 50 %, in NL_man_B1 werden an den vier Messstandorten im Mittel Werte zwischen 29 % und 33 % relative Feuchte gemessen.

Fazit relative Raumlufffeuchte

Die Gebäude NL_auto_M1, NL_man_I1 und NL_auto_E1 liegen bezogen auf die Medianwerte im empfohlenen Bereich für die relative Raumlufffeuchte. Beim Gebäude NL_man_B1 sind leichte, aber längere (>10 %), Unterschreitungen in Richtung trockene Luft feststellbar. Das Gebäude NL_auto_E1 liegt mit einem Median von 47 bzw. 51 % relative Raumfeuchte in einem eher hohen Bereich bezogen auf die Aussenbedingungen.



6.3.3 Übersicht CO₂-Konzentration

Bei der Kurzzeitmessung werden die CO₂-Konzentrationen ausserhalb der Messgebäude aufgezeichnet. In Tabelle 63 sind die Mittelwerte und die Standardabweichung ersichtlich.

Tabelle 63: Mittelwert CO₂-Konzentration Aussenluft und Standardabweichung während der Kurzzeitmessung

	EM_01	IT_01	MU_01	BE_01
Mittelwert CO ₂ -Konzentration [ppm]	460 ±50	460 ±50	420 ±50	460 ±50
Standardabweichung [ppm]	17	15	13	15

Die absoluten Grenzwerte, die in SIA 382/2:2025 festgelegt sind, basieren auf der Annahme einer CO₂-Konzentration der Aussenluft von 400 ppm. Wie in Tabelle 63 aufgezeigt, ist die CO₂-Konzentration der Aussenluft im Aussenbereich der Messgebäude höher (im Mittel 451 ppm). Deshalb werden die Grenzwerte aus SIA 382/1:2025 [1] um 50 ppm angehoben.

In Abb. 66 und Tabelle 64 sind die Messergebnisse der CO₂-Konzentrationen für die gesamte Messperiode und alle Messgebäude nach Minimal-, Maximal-, Median und Perzentil-Werten (25 – 75 %) zusammengefasst dargestellt. Die Klassierung der Raumluftqualität (RAL) wird anhand SIA 382/1:2025 vorgenommen (siehe Tabelle 15):

- Hellgrün IDA 1 (CO₂) (bis 1000 ppm),
- Gelb IDA 2 (CO₂) (1000 - 1250 ppm),
- Orange IDA 3 (CO₂) (1250 - 1800 ppm),
- Rot alles ausserhalb IDA 3 (CO₂) (> 1800 ppm).

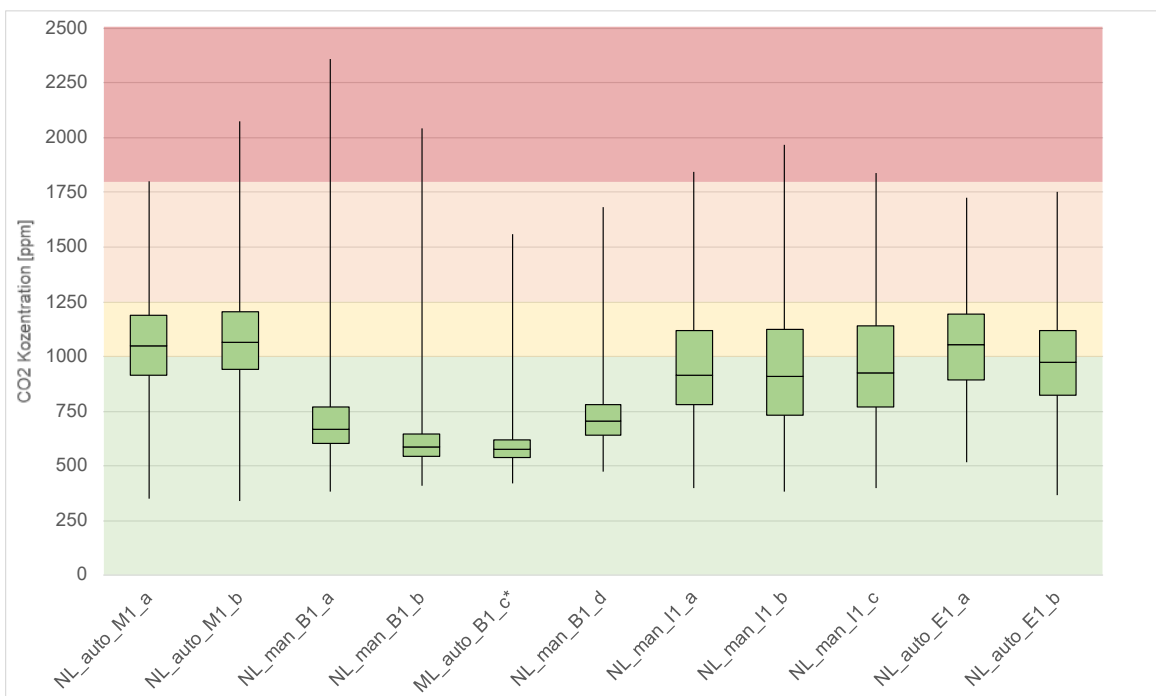


Abb. 66: Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 – 75 %). Daten aus der gesamten Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12 (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm).



Der Median liegt bei den Arbeitsplätzen in den Gebäuden NL_auto_M1_a, NL_auto_M1_b und NL_auto_E1_a in der IDA (CO₂) Klasse 2. Bei allen anderen Messstellen liegt der Median sogar in der IDA (CO₂) Klasse 1.

Abb. 66 zeigt die Häufigkeiten der CO₂-Konzentrationen für alle Gebäude im Detail. Danach liegt während ca. 75 % der Zeit die CO₂-Konzentration unter 1250 ppm und somit innerhalb der Klassen IDA 1 (CO₂) und IDA 2 (CO₂). Peaks bis über 1800 ppm (> IDA 3 (CO₂)) werden bei allen Gebäuden vereinzelt gemessen.

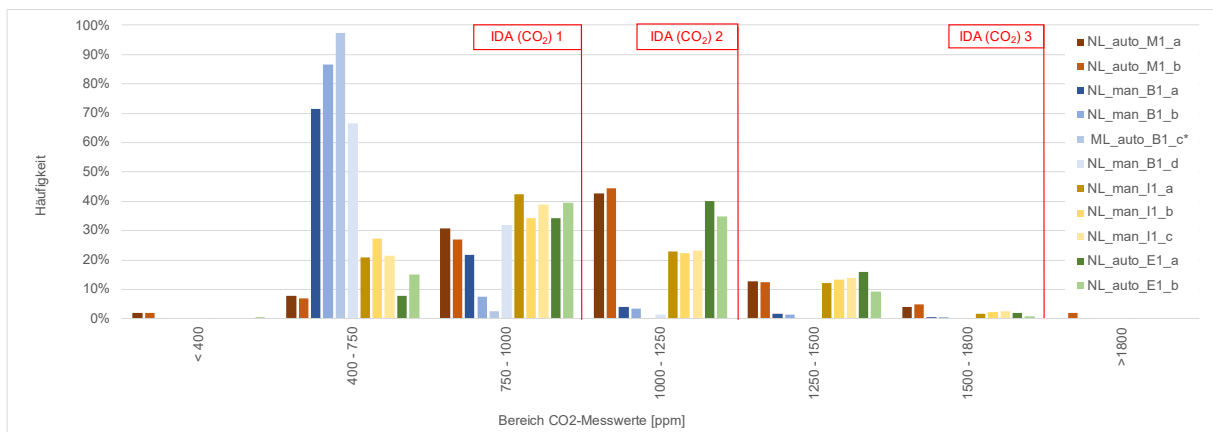


Abb. 67: Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentration. Daten aus der gesamten Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12.

Tabelle 64: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Arbeitsplatz über die gesamte Winter-Messperiode gemäss Tabelle 12 für die CO₂-Konzentration in [ppm].

	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_auto_B1_c*	NL_man_B1_d	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_c	NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b
Median	1050 ±50	1060 ±50	670 ±50	590 ±50	570 ±50	700 ±50	910 ±50	910 ±50	920 ±50	1050 ±50	970 ±50
Mittelwert	1050	1080	710	640	580	720	950	940	960	1050	970
Min	350*	340*	380	410	420	470	400	380	400	520	370
Max	1800	2070	2360	2040	1560	1680	1840	1970	1840	1720	1750
Standardabweichung	245	278	184	187	71	109	246	276	259	212	214
Anzahl Messpunkte	27'540	27'540	30'780	30'240	8'100	22'680	30'780	30'780	30'780	23'220	40'500

* Bei der Validierung nach den Wintermessungen wurden die Logger um rund 20 ppm nach oben korrigiert. Dies liegt innerhalb der vom Hersteller angegebenen Ungenauigkeit von ±50 ppm.

Die Mittelwerte in den Gebäuden NL_auto_M1, NL_man_I1 und NL_auto_E1 liegen zwischen ca. 940 ppm und 1060 ppm. Im Gebäude NL_man_B1 liegen die Mittelwerte mit dem Bereich von ca. 640 bis 720 ppm deutlich tiefer.

Fazit CO₂-Konzentration

Die Arbeitsplätze im Gebäude NL_auto_M1 und der Arbeitsplatz NL_auto_E1_a liegen mit dem Median- und Mittelwert im Bereich der Klasse IDA 2 (CO₂). Bei den restlichen Arbeitsplätzen liegen die Median- und Mittelwerte in der Klasse IDA 1 (CO₂). Zusammen mit der Auswertung der relativen Raumluftfeuchte deutet dies auf einen höheren Luftwechsel und/oder eine geringe Belegung hin. Der Messstandort ML_auto_B1_c im Bereich des «open space» Büro weist im Mittelwert die tiefste CO₂-Konzentration auf. Dieser Bereich wird über eine mechanische Lüftung versorgt.



6.3.4 Wochenverläufe (Arbeitswoche Montag – Freitag)

Bei der Gebäudebegehung sowie bei den Messungen wird festgestellt, dass die Büroarbeitsplätze eher gering ausgelastet sind. In allen Messgebäuden und den zugehörigen Betrieben hat durch die Coronapandemie das Homeoffice an Bedeutung gewonnen. Speziell beim CO₂ kann die niedrige Belegung zu einer zu positiven Bewertung über die gesamte Messdauer führen. Nachfolgend werden daher für jedes Messgebäude die CO₂-Konzentrationen an einem Arbeitsplatz im Wochenverlauf betrachtet. Es werden Wochenverläufe gewählt, bei denen an möglichst vielen Tagen eine Belegung vorhanden ist, dies wird durch eine grosse Streuung der CO₂-Konzentrationen ermittelt. Die Darstellung der Klassen korrespondiert mit den vorgängigen Einteilungen.

NL_man_B1

Abb. 68 zeigt eine tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration einer Arbeitswoche für das Gebäude NL_man_B1 in einem Einzelbüro im Neubaubereich mit manueller Fensteröffnung. Die Medianwerte für die CO₂-Konzentration sinken mit jedem Tag. Die kleinen Perzentilwerte am Freitag lassen auf eine Abwesenheit von Personen schliessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass am Montag der Arbeitsplatz belegt ist.

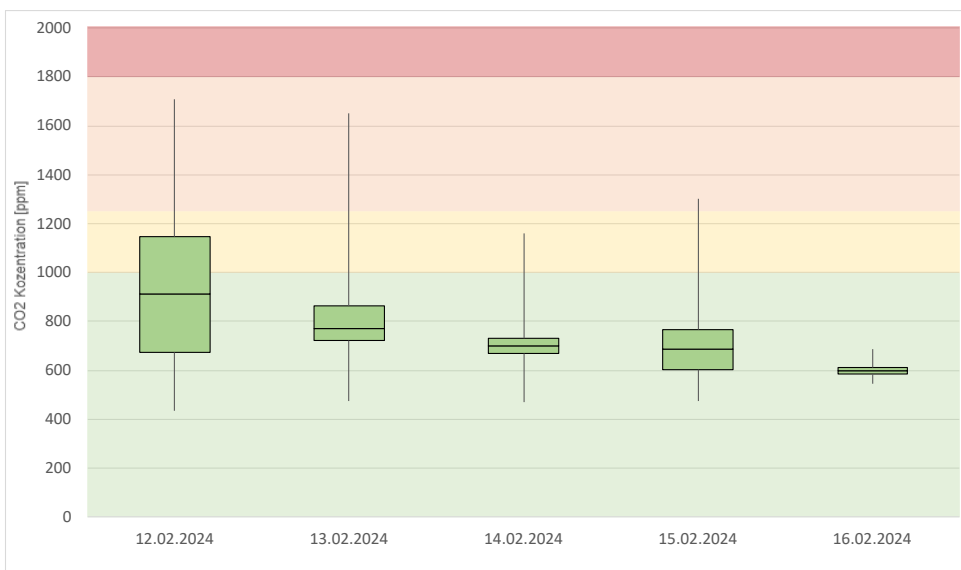


Abb. 68: NL_man_B1_a; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 - 75%) über eine Woche im Winter (IDA (CO₂) 1 < 1000 ppm; IDA (CO₂) 2 < 1250 ppm; IDA (CO₂) 3 < 1800 ppm).

In Abb. 69 sind die CO₂-Verläufe über die gleiche Arbeitswoche und die Fensteröffnungen dargestellt. In Abb. 70 die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumlufffeuchte und die Fensteröffnungen.

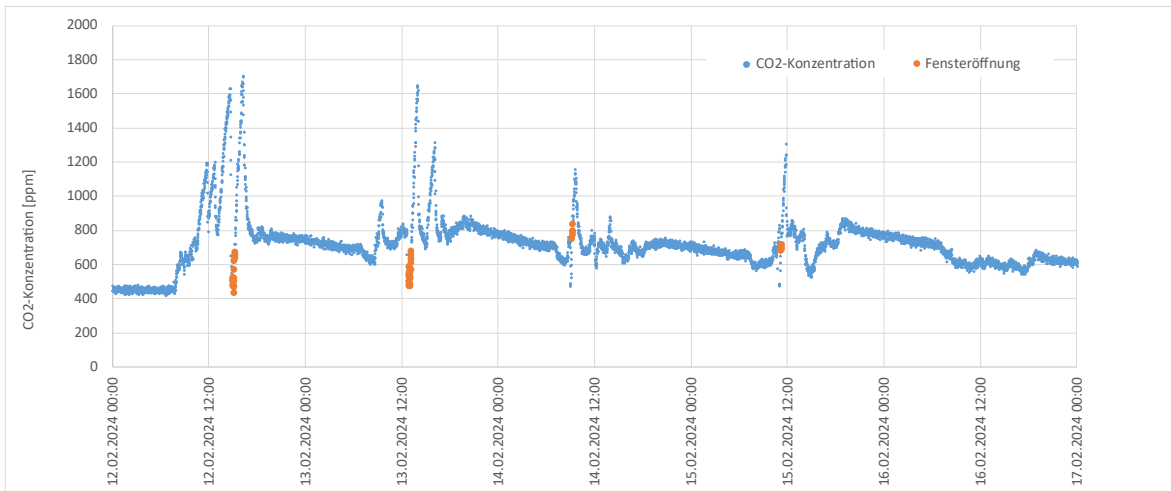


Abb. 69: NL_man_B1_a; Verlauf der CO₂-Konzentration und der manuellen Fensterlüftung über eine Woche im Winter. Es ist zu beachten, dass die Fensterlogger-Aufzeichnungen im 5-Minutentakt erfolgten, wodurch mit kleinen Abweichungen zu rechnen ist.

Am Montagmorgen wird mit einer tiefen CO₂-Konzentration begonnen, an den folgenden Tagen sind die CO₂-Konzentrationen jeweils zu Arbeitsbeginn ca. 200 ppm höher. Die Spitzenwerte am Montag und an Dienstag liegen bei etwas über 1600 ppm, am Mittwoch und am Donnerstag bei ca. 1200 ppm. Am Freitag ist das Büro nicht belegt.

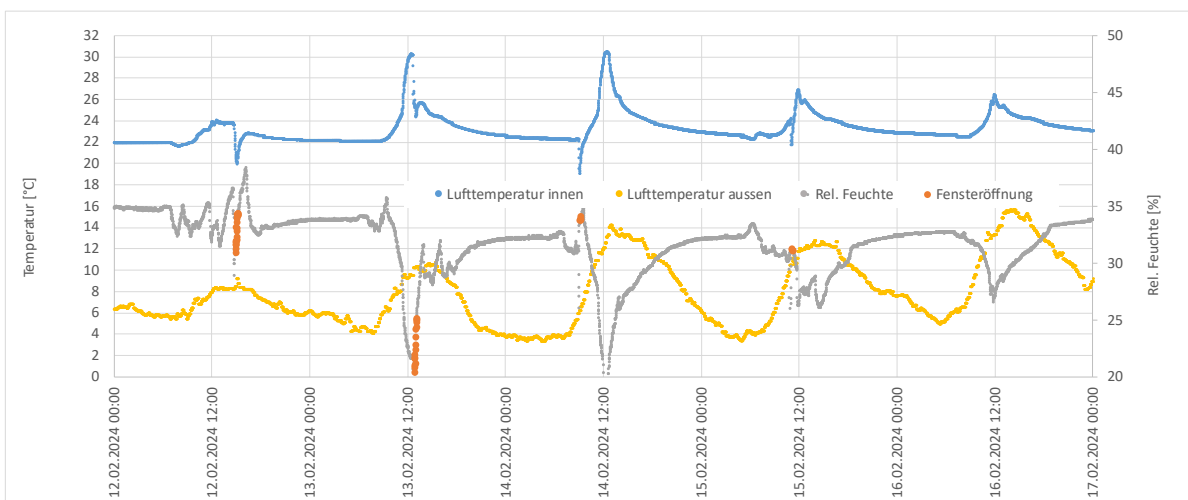


Abb. 70: NL_man_B1_a; Verlauf der Temperatur (ausser/innen), der relativen Luftfeuchte und der manuellen Fensterlüftung über eine Woche im Winter. Es ist zu beachten, dass die Fensterlogger-Aufzeichnungen im 5-Minutentakt erfolgten, wodurch mit kleinen Abweichungen zu rechnen ist.

Die Aussentemperaturen (Abb. 70) bewegen sich in der betrachteten Woche nachts um die 5°C. Tagsüber liegen die Maximalwerte zwischen 10 und 16 °C. Die Raumlufttemperaturen sinken trotz Fensterlüftung nur am Mittwoch kurz unter 20°C.



Sowohl in Abb. 68, Abb. 69 als auch in Abb. 70 ist ersichtlich, dass, die CO₂-Konzentration und die relative Raumlufffeuchte zeitgleich bei Belegung zu- und dann beim Lüften wieder abnehmen, die Lufttemperatur sinkt beim Lüftungsvorgang ebenfalls leicht ab.

NL_auto_E1

In Abb. 71 ist eine tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration einer Arbeitswoche für das Gebäude NL_auto_E1 dargestellt. Die Medianwerte für die CO₂-Konzentration liegen, ausser am Freitag, immer innerhalb von IDA 2 (CO₂) oder sogar IDA 3 (CO₂). Bei diesem Messgebäude ist eine automatische (CO₂ gesteuerte) Fensterlüftung vorgesehen, die CO₂-Steuerung ist jedoch während der Messung inaktiv und die Fenster werden manuell geöffnet.

Die kleinen Perzentilwerte am Freitag deuten auf keine, bzw. eine geringe Belegung des Büros hin.

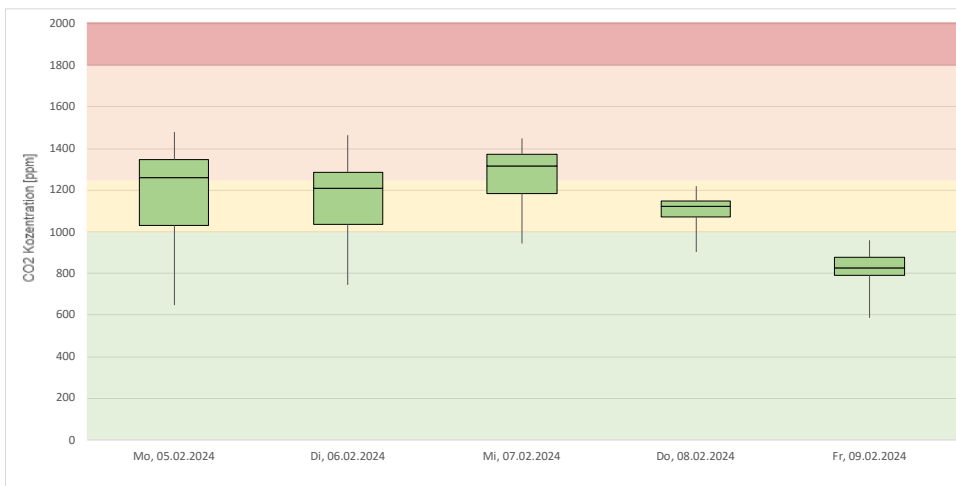


Abb. 71: NL_auto_E1_b; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Winter (IDA (CO₂) 1 < 1000 ppm; IDA (CO₂) 2 < 1250 ppm; IDA (CO₂) 3 < 1800 ppm).

Abb. 72 zeigt die CO₂-Verläufe über die gleiche Arbeitswoche und die Fensteröffnungen, Abb. 73 die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumlufffeuchte und die Fensteröffnungen. Die manuell getätigten Lüftungsvorgänge dauern gemäss Angaben der Benutzenden immer 15 min.

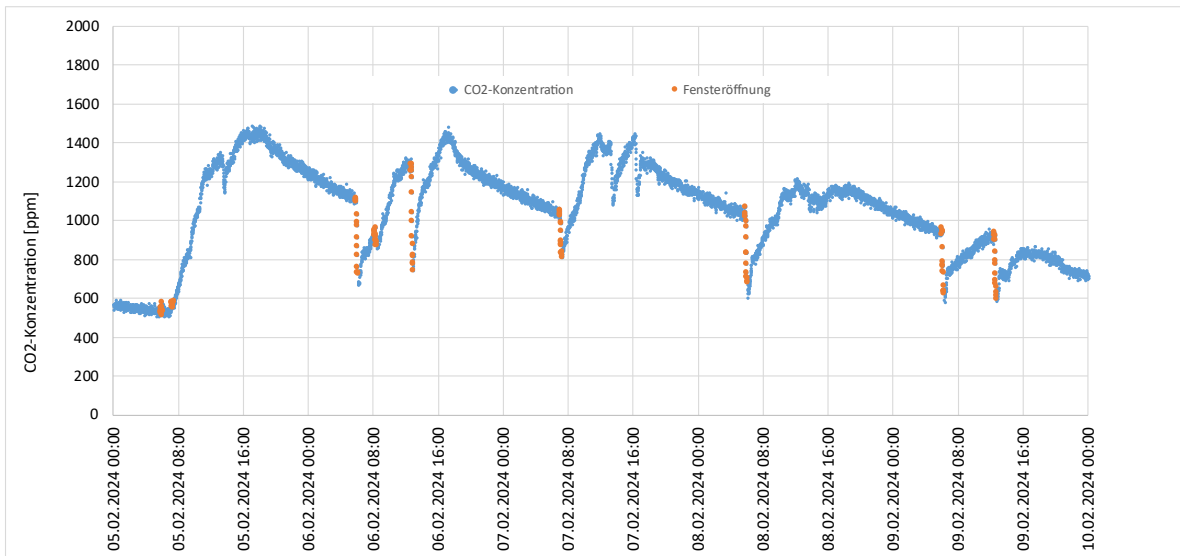


Abb. 72: NL_auto_E1_b; Verlauf der CO₂-Konzentration mit manueller, sowie automatischer Fensteröffnung über eine Woche im Winter.

Die Fensteröffnungen werden mit LoRa-Loggern gemessen. Da der LoRa-Empfang im Gebäude nicht optimal war, werden nicht alle Lüftungsvorgänge erfasst. Anhand der CO₂-Verläufe ist das Lüftungsverhalten jedoch gut erkennbar. Jeweils sehr früh am Morgen werden die Fenster geöffnet (dies deckt sich auch mit den Angaben der Benutzenden). Tagsüber werden die Fenster zusätzlich ein bis zweimal geöffnet (Montag, Donnerstag und Freitag einmal, Dienstag und Mittwoch zweimal).

Der Verlauf der relativen Raumluftfeuchte deckt sich mit dem Verlauf der CO₂-Konzentration.

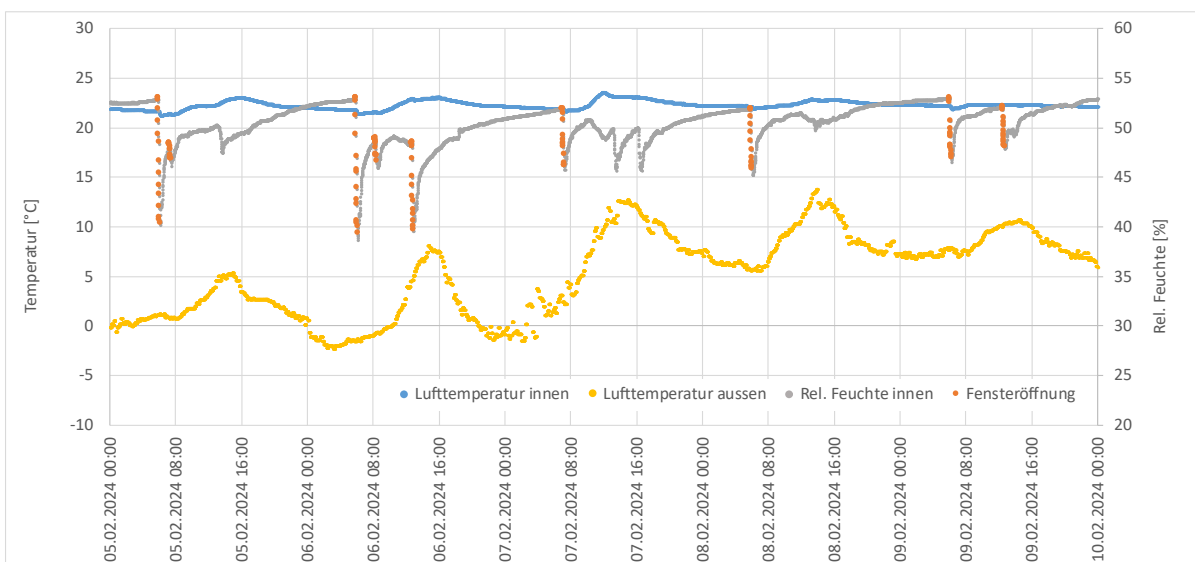


Abb. 73: NL_auto_E1_b; Verlauf der Lufttemperatur (aussen/innen), relativen Luftfeuchte und manueller, sowie automatischer Fensteröffnung über eine Woche im Winter. Lüftungsvorgänge von jeweils 15 Minuten sind teilweise nicht vollständig erfasst aufgrund von technischen Problemen.



Die Aussentemperaturen bewegen sich in der betrachteten Woche nachts zwischen ca. $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und tagsüber im Bereich von ca. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis max. $13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Raumlufftemperaturen sinken trotz Fensterlüftung nie unter $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

NL_man_I1

In Abb. 74 ist eine tageweise Auswertung der CO_2 -Konzentration einer Arbeitswoche für NL_man_I1_b dargestellt. Die Medianwerte für die CO_2 -Konzentration liegen, ausser am Dienstag, immer innerhalb von IDA 2 (CO_2). Bei diesem Messgebäude werden die Fenster rein manuell bedient, das untersuchte Büro ist mit drei Fenstern ausgestattet. Die kleinen Perzentilwerte am Freitag deuten auf eine geringe Belegung des Büros hin.

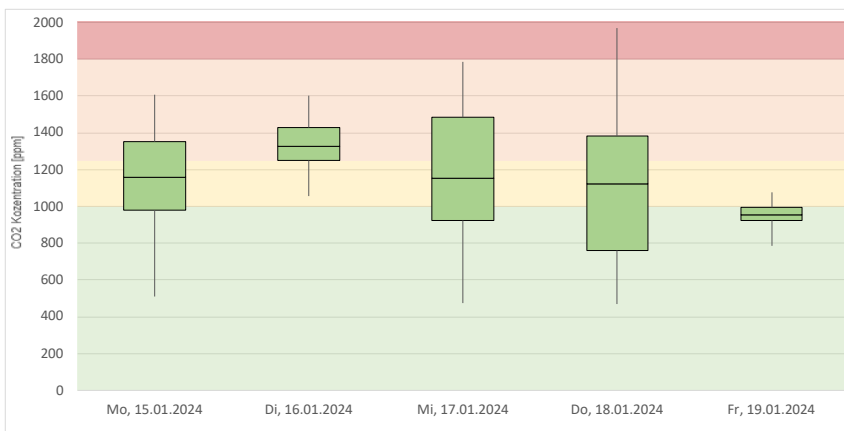


Abb. 74: NL_man_I1_b; Verteilung der CO_2 -Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Winter (IDA 1 (CO_2) < 1000 ppm; IDA 2 (CO_2) < 1250 ppm; IDA 3 (CO_2) < 1800 ppm).

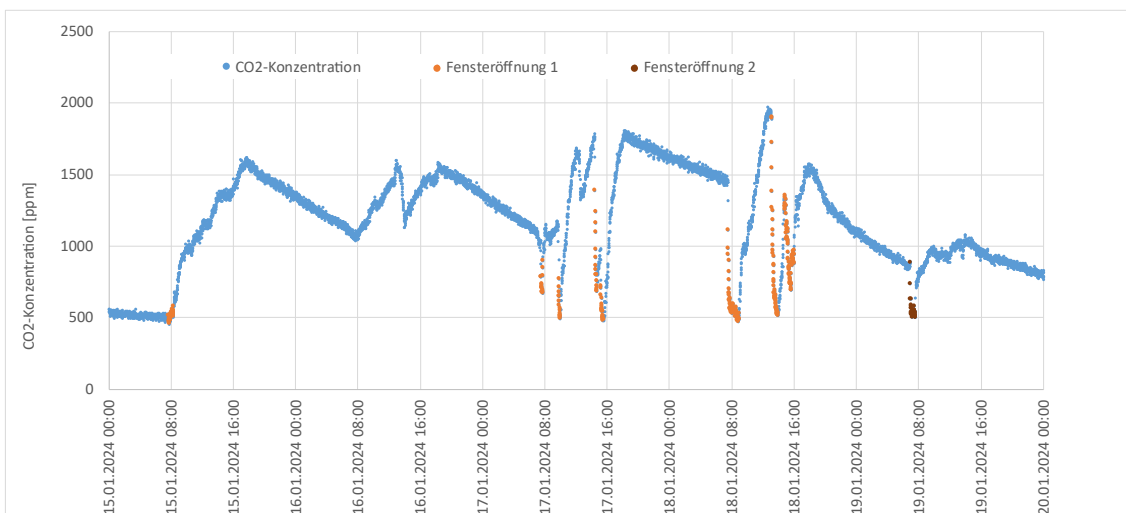


Abb. 75: NL_man_I1_b; Verlauf der CO_2 -Konzentration und manueller Fensteröffnung über eine Woche im Winter.

In Abb. 75 (CO_2 -Verläufe) und Abb. 76 (Lufttemperaturen innen und aussen, relative Raumlufffeuchte und Fensteröffnungen) ist zu sehen, dass am Montagmorgen zu Arbeitsbeginn das Fenster geöffnet wird. Da die CO_2 -Konzentration im Büro bereits auf Aussenluftkonzentration ist, findet jedoch keine weitere Absenkung statt. Zeitgleich sinken die relative Raumlufffeuchte und die Raumlufftemperatur



(Abb. 76). Am Montag finden keine weiteren Lüftungsvorgänge mehr statt, die CO₂-Konzentration steigt stetig an. In der Nacht auf Dienstag, sinkt die CO₂-Konzentration durch die Gebäudeundichtheit oder offene Türen stetig ab. Am Dienstag wird keine Fensteröffnung geloggt, da aber die CO₂-Konzentration sowie auch relative Raumlufffeuchte um ca. 13:00 Uhr absinken, wird zu diesem Zeitpunkt entweder das Fenster oder die Bürotür kurz geöffnet. Am Mittwoch und Donnerstag ist das Büro belegt und es werden auch mehrere Lüftungsvorgänge aufgezeichnet, der Medianwert liegt leicht über 1100 ppm. Am Freitagmorgen wird das zweite Fenster geöffnet, der restliche Verlauf des Tages deutet auf eine geringe, resp. kurze Belegung hin.

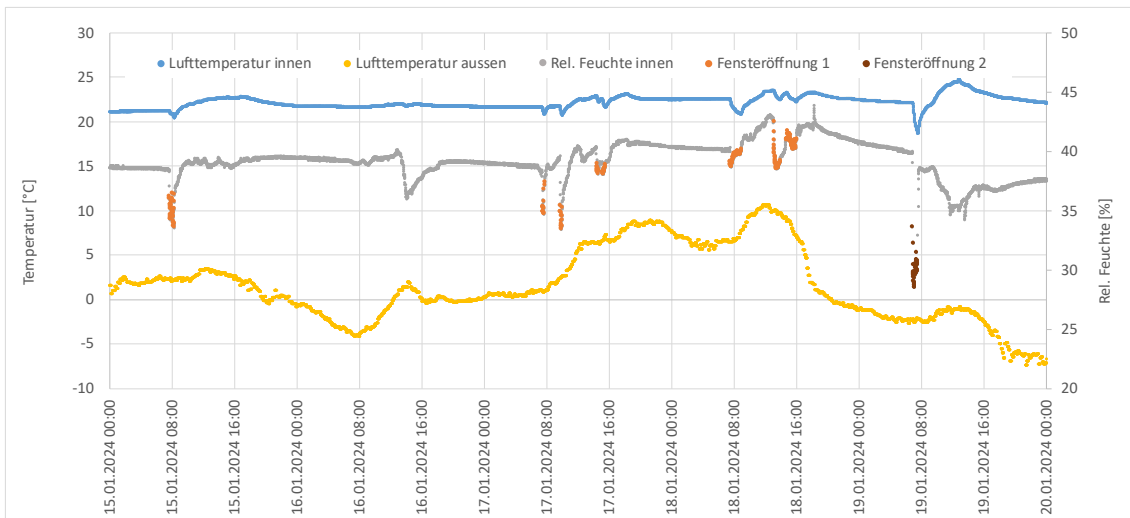


Abb. 76: NL_man_I1_b; Verlauf der Lufttemperatur (ausen/innen), relativen Luftfeuchte und manueller Fensteröffnung über eine Woche im Winter.

Die Aussentemperaturen liegen in der betrachteten Woche nachts zwischen -5 °C und $+5\text{ °C}$, tagsüber im Bereich von -5 bis 10 °C . Am Mittwoch und am Donnerstag sind die Temperaturen am höchsten, in diesem Zeitraum wird auch am häufigsten gelüftet. Die Raumlufftemperaturen sinken trotz Fensterlüftung nur am Freitagmorgen kurz unter 20 °C .

NL_auto_M1

In Abb. 77 ist eine tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration einer Arbeitswoche für das Gebäude NL_auto_M1 dargestellt. Die Medianwerte für die CO₂-Konzentration sind am Mittwoch und am Donnerstag deutlich höher als zum Beispiel am Montag. Bei diesem Messgebäude werden die Lüftungsflügel während der ganzen Winterperiode nach Zeitprogramm (07:00 – 07:05 Uhr / 14:00 bis 14:03 Uhr / 16:50 bis 17:00 Uhr) gesteuert.

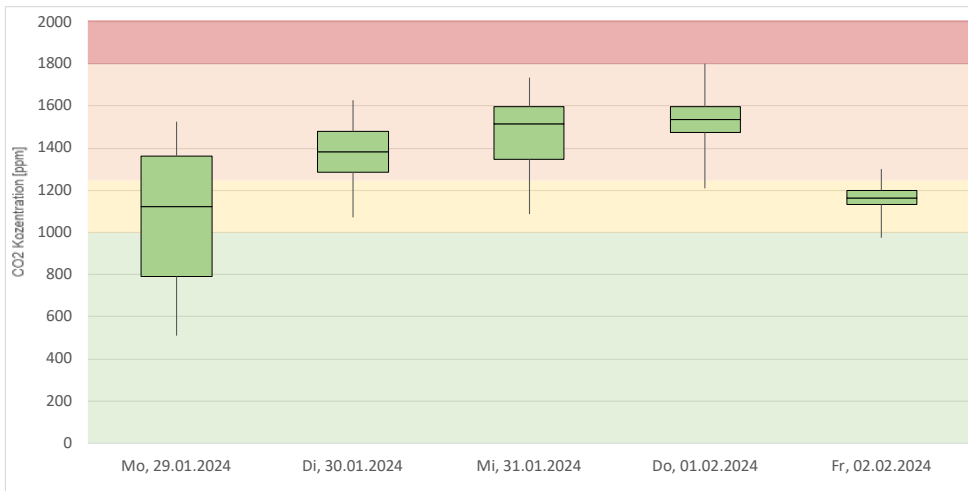


Abb. 77: NL_auto_M1_a; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Winter. (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm).

Die CO₂-Verläufe über die gleiche Arbeitswoche und die Fensteröffnungen zeigt Abb. 78, die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumluftfeuchte und die Fensteröffnungen zeigt Abb. 79.

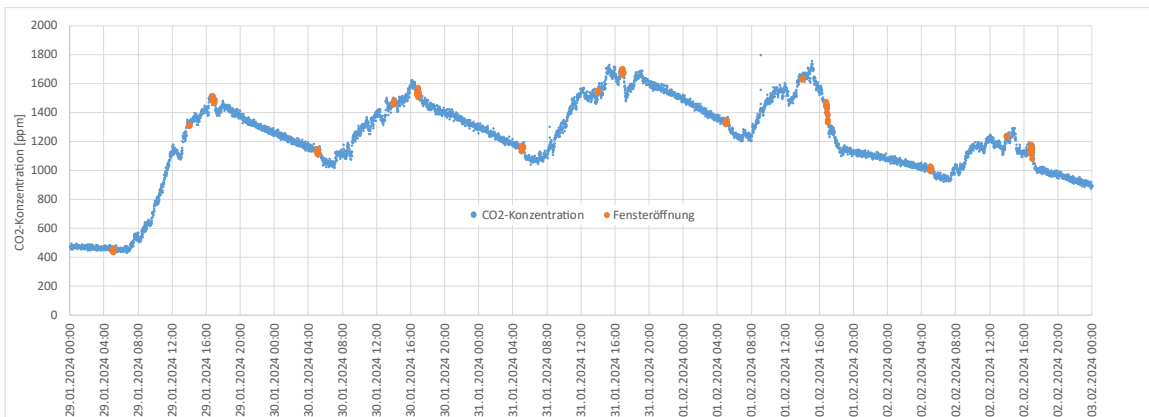


Abb. 78: NL_auto_M1_a; Verlauf der CO₂-Konzentration und der automatischen Fensterlüftung über eine Woche im Winter.

Am Montagmorgen ist die CO₂-Konzentration tief. Allerdings sind die Lüftungsintervalle zu kurz, so dass die CO₂-Konzentration an den folgenden Arbeitstagen nicht wieder auf ein ähnlich tiefes Niveau absinkt. Die Absenkung nachts scheint über die Gebäudeundichtheiten stattzufinden.

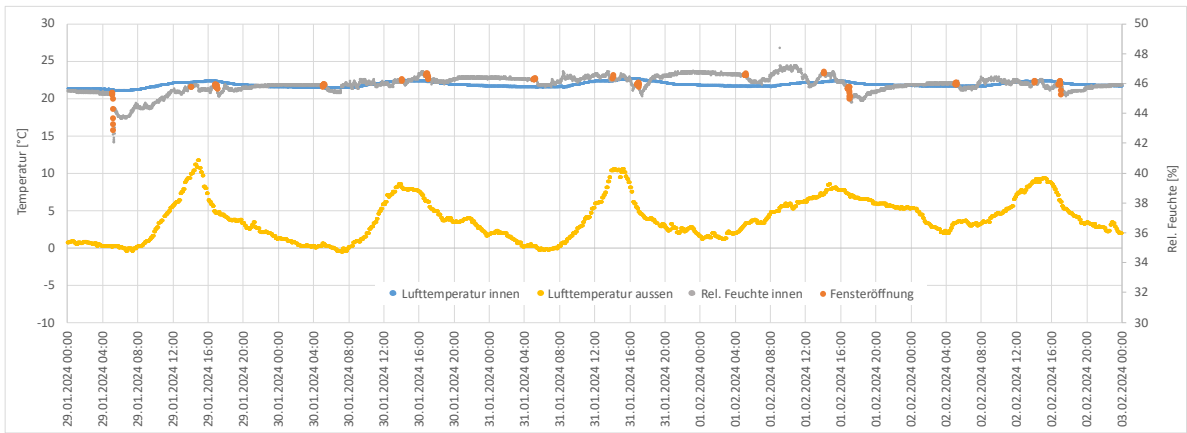


Abb. 79: NL_auto_M1_a; Verlauf der Temperatur (ausen und innen), relativen Luftfeuchte und der automatischen Fensterlüftung über eine Woche im Winter.

Die Aussentemperaturen bewegen sich in der betrachteten Woche nachts um die 0°C und tagsüber im Bereich von 8 bis max. 12 °C. Die Raumlufttemperaturen sinken trotz Fensterlüftung nicht unter 21°C ab.

Fazit Betrachtung Wochenverläufe

Bei den Gebäuden NL_man_B1, NL_man_I1 und NL_auto_E1 ergibt sich in der tageweisen Betrachtung bezogen auf das CO₂-Niveau ein kritischeres Bild als bei der Auswertung für die gesamte Winterperiode (Abb. 66). Dies gilt besonders dann, wenn Tage herausgegriffen werden, bei denen eine hohe Belegung angenommen werden kann. Beim Gebäude NL_auto_M1 ist das Bild des Wochenverlaufs ähnlich (mit leichter Tendenz zum Schlechteren hin) wie das der Saisonauswertung.



6.3.5 Experimentelle Bestimmung Fensterlüftung/Türöffnung

In diesem Kapitel werden durch eine punktuelle Auswertung der Gebäude NL_man_B1, NL_auto_E1 und NL_man_I1 Zusammenhänge zwischen den Aussentemperaturen, der CO₂-Konzentration der Raumluft und der Häufigkeit bzw. Dauer der Lüftungsvorgänge ermittelt.

Fensteröffnung

Im Anhang Kapitel 12.8.4 in den Abb. 144 bis Abb. 147 sind die Häufigkeit der Fensteröffnungen in Abhängigkeit der Aussentemperatur und der CO₂-Konzentration abgebildet. Ein Punkt entspricht einer Lüftungsdauer von einer Minute.

Fazit Fensteröffnung

Bei den Arbeitsplätzen NL_man_B1_a und NL_man_I1_b wird deutlich weniger gelüftet als bei den Gebäuden NL_auto_E1 und NL_man_B1_b. Bei NL_man_I1_b deckt sich dieses Erkenntnis mit der Angabe der Benutzenden aus der Gebäudebegehung. Auch ist ersichtlich, dass bei tieferen Aussentemperaturen tendenziell weniger gelüftet wird.

Türöffnung

In den Abb. 148 bis Abb. 150, ebenfalls im Anhang Kapitel 12.8.4 sind die Häufigkeit der Türöffnungen in Abhängigkeit der mittleren CO₂-Konzentration für die Arbeitsplätze NL_man_B1_b, NL_man_I1_a und b abgebildet.

Fazit Türöffnungen

In IT_01 a und b sind die Türen grösstenteils offen. Das Büro NL_man_B1_b hat zwei Türen, die Öffnungszeit der Türen ist sehr unterschiedlich. Es lässt sich eine leichte Tendenz zu tieferen CO₂-Konzentrationen bei offenen Türen erkennen. Das Gebäude NL_man_B1 hat ein hybrides Lüftungssystem, daher wird ein Teil mechanisch belüftet. Durch die offenen Türen kann somit von der mechanischen Lüftung profitiert werden.

6.3.6 Vergleich Langzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden

Aus der Befragung der Benutzenden werden die Ergebnisse herausgegriffen, die sich signifikant von der Grundgesamtheit unterscheiden und mit den Langzeitmessungen gebäudebezogen verglichen.

Zusätzlich wird die Beurteilung der Raumtemperatur und der Raumluftqualität mit Angaben zur Erwartungshaltung, bzw. Angaben zur Unzufriedenheit verglichen. Für den Winter kann die Raumtemperatur mit den Angaben aus SIA 382/1:2025 [1] für beheizte Gebäude und der zugeordneten Erwartungshaltung (siehe Tabelle 15) gegenübergestellt werden. Für die Klassifizierung der Raumluftqualität bezüglich CO₂-Konzentration für IDA (CO₂) wird in SIA 382/1:2025 der jeweiligen Klasse auch ein Prozentsatz Unzufriedener zugeordnet (Tabelle 15). Damit können die Bewertungen der Benutzenden klassifiziert und mit den Messergebnissen verglichen werden. Für den Vergleich werden die Befragungsergebnisse «unzufrieden» und «etwas unzufrieden» der Luftqualität gegenübergestellt.

NL_auto_E1

In diesem Gebäude wird die Raumlufttemperatur signifikant kühler bewertet als bei den anderen Gebäuden (Kap. 5.10.1). Dies deckt sich mit den Medianwerten aus Abb. 62 und Tabelle 61. Allerdings entsprechen die Messungen noch immer IEQ_i (RT), erfüllen also eine hohe Erwartung der Benutzenden.

Bezogen auf die Raumluftfeuchte und die Luftqualität (CO₂) unterscheidet sich dieses Gebäude nicht signifikant von den anderen Gebäuden.



Das Befragungsergebnis bei der Luftqualität liegt bei 31 % («unzufrieden» und «etwas unzufrieden») und ist damit der Kategorie IDA 3 (CO₂) zuzuordnen. Die Messergebnisse für zwei Arbeitsplätze liegen einmal in Kategorie 1 und einmal in Kategorie 2. Die Bewertung der Luftqualität fällt damit schlechter aus als in der Realität.

NL_auto_M1

Bei der Bewertung und bei der Messung der Raumtemperatur treten keine Auffälligkeiten auf.

Die Nutzenden des Gebäudes NL_auto_M1 bewerten die Raumluftqualität (in den Messungen über den CO₂-Gehalt abgedeckt) signifikant schlechter als die anderen Benutzenden. Dies deckt sich mit den Langzeitmessergebnissen (Abb. 66 und Tabelle 64), die Medianwerte sind etwas höher als bei den Gebäuden NL_man_B1 und NL_man_I1. Im Unterschied zu den anderen Gebäuden zeigt die Auswertung des Wochenverlaufs ein ähnliches Bild wie die Langzeitauswertung. Damit sind die Messergebnisse konsistent und passen zu den Ergebnissen der Befragung der Benutzenden. Beim Gebäude NL_auto_E1 sind die Medianwerte bei den Langzeitmessungen ähnlich hoch wie bei NL_auto_M1 (hier weicht die Bewertung allerdings nicht signifikant von den anderen Gebäuden ab).

Das Befragungsergebnis bei der Luftqualität liegt bei 23 % («unzufrieden» und «etwas unzufrieden») und ist damit der Kategorie IDA 2 (CO₂) zuzuordnen. Die Messergebnisse für zwei Arbeitsplätze liegen beide in der Kategorie IDA 2 (CO₂).

NL_man_B1

Die Messung der Raumtemperatur und die Befragungsergebnisse zeigen keine Auffälligkeiten.

Ein signifikanter Unterschied zwischen dem natürlich belüfteten und dem mechanisch belüfteten Gebäudeteil ist nicht feststellbar. Vergleicht man beide Gebäudeteile mit der Grundgesamtheit treten allerdings besonders beim natürlich belüfteten Gebäudeteil grössere, aber eben nicht signifikante, Unterschiede auf. Im natürlich belüfteten Gebäudeteil wird die Raumluftqualität signifikant besser bewertet als bei den übrigen Gebäuden. Grundsätzlich deckt sich dies mit den Langzeitmessergebnissen (Abb. 66 und Tabelle 64), bei denen das Gebäude NL_man_B1 die tiefsten Medianwerte aufweist. Zwei Messräume sind Räume mit natürlicher Belüftung, ein Messraum ist ein «open space» Büro mit mechanischer Lüftung. Interessant ist allerdings, dass im «open space» Büro mit mechanischer Lüftung die tiefste CO₂-Konzentration gemessen wird.

Das Befragungsergebnis bei der Luftqualität liegt für NL_man_B1 bei 4 %, bzw. für ML_B1 bei 8 % («unzufrieden» und «etwas unzufrieden») und ist damit der Kategorie IDA 1 (CO₂) zuzuordnen. Dies passt zu den Messwerten, die alle in Kategorie IDA 1 (CO₂) liegen.

NL_man_I1

Das Gebäude unterscheidet sich bezogen auf Temperatur, Feuchte und Luftqualität in der Bewertung durch die Benutzenden nicht signifikant von den anderen Gebäuden.

Das Befragungsergebnis bei der Luftqualität liegt bei 13 % («unzufrieden» und «etwas unzufrieden») und ist damit der Kategorie IDA 1 (CO₂) zuzuordnen. Dies deckt sich mit den Messergebnissen, die der Kategorie IDA 1 (CO₂) zuzuordnen sind.



6.4 Resultate Langzeitmessungen Sommer

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Verteilung der Raumlufttemperatur, der relativen Raumluftfeuchte und der CO₂-Konzentration während der gesamten Sommermessperiode zu Nutzungszeiten (vgl. Kapitel 3.4.5).

6.4.1 Übersicht Temperaturverteilung

In Abb. 80 und Tabelle 65 sind die Messergebnisse der Raumlufttemperatur für die gesamte Sommermessperiode dargestellt. Gezeigt werden Minimal-, Maximal-, Median- sowie die 25- und 75-Perzentilwerte. Die farbliche Hinterlegung entspricht der Bewertung gemäss SIA 382/1:2025 [1] für eine sitzende Tätigkeit (1.2 met) nach SN EN ISO 7730:2006 (vgl. Kapitel 3.4.5):

- IEQ_I (RT), 23.8 – 25.2 °C in grün,
- IEQ_{II} (RT), zwischen 22.9 °C und 26.1 °C in gelb,
- IEQ_{III} (RT), 22.2 – 26.8 °C in hellrot,
- Temperaturen ausserhalb IEQ_{III} (RT) in rot.

Anmerkung: die Bewertung aus SIA 382/1 gilt für Gebäude mit aktiver Kühlung. Speziell für das Gebäude NL_auto_E1 ist dies daher sehr streng, da das Gebäude über keine Kühlung verfügt. Zwei der anderen Gebäude weisen eine geothermische Kühlung in Verbindung mit BKT (NL_auto_M1 und NL_man_I1, ML_B1), oder eine Kühlung der Luft im Gang (NL_man_B1) auf.

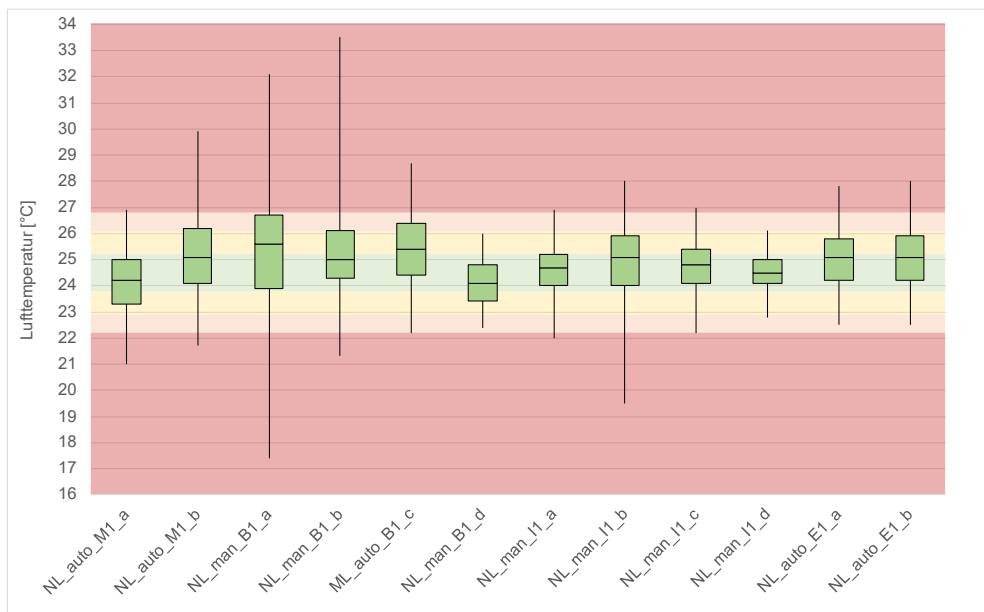


Abb. 80: Verteilung der Lufttemperatur (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%). Daten aus der Sommer-Messperiode Tabelle 12 bei sitzender Tätigkeit, IEQ_I (RT): 23.8 – 25.2 °C; IEQ_{II} (RT): 22.9 – 26.1 °C; IEQ_{III} (RT): 22.2 – 26.8 °C.

In allen gemessenen Gebäuden liegt der Median der Raumlufttemperatur innerhalb der Klassen IEQ_I (RT) oder IEQ_{II} (RT). Tendenziell sind die Temperaturen an den meisten Messpunkten leicht erhöht. Auffällig sind insbesondere NL_man_B1 und NL_auto_E1, wo sich alle Arbeitsplätze im Bereich der oberen Grenze zu IEQ_{II} (RT) befinden. Einzig der Messpunkt NL_man_B1_d im Korridor weist deutlich tiefere Temperaturen auf. Dies gilt auch für den Korridor im Gebäude NL_man_I1 (NL_man_I1_d).



In Abb. 81 ist die Häufigkeitsverteilung der Raumlufttemperatur für die Sommermessperiode dargestellt.

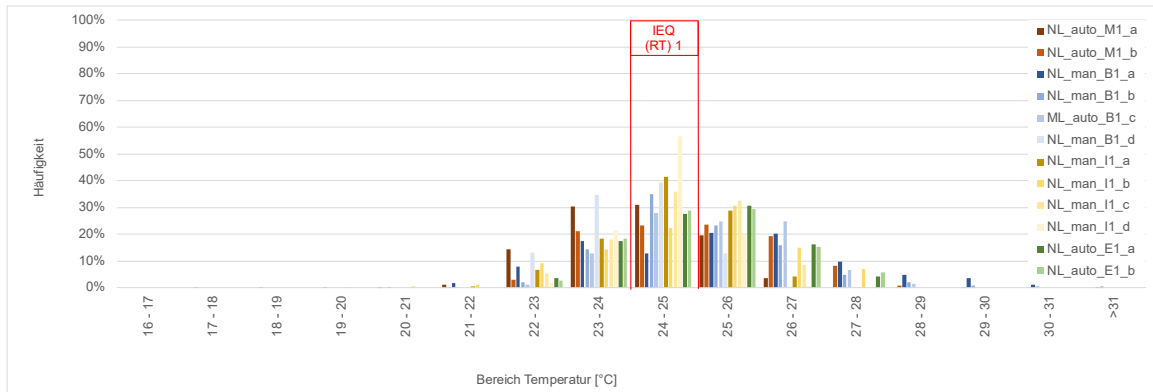


Abb. 81: Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur. Daten aus der Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12.

Die Temperatur überschreitet an vielen Messpunkten den Bereich von IEQ_I (23.8 – 25.2 °C), befindet sich jedoch zu rund 70-85% der Messzeit innerhalb von IEQ_{II} (22.9 – 26.1 °C). Überschreitungen im Bereich von IEQ_{III} (22.2 – 26.8 °C) oder darüber hinaus treten an nahezu allen Messstandorten, aber meist in geringem Umfang (<10% der Zeit) auf. Besonders auffällig ist NL_man_B1_a mit der höchsten Maximaltemperatur. Auch NL_auto_M1_b und NL_man_B1_c zeigen erhöhte Werte. Wie in Abb. 81 ersichtlich, beschränken sich an allen anderen Messstandorten die Überschreitungen auf < 10 % der Messzeit. Die grössten Schwankungen zeigen sich beim Büro NL_man_B1_a, einem manuell belüfteten Büro.

Tabelle 65: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen pro untersuchtem Arbeitsplatz über die gesamte Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12 für die Temperaturmessungen in [°C].

	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_auto_B1_c	NL_man_B1_d	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_c	NL_man_I1_d	NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b
Median	24.2 ±0.3	25.1 ±0.3	25.6 ±0.3	25 ±0.3	25.4 ±0.3	24.1 ±0.3	24.7 ±0.3	25.1 ±0.3	24.8 ±0.3	24.5 ±0.3	25.1 ±0.3	25.1 ±0.3
Mittelwert	24.2	25.2	25.5	25.3	25.4	24.1	24.6	25.0	24.8	24.5	25.1	25.1
Min	21.0	21.7	17.4	21.3	22.2	22.4	22.0	19.5	22.2	22.8	22.5	22.5
Max	26.9	29.9	32.1	33.5	28.7	26.0	26.9	28.0	27.0	26.1	27.8	28.0
Standardabweichung	1.06	1.33	1.92	1.43	1.21	0.82	0.92	1.42	0.96	0.65	1.13	1.16
Anzahl Messpunkte	37'141	37'141	42'901	42'901	42'901	42'901	33'300	33'300	33'300	33'300	29'520	39'600

Der Mittelwert der Raumtemperaturen liegt bei allen Gebäuden zwischen 24 °C und 26 °C (vgl. Tabelle 65). Die höchsten gemessenen Temperaturen treten in NL_man_B1_b mit 33 °C, in NL_auto_M1_b mit 30 °C, in IT_01 und in EM_01 mit 28 °C auf. Auffällig am Raum NL_man_B1_a ist, dass er neben der höchsten Maximaltemperatur auch die tiefste Minimaltemperatur mit 17,4 °C aufweist.

Fazit Temperaturverteilung

Die Medianwerte liegen über alle Gebäude innerhalb von IEQ_{II} (RT). Ausreisser bis über 32 °C werden nur beim Gebäude NL_man_B1 erfasst. Bei den automatisch belüfteten Arbeitsplätzen steigen die Temperaturen nie über 30 °C.



6.4.2 Übersicht relative Raumlufffeuchte

In Abb. 82 und Tabelle 66 sind die Messergebnisse der relativen Raumlufffeuchte für die gesamte Sommermessperiode dargestellt. Ausgewiesen sind Minimal-, Maximal-, Median- sowie die 25- und 75-Perzentilwerte. Die Bewertung erfolgt gemäss SIA 180:2014 [13]:

- Werte unter 30 % oder über 70 % sind als weniger optimal eingestuft (hellrot),
- der empfohlene Bereich von 30 – 70 % ist grün hinterlegt.

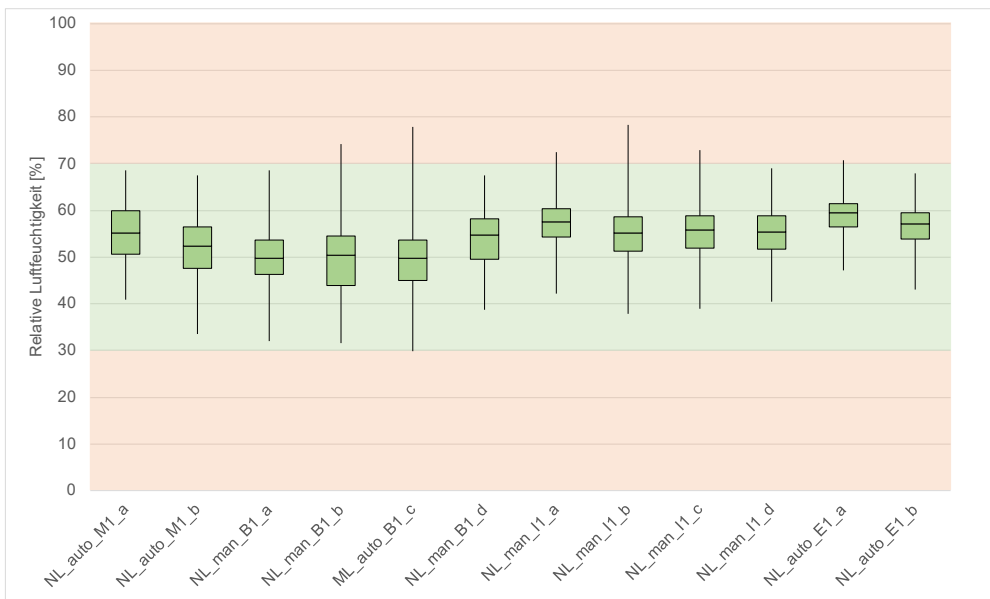


Abb. 82: Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 - 75 %). Daten aus der gesamten Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12. Hinweis: Die relativen Feuchtwerte werden nicht auf absolute Grenzwerte umgerechnet.

Bei allen gemessenen Arbeitsplätzen liegt der Median im optimalen Bereich zwischen 30 und 70 % r.H. Einzelne kurzfristige Ausreisser treten jedoch in den Gebäuden NL_man_B1 und NL_man_I1 auf (vgl. Abb. 83, Tabelle 66).

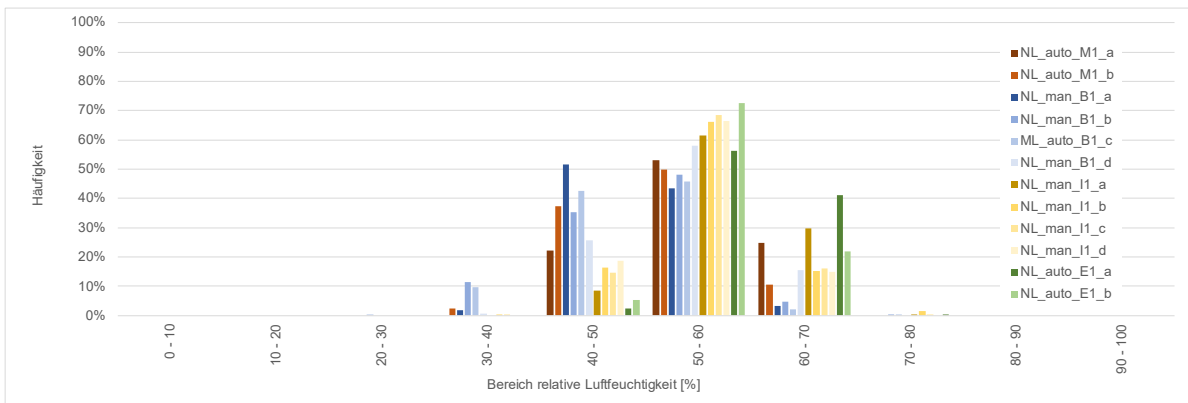


Abb. 83: Häufigkeitsverteilung der relativen Luftfeuchtigkeit. Daten aus der gesamten Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12.



In Abb. 83 sind die Häufigkeiten der relativen Raumlufffeuchte detailliert dargestellt. Werte unterhalb von 30 % treten nicht auf. Überschreitungen über 70 % werden nur vereinzelt festgestellt. Der Mittelwert der relativen Feuchte liegt zwischen 49 % r.H. und 59 % r.H.

Tabelle 66: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchten Arbeitsplatz über die gesamte Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12 für die Feuchtemessungen in [% r.H.]

	NL_auto_ M1_a	NL_auto_ M1_b	NL_man_ B1_a	NL_man_ B1_b	NL_auto_ B1_c	NL_man_ B1_d	NL_man_ I1_a	NL_man_ I1_b	NL_man_ I1_c	NL_man_ I1_d	NL_auto_ E1_a	NL_auto_ E1_b
Median	55 ±2	52 ±2	50 ±2	51 ±2	50 ±2	55 ±2	58 ±2	55 ±2	56 ±2	55 ±2	60 ±2	57 ±2
Mittelwert	55	52	50	49	49	54	57	55	55	55	59	57
Min	41	34	32	32	30	39	42	38	39	41	47	43
Max	69	68	69	74	78	67	72	78	73	69	71	68
Standardabweichung	5.87	6.12	5.22	7.28	6.26	5.58	4.74	5.68	5.38	5.45	4.05	4.07
Anzahl Messpunkte	37'141	37'141	42'901	42'901	42'901	42'901	33'300	33'300	33'300	33'300	29'520	39'600

Fazit relative Raumlufffeuchte

Die relative Raumlufffeuchte befindet sich während der gesamten Sommermessperiode, abgesehen von einzelnen kurzen Ausreissern, im akzeptablen Bereich. An nahezu allen Messstandorten liegt die Mehrheit der Werte zwischen 50 % und 60 %. Nur bei NL_man_B1_a wird die grösste Häufigkeit im Bereich zwischen 40 % und 50 % festgestellt.

6.4.3 Übersicht CO₂-Konzentration

Die absoluten Grenzwerte gemäss SIA 382/1:2025 [1] basieren auf einer Aussenluftkonzentration von 400 ppm. Da die gemessene Aussenluftkonzentration im Bereich der untersuchten Gebäude im Mittel bei 451 ppm liegt (vgl. Tabelle 63, Wintermessungen), werden die Grenzwerte um 50 ppm angepasst.

In Abb. 84 und Tabelle 67 sind die Messergebnisse der CO₂-Konzentrationen für die gesamte Sommermessperiode dargestellt. Gezeigt werden Minimal-, Maximal-, Median- sowie die 25- und 75-Perzentilwerte.

Die Klassierung der Raumluffqualität (RAL) erfolgte gemäss SIA 382/1:2025 (Tabelle 15):

- Hellgrün, IDA 1 (CO₂) (bis 1000 ppm),
- Gelb, IDA 2 (CO₂) (1000 - 1'250 ppm),
- Orange, IDA 3 (CO₂) (1'250 - 1'800 ppm),
- Rot, Werte ausserhalb IDA 3 (CO₂) (> 1800 ppm).

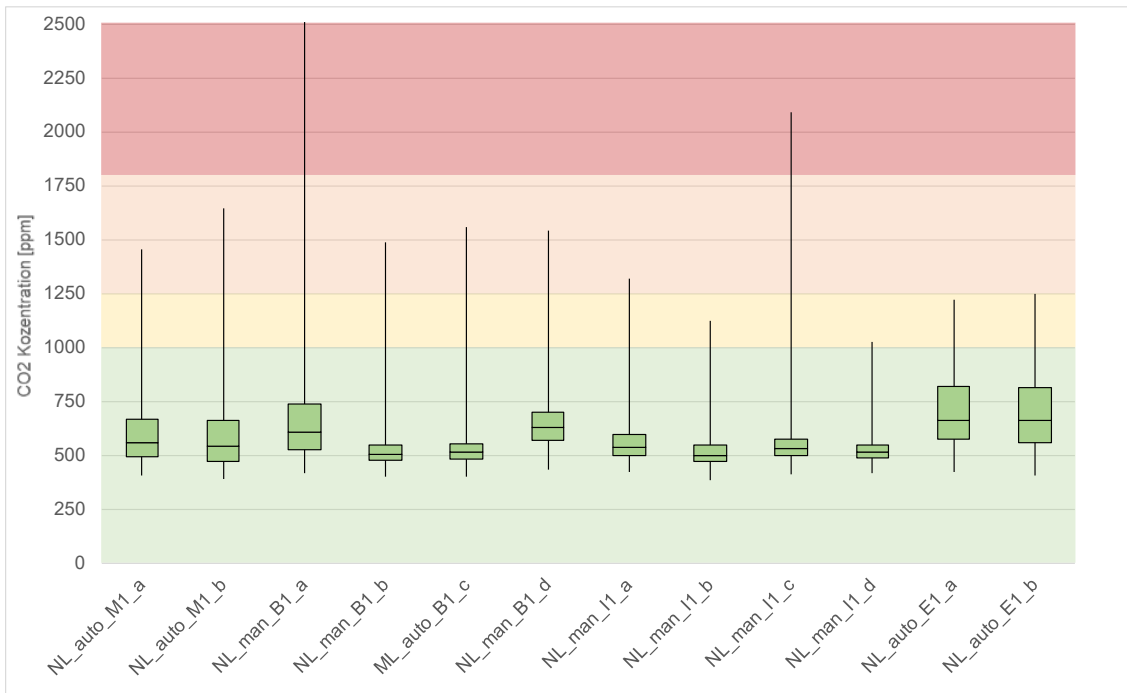


Abb. 84: Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 – 75 %). Daten aus der gesamten Sommer-Messperiode gemäss Tabelle 12 (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm)

Der Median der CO₂-Konzentration liegt an allen Messstandorten innerhalb der Kategorie IDA 1 (CO₂). Die 25–75%-Perzentile liegen eng beieinander und deutlich innerhalb dieser Klasse. Einzelne Ausreisser treten auf, insbesondere bei NL_man_B1_a und NL_man_I1_c, wo kurzzeitig Werte über 1800 ppm (> IDA 3 (CO₂)) gemessen werden. Insgesamt streuen die Messwerte jedoch wenig, wie auch Abb. 85 zeigt. Hier wird die Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen für alle Gebäude dargestellt. IDA 2 (CO₂) wird im Sommer nur selten überschritten. Eine grössere Streuung der Messwerte innerhalb von IDA 1 (CO₂) zeigt sich vor allem bei NL_auto_E1 und NL_auto_M1.

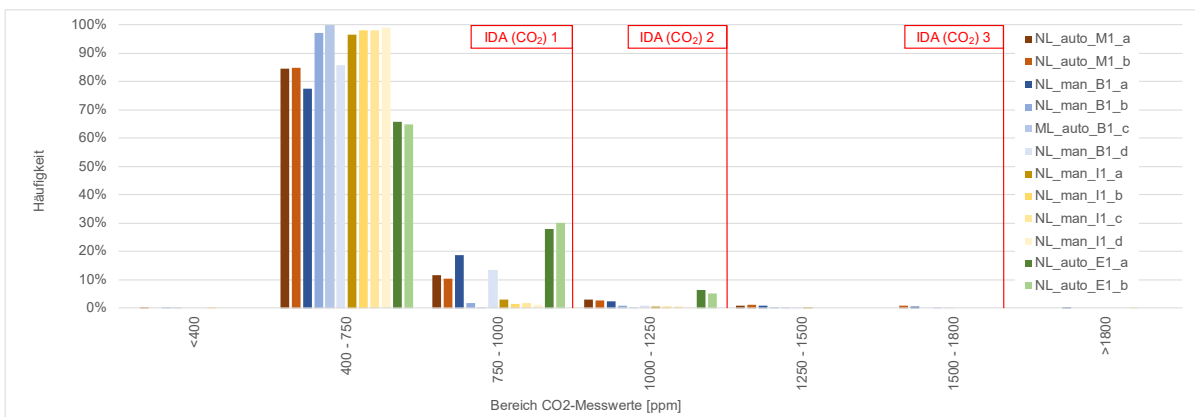


Abb. 85: Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentration. Daten aus der gesamten Sommer-Messperiode



Tabelle 67: Mittelwert, Medianwert, Standardabweichung und die Anzahl Messungen, pro untersuchtem Arbeitsplatz über die gesamte Sommer-Messperiode für die CO₂-Konzentration in [ppm]

	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_auto_B1_c	NL_man_B1_d	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_c	NL_man_I1_d	NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b
Median	560 ±50	540 ±50	610 ±50	510 ±50	510 ±50	630 ±50	540 ±50	500 ±50	530 ±50	510 ±50	660 ±50	660 ±50
Mittelwert	610	600	660	520	520	650	560	520	550	520	700	700
Min	400	390	420	400	400	440	420	380	410	420	420	410
Max	1460	1640	2510	1490	1560	1540	1320	1120	2090	1020	1220	1250
Standardabweichung	163	195	188	94	54	108	91	82	78	60	159	167
Anzahl Messpunkte	37'140	37'140	42'900	42'900	42'890	42'900	33'300	33'300	33'300	33'300	29'520	39'600

Alle Mittelwerte liegen zwischen 520 ppm und 700 ppm. Bei NL_auto_E1 werden im Vergleich zu den anderen Gebäuden und Messpunkten etwas höhere Werte festgestellt.

Fazit CO₂-Konzentration

Die CO₂-Konzentrationen befinden sich während der gesamten Sommermessperiode an allen Messstandorten zu mindestens 98 % innerhalb von IDA 1 (CO₂). Über 75 % der Messwerte liegen bei allen Gebäuden unter 750 ppm, mit Ausnahme von NL_auto_E1, wo die Werte etwas stärker streuen. Überschreitungen von IDA 2 (CO₂) treten nur vereinzelt und sehr kurz auf.

6.4.4 Wochenverläufe (Arbeitswoche Montag – Freitag)

Bei der Gebäudebegehung sowie bei den Messungen wird festgestellt, dass die Büroarbeitsplätze, vor allem in den Grossraumbüros, eher selten belegt sind (siehe auch Kapitel 6.3.4). Bei der CO₂-Konzentration führt die niedrige Belegung zu einer zu positiven Bewertung über die gesamte Messdauer. Nachfolgend werden daher für jedes Messgebäude die CO₂-Konzentrationen an einem Arbeitsplatz im Verlauf der Arbeitswoche betrachtet. Das Vorgehen ist analog zum Winter (siehe Kapitel 6.3.4).

NL_man_B1

Abb. 86 zeigt eine tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration einer Arbeitswoche für NL_man_B1_a. Die niedrige Spannweite zwischen Minimal- und Maximalwerte der CO₂-Konzentration am Donnerstag und am Freitag lassen auf die Abwesenheit von Personen schliessen.

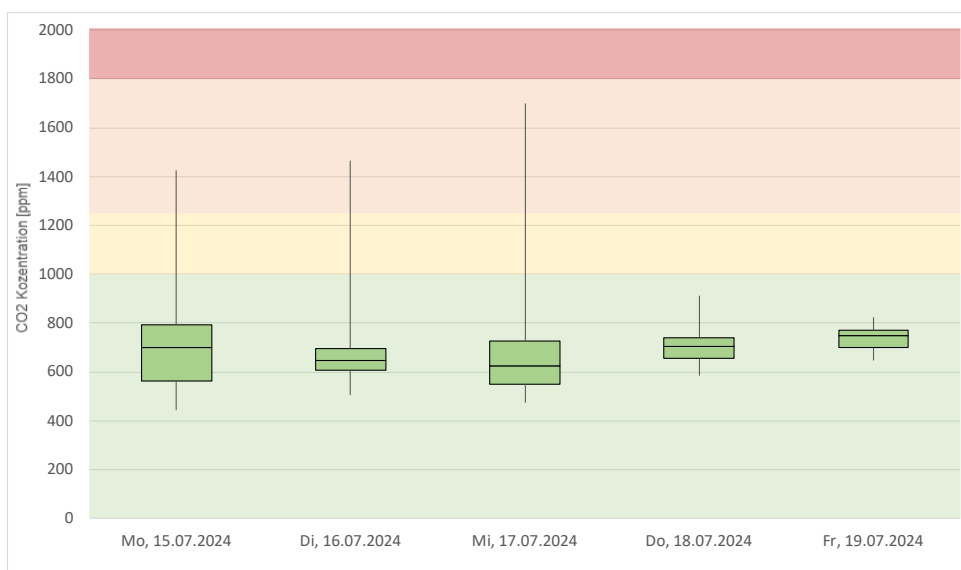


Abb. 86: NL_man_B1_a; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25 - 75%) über eine Woche im Sommer (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm).



In Abb. 87 sind die CO₂-Verläufe, der Beleuchtungsstärke zwischen Storen und Fenster und die Fensteröffnungen über die gleiche Arbeitswoche dargestellt. Eine tiefe Beleuchtungsstärke tagsüber lässt auf einen geschlossenen Storen schliessen. Abb. 88 zeigt die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumluftfeuchte und die Fensteröffnungen.

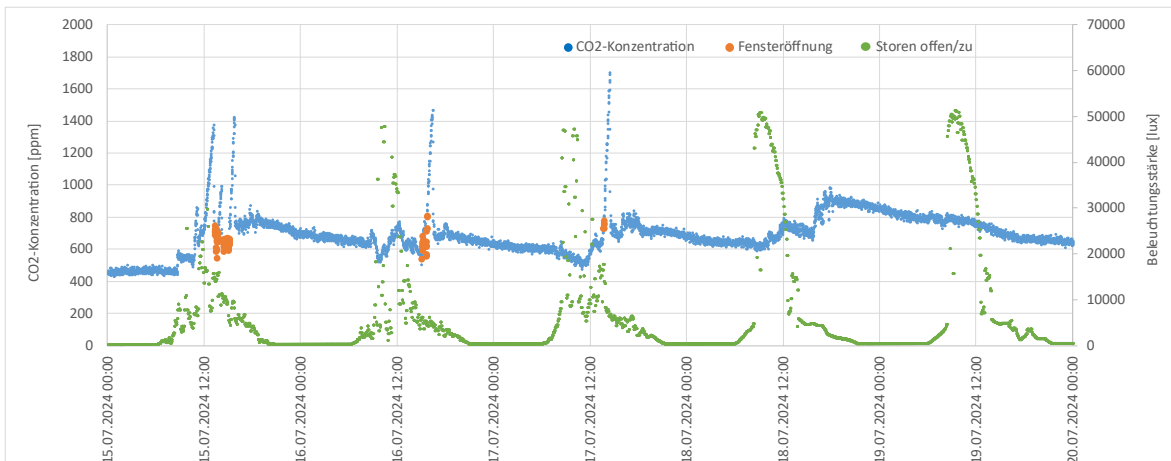


Abb. 87: NL_man_B1_a; Verlauf der CO₂-Konzentration, der manuellen Fensterlüftung und der Storenöffnung über eine Woche im Sommer. Es ist zu beachten, dass die Fensterlogger-Aufzeichnungen im Fünfminutentakt erfolgen, wodurch mit kleinen Abweichungen zu rechnen ist.

Am Montagmorgen beginnt der Wochenverlauf mit einer tiefen CO₂-Konzentration (ca. 450 ppm). An den folgenden Tagen sind die CO₂-Konzentrationen jeweils zu Arbeitsbeginn ca. 100 – 200 ppm höher. Die Spitzenwerte am Montag und am Dienstag liegen bei ca. 1400 ppm und erreichen am Mittwoch kurzzeitig Werte bis ca. 1700 ppm. Am Donnerstag und am Freitag ist das Büro nicht belegt. Die Beleuchtungsstärke lässt darauf schliessen, dass die Storen am Montag, am Dienstag und am Mittwoch zumindest teilweise geschlossen waren. Am Donnerstag- und am Freitagvormittag wird direkte Sonneneinstrahlung erfasst.

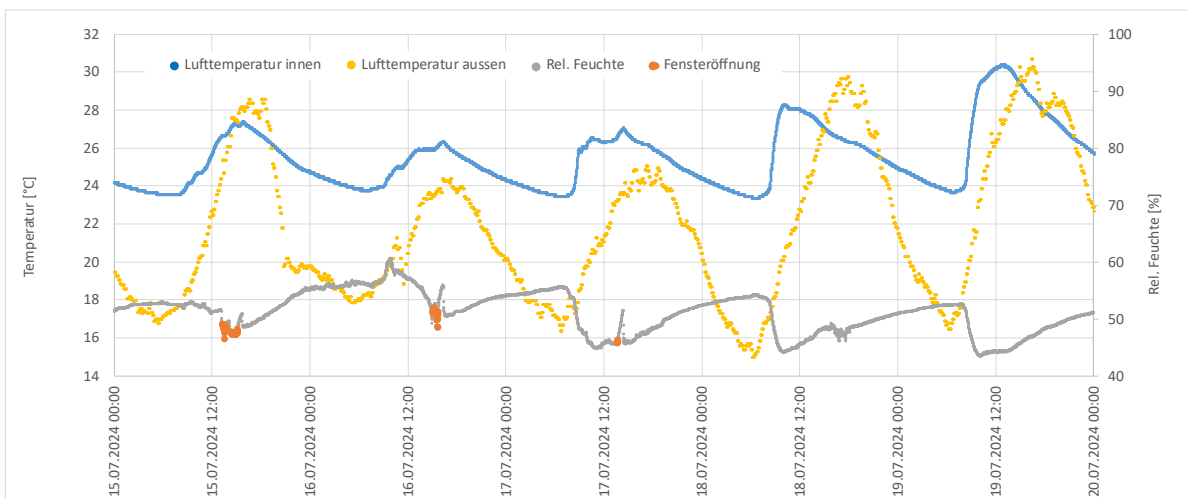


Abb. 88: NL_man_B1_a; Verlauf der Temperatur (ausen/innen), der relativen Luftfeuchte und der manuellen Fensterlüftung über eine Woche im Sommer. Es ist zu beachten, dass die Fensterlogger-Aufzeichnungen im Fünfminutentakt erfolgten, wodurch mit kleinen Abweichungen zu rechnen ist.



Die Aussentemperatur (Abb. 88) erreicht jeweils am Nachmittag ihren Höchstwert, am Donnerstag und Freitag steigt die Aussentemperatur auf bis 30 °C. Die Raumlufttemperatur schwankt zwischen 24 °C und ca. 27 °C an den Tagen mit Belegung (Montag bis Mittwoch). Die Lüftungsvorgänge senken die CO₂-Peaks, insbesondere am Montag deutlich.

NL_auto_E1

Die tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration zeigt Abb. 89 für NL_auto_E1_b. Die Perzentilwerte für die CO₂-Konzentration liegen immer innerhalb von IDA 1 (CO₂). IDA 2 (CO₂) wird zu keiner Zeit überschritten. Die kleinen Perzentilwerte und die geringe Streuung am Freitag deuten auf eine geringe Belegung des Büros hin.

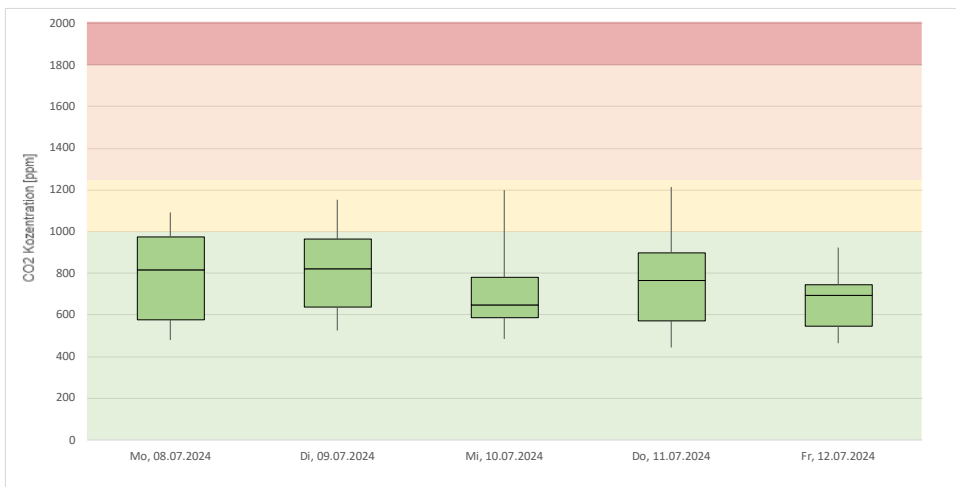


Abb. 89: NL_auto_E1_b; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Sommer (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm).

Abb. 90 zeigt die CO₂-Verläufe über die gleiche Arbeitswoche, Abb. 91 die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumluftfeuchte. Aufgrund von Verbindungsproblemen mit den LoRa-Loggern können keine Fensteröffnungen aufgezeichnet werden. Plötzliche Absenkungen im CO₂-Verlauf weisen jedoch auf Fensteröffnungen hin.

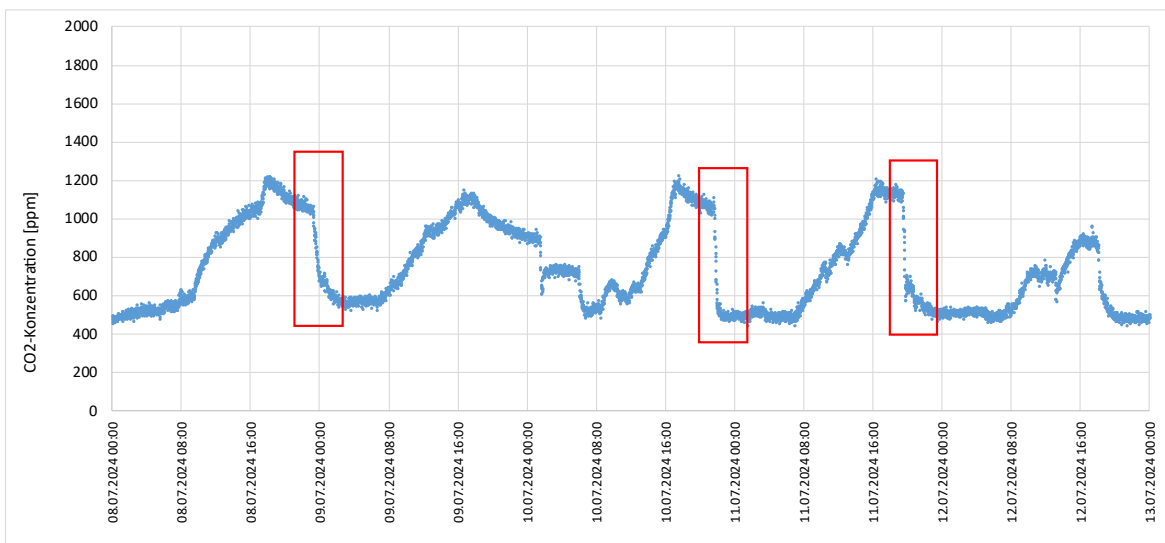


Abb. 90: NL_auto_E1_b; Verlauf der CO₂-Konzentration über eine Woche im Sommer.

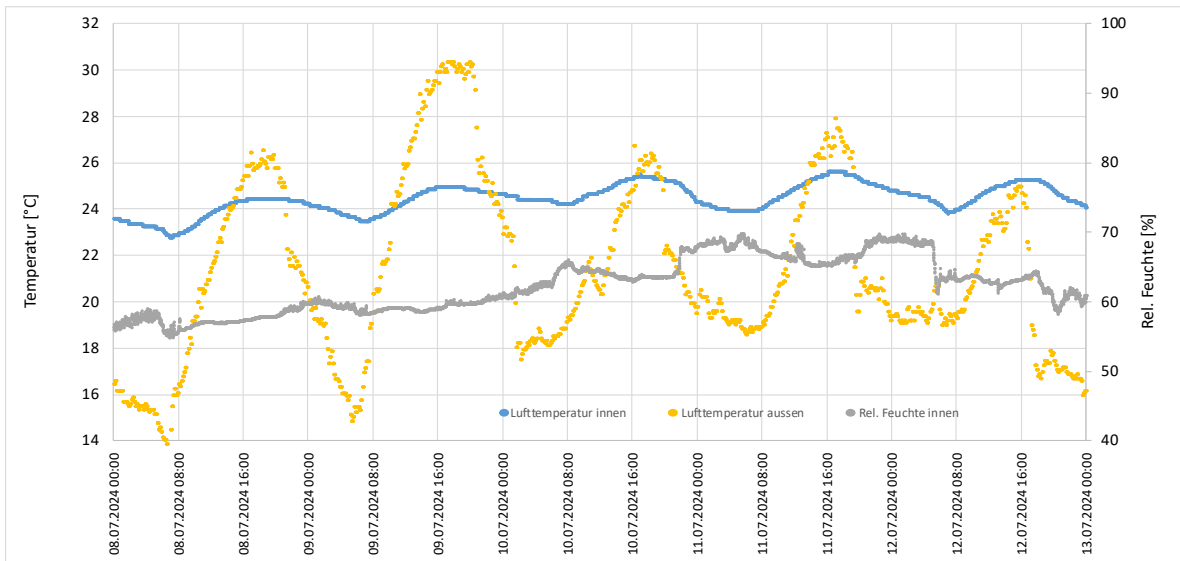


Abb. 91: NL_auto_E1_b; Verlauf der Lufttemperatur (aussen/innen) und der relativen Luftfeuchte eine Woche im Sommer.

Die Aussenlufttemperatur schwankt zwischen 15 °C in der Nacht und bis zu 30 °C am Tag. Interessant ist, dass die Innenlufttemperatur nur geringfügig von der Lufttemperatur aussen beeinflusst wird. Dies ist auf die massive Bauweise und auf eine geringe Anzahl von Lüftungsvorgängen zurückzuführen. Die relative Raumluftheuchte steigt im Verlauf der Woche leicht an und erreicht gegen Ende der Woche die zulässige Limite von 70 % r.H.

NL_man_I1

In Abb. 92 ist die tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration für NL_man_I1_b in einem Dreipersonenbüro dargestellt. Alle Messwerte liegen stets innerhalb von IDA 1 (CO₂). Bei diesem Messgebäude werden die Fenster tagsüber rein manuell bedient, das untersuchte Büro ist mit zwei Fenstern ausgestattet. Die kleinen Perzentilwerte am Mittwoch und am Freitag deuten auf keine bzw. allenfalls eine kurzzeitige Belegung des Büros hin.

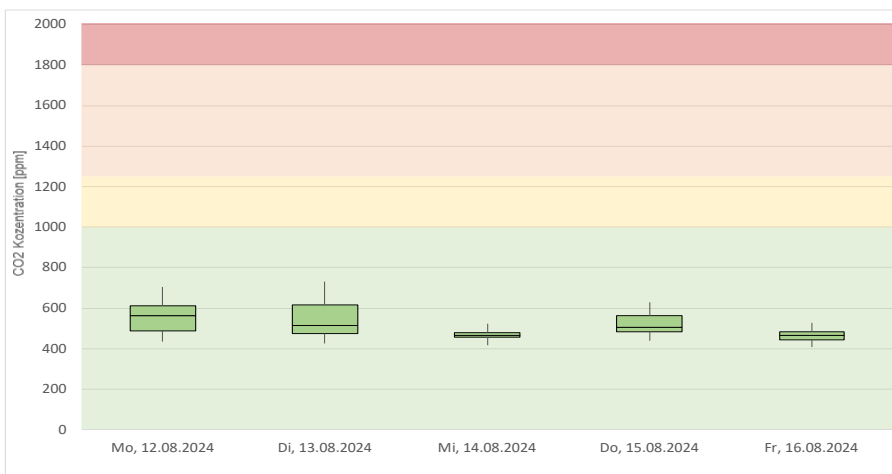


Abb. 92: NL_man_I1_b; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Sommer (IDA 1 < 1000 ppm; IDA 2 < 1250 ppm; IDA 3 < 1800 ppm).

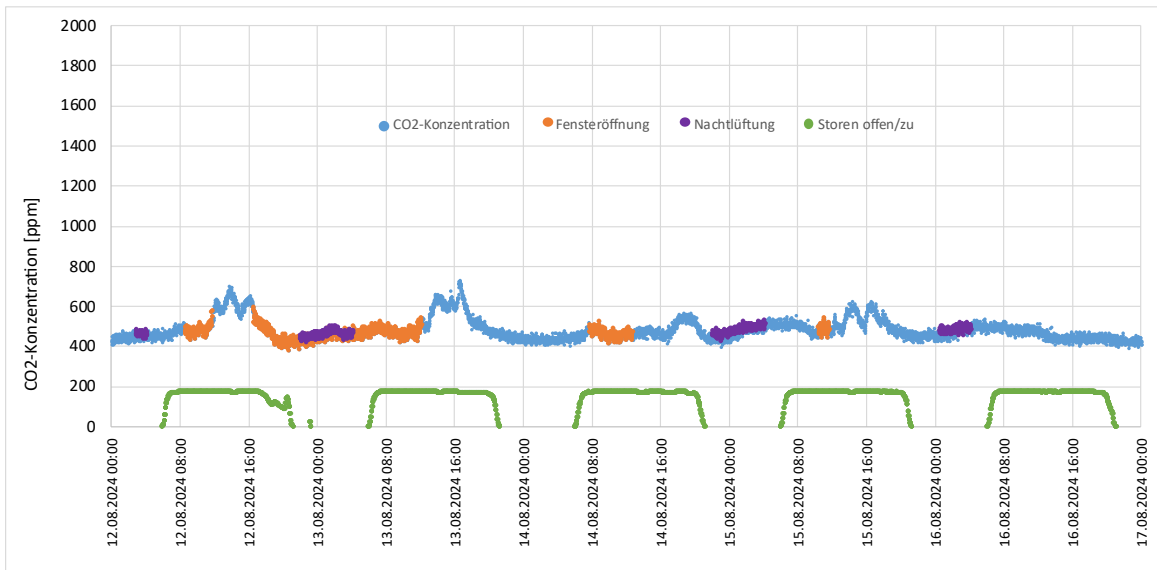


Abb. 93: NL_man_I1_b; Verlauf der CO₂-Konzentration, manueller Fensteröffnung, automatischer Nachtlüftung und der Storenstellung über eine Woche im Sommer.

In Abb. 93 wird deutlich, dass in der betrachteten Woche regelmässig gelüftet wird. Die automatische Nachtlüftung ist in allen Nächten aktiv, mit Ausnahme von Dienstag auf Mittwoch. Deutliche CO₂-Spitzen traten während dieser Woche nicht auf, was sowohl auf den hohen Luftwechsel als auch auf eine geringe Belegung zurückzuführen ist. Die Storen werden täglich automatisch geregelt.

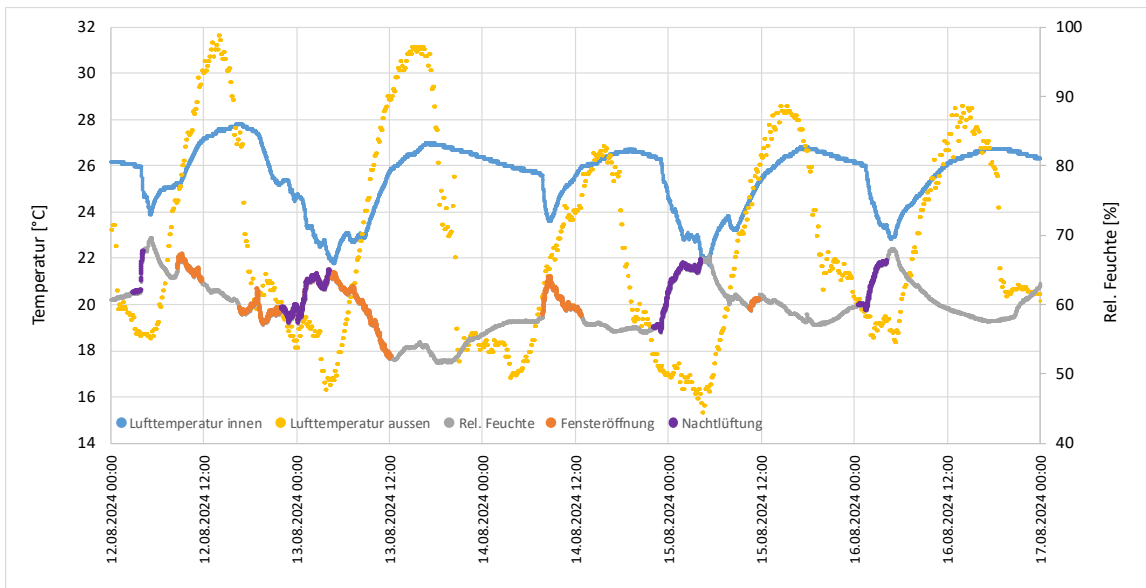


Abb. 94: NL_man_I1_b; Verlauf der Lufttemperatur (ausser/innen), relativen Luftfeuchte, manueller Fensteröffnung und automatischer Nachtlüftung über eine Woche im Sommer.

Abb. 94 zeigt, dass am Montag und Dienstag bei Aussenlufttemperaturen bis 32 °C die obere Grenze der Klasse IEQ_{II} (RT) mit 26.1 °C überschritten wird. Auffällige Temperaturanstiege treten insbesondere bei längeren Lüftungsvorgängen am Vormittag auf. Gleichzeitig wird ersichtlich, dass die automatische Nachtlüftung sehr effektiv zur Absenkung der Raumlufttemperatur beiträgt.



NL_auto_M1

In Abb. 95 ist für eine Woche eine tageweise Auswertung der CO₂-Konzentration für NL_auto_M1_a dargestellt. Die Messwerte liegen immer innerhalb von IDA 2 (CO₂) und an allen Tagen ausser Montag auch innerhalb von IDA 1 (CO₂). Bei diesem Messgebäude werden die Lüftungsfügel während der Sommerperiode über eine Temperaturregelung gesteuert. Ergänzend werden Fenster manuell geöffnet.

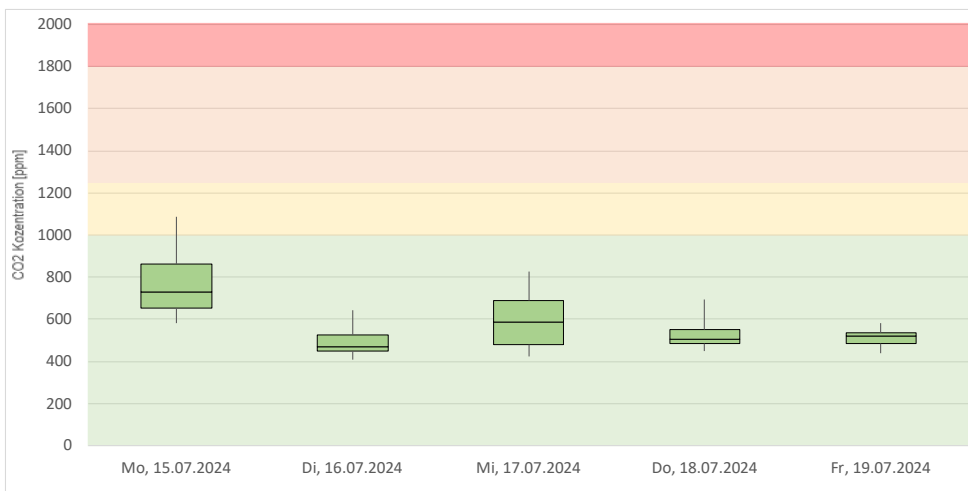


Abb. 95: NL_auto_M1_a; Verteilung der CO₂-Konzentration (Min-, Max-, Median- und Perzentilwerte 25-75%) über eine Woche im Sommer (IDA 1 (CO₂) < 1000 ppm; IDA 2 (CO₂) < 1250 ppm; IDA 3 (CO₂) < 1800 ppm).

Die CO₂-Verläufe und die erfassten manuellen Fensteröffnungen über die gleiche Arbeitswoche zeigt Abb. 96. Die Lufttemperaturen innen und aussen, sowie die relative Raumlufffeuchte, die manuellen Fensteröffnungen und die Storenschliessung zeigt Abb. 97.

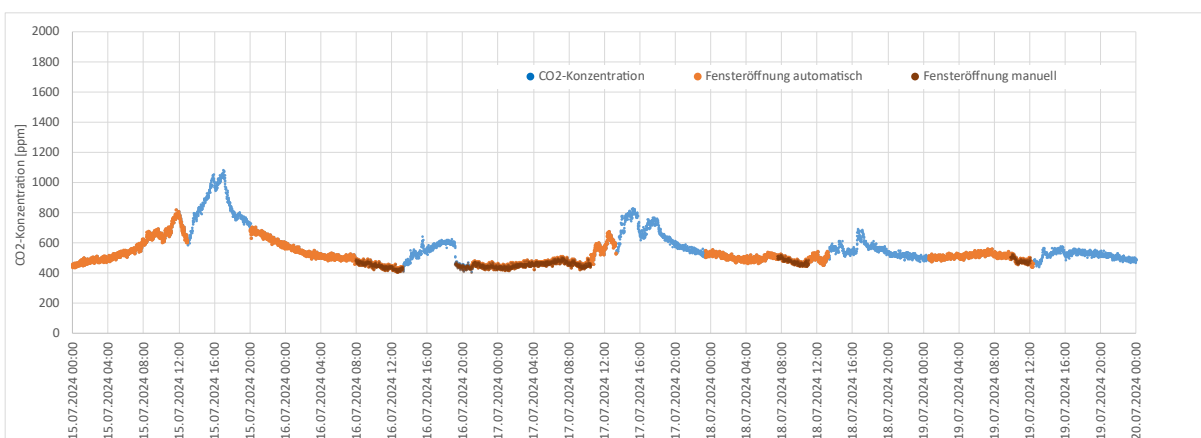


Abb. 96: NL_auto_M1_a; Verlauf der CO₂-Konzentration und der automatischen Fensterlüftung über eine Woche im Sommer.

Am Montag werden keine manuellen Fensterlüftungen aufgezeichnet und die CO₂-Konzentration steigt auf über 1000 ppm. An den anderen Tagen wird das Fenster jeweils am Vormittag und von Dienstag auf Mittwoch auch über Nacht geöffnet. Die CO₂-Konzentration bleibt stets innerhalb IDA 1 (CO₂). Die Storen werden normalerweise am Nachmittag geschlossen.

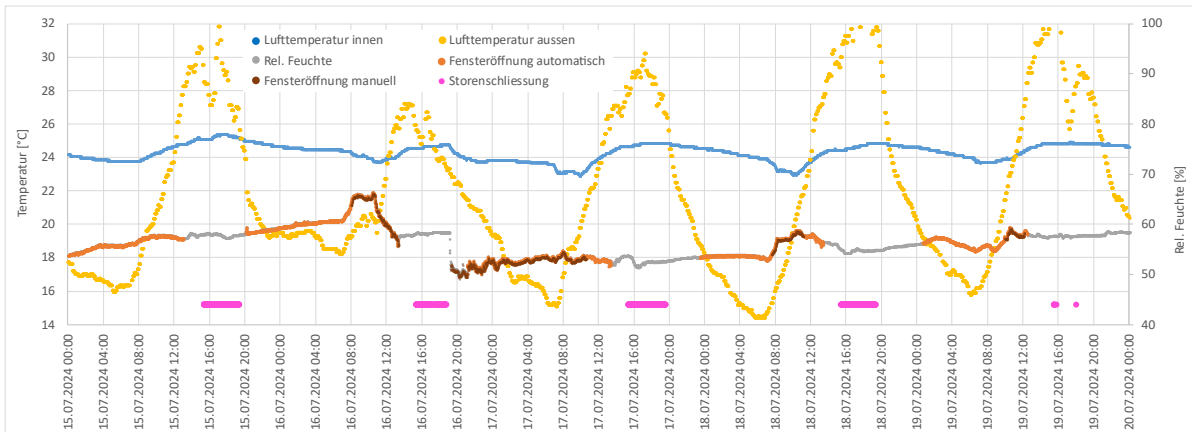


Abb. 97: NL_auto_M1_a; Verlauf der Temperatur (ausen und innen), relativen Luftfeuchte, der manuellen Fensterlüftung und der Storeschliessung über eine Woche im Sommer

Ausser am Dienstag erreichen die Aussenlufttemperaturen in dieser Woche jeden Tag Werte bis über 30 °C. Die Temperatur im Gebäude übersteigt dabei IEQ_{II} (RT) nie, was auf ein wirksames Konzept zum sommerlichen Wärmeschutz schliessen lässt.

Fazit Betrachtung Wochenverläufe

Bei den Gebäuden NL_man_B1_a und NL_auto_E1_b zeigen sich über die Woche hinweg ausgeprägte Schwankungen im CO₂-Verlauf. Demgegenüber fallen die Schwankungen bei NL_man_I1_b und NL_auto_M1_a deutlich geringer aus. Die Unterschiede sind in erster Linie auf die Anwesenheit von Personen sowie auf die Häufigkeit und Dauer der Lüftungsvorgänge zurückzuführen.

Die CO₂-Verläufe können bezüglich der erreichten Werte insgesamt als unproblematisch eingestuft werden, da sie meist im Bereich von IDA 1 (CO₂) und selten im Bereich von IDA 2 (CO₂) liegen. Auffällig ist jedoch, dass bei den manuell belüfteten Gebäuden NL_man_B1_a und NL_man_I1_b teilweise erhöhte Innentemperaturen auftreten. Diese sind neben der direkten Sonneneinstrahlung auch darauf zurückzuführen, dass die Benutzenden ihr Lüftungsverhalten wenig an die Aussentemperatur anpassen.



6.4.5 Vergleich Langzeitmessungen mit Befragung der Benutzenden

Aus der Befragung der Benutzenden werden die Ergebnisse herausgegriffen, die sich signifikant von der Grundgesamtheit unterscheiden und mit den Langzeitmessungen bezogen auf das Gebäude verglichen.

Auch hier kann, wie für den Winter (siehe Kapitel 6.3.6), der jeweiligen Klassifizierung der Raumluftqualität bezüglich CO₂-Konzentration für IDA (CO₂) ein Prozentsatz von Unzufriedenen zugeordnet und dieser mit den Messergebnissen verglichen werden. Für den Vergleich werden die Befragungsergebnisse «unzufrieden» und «etwas unzufrieden» mit der Luftqualität zusammengekommen.

NL_auto_E1

Bezogen auf die Parameter Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte und Raumluftqualität unterscheidet sich dieses Gebäude nicht signifikant von den anderen Gebäuden.

Mit der Raumluftqualität sind 30 % der Befragten «unzufrieden» und «etwas unzufrieden» und es liegt damit in der Kategorie IDA 3 (CO₂). Die Messergebnisse liegen hingegen für alle Messstandorte in der Kategorie IDA 1 (CO₂).

NL_auto_M1

Im Vergleich mit der Grundgesamtheit treten weder bei der Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte noch bei der Raumluftqualität Unterschiede bei der Befragung auf.

Mit der Raumluftqualität sind 30 % der Befragten «unzufrieden» und «etwas unzufrieden» und das Gebäude ist entsprechend der Kategorie IDA 3 (CO₂) zuzuordnen. Die Messergebnisse liegen hingegen für alle Messstandorte in der Kategorie IDA 1 (CO₂).

BE_01

Beim natürlich belüfteten Teil treten im Bereich der Wirksamkeit der (manuell betätigten) Nachtlüftung und der Bewertung der Raumtemperatur Unterschiede zu den anderen Gebäuden auf. Im Vergleich werden beide Parameter schlechter bewertet. Die Langzeitmessung der Raumlufttemperatur zeigt, dass für diesen Gebäudeteil in einem Büro (NL_man_B1_a) der Median im Bereich von IEQ_{II} (RT) liegt, was auf ein mittleres Mass an Erwartungen hinweist. In einem anderen Büro (NL_man_B1_b) liegt er im Bereich von IEQ_I (RT) (hohes Mass an Erwartungen). Die Messungen bestätigen also, dass es auch Büros mit eher hohen Temperaturen gibt.

Beim mechanisch belüfteten Gebäudeteil treten ausser bei der Beurteilung der Wirksamkeit der Nachtlüftung (teilweise nichtexistent) keine Unterschiede zur Grundgesamtheit auf.

Mit der Raumluftqualität sind im natürlich belüfteten Teil 40 % der Befragten «unzufrieden» und «etwas unzufrieden», im mechanisch belüfteten Teil sind es 26 %. Dies entspricht der Kategorie IDA 4 (CO₂), bzw. IDA 3 (CO₂). Die Messergebnisse liegen hingegen für alle Messstandorte in der Kategorie IDA 1 (CO₂).

IT_01

Das Gebäude unterscheidet sich bezogen auf Temperatur, Feuchte und Luftqualität in der Bewertung durch die Benutzenden nicht signifikant von den anderen Gebäuden.

Bei der Raumluftqualität sind 30 % der Befragten «unzufrieden» und «etwas unzufrieden», was der Kategorie IDA 3 (CO₂) entspricht. Die Messergebnisse liegen hingegen für alle Messstandorte in der Kategorie IDA 1 (CO₂).



6.5 Bewertung low-tec

6.5.1 Kurzzeitmessungen

Die Kurzzeitmessungen zur allgemeinen thermischen Behaglichkeit (PMV-Werte) werden sowohl bei geschlossenem als auch bei geöffnetem Fenster bewertet.

Im Winter verschlechtert das Öffnen der Fenster meist den thermischen Komfort. Eine Ausnahme ist das Gebäude NL_auto_M1, dort sind die operativen Temperaturen aufgrund hoher interner Lasten leicht erhöht, weshalb sich der thermische Komfort bei geöffnetem Fenster verbessert. Im Sommer gibt es kaum Unterschiede bezogen auf den thermischen Komfort, bei offenem oder geschlossenem Fenster. Eine Ausnahme im Sommer ist ML_NL_man_B1, das mit geöffnetem Fenster einen schlechteren thermischen Komfort aufweist. Bei geschlossenen Fenstern ist der thermische Komfort im Gebäude ML_NL_man_B1 gut sowie bei geöffneten Fenstern im Gebäudetyp NL_auto_M1. Das einzige Gebäude, das bei keiner der Kurzzeitmessungen in der Kategorie III liegt, ist NL_auto_M1.

Tabelle 68 Bewertung Kurzzeitmessungen thermischer Komfort. Zur Bewertungssystematik siehe Tabelle 19.

Verwendete Abkürzungen: S = Sommer, W = Winter

		NL_auto_E1_1	NL_auto_E1_2	NL_auto_M1_1	NL_auto_M1_2	NL_man_I1_1	NL_man_I1_2	NL_man_B1_1	ML_B1_2
Klassifizierung IEQ (GTC), Fenster zu	W	II	II	II	II	II	I	I	I
	S	II	-	II	I	II	II	I	I
Klassifizierung IEQ (GTC), Fenster auf (3, 15 -	W	III	III	II	II	III	III	III	III
	S	II	-	II	I	II	II	III	II
Bewertung Messung IEQ (GTC), Fenster zu	W	● ●		● ●		● ● ●		● ● ●	● ● ●
	S	● ●		● ● ●		● ●		● ● ●	● ● ●
Bewertung Messung IEQ (GTC), Fenster auf	W	●		● ●		●		●	●
	S	● ●		● ● ●		● ●		●	● ●



6.5.2 Langzeitmessungen

Zusammengefasst erhält NL_auto_M1 über beide Jahreszeiten hinweg insgesamt die besten Bewertungen.

- IEQ (RT): Das Gebäude NL_auto_M1 wird bei der Bewertung der IEQ (RT) im Winter und Sommer gut bewertet. Für den Winter erreicht NL_auto_E1 eine gute Bewertung. Die anderen Gebäude haben eine mittlere (NL_man_I1) oder eine schlechte Bewertung (ML_NL_man_B1).
- IDA (CO₂): Hier erreicht das Gebäude ML_NL_man_B1 im Winter und Sommer gute Bewertungen. Die anderen Gebäude werden im Winter mittel und im Sommer gut bewertet.

Tabelle 69 Bewertung Langzeitmessung Lüftung. Es werden nur die Resultate für die Büroräume berücksichtigt. Zur Bewertungssystematik siehe Tabelle 19.
Verwendete Abkürzungen: S = Sommer, W = Winter

		NL_auto_E1_a	NL_auto_E1_b	NL_auto_M1_a	NL_auto_M1_b	NL_man_I1_a	NL_man_I1_b	NL_man_I1_d	NL_man_B1_a	NL_man_B1_b	ML_B1_c
Klassifizierung IEQ (RT)	W	I	II	I	II	II	II	-	II	II	II
	S	II	II	I	II	II	II	I	III	III	III
Klassifizierung IDA (CO ₂)	W	II	II	II	II	II	II	-	I	I	I
	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Bewertung Messung IEQ (RT)	W	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
	S	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
Bewertung Messung IDA (CO ₂)	W	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
	S	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●



7 Resultate Berechnungen

7.1 Abschätzung Belegung und minimal erforderlicher Luftmengen

Zur Abschätzung der minimal erforderlichen Luftmengen wird der spezifische Aussenluftvolumenstrom pro Person sowie die Standardbelegung gemäss Gebäudekategorie herangezogen. Gemäss SIA 2024:2021 [15] beträgt der benötigte Aussenluftvolumenstrom in Grossraumbüros sowie in Einzel- und Gruppenbüros 29 m³/h pro Person. Die Standardbelegung leitet sich nach SIA 2024:2021 über die Grundfläche des betreffenden Büros ab, wobei eine Nettogeschossfläche von 10 m² pro Person in Grossraumbüros und 14 m² pro Person in Einzel- oder Gruppenbüros angesetzt wird.

In Tabelle 70 sind die daraus resultierenden Belegungszahlen und die minimal erforderlichen Luftmengen für die in den Langzeitmessungen untersuchten Büroräume dargestellt. Ebenso wird der Elektrizitätsbedarf für Geräte und Beleuchtung, sowie der Heizwärmebedarf gemäss SIA 2024:2021 ermittelt.

Tabelle 70: Standardauslegung nach SIA 2024:2021 [15] pro Gebäude. Verwendete Abkürzungen: NGF = Nettogeschossfläche.

	NGF [m ²]	Belegung [Anz. Pers.]	Aussenluftvolumenstrom pauschal [m ³ /h]	Elektrizitätsbedarf Geräte [kWh/a]	Elektrizitätsbedarf Beleuchtung [kWh/a]	Heizwärmebedarf [kWh/a]
NL_auto_E1 ¹⁾	340.6	34.1	989	14884	6540	579
NL_auto_M1 ¹⁾	930.0	93.0	2697	40641	17856	1581
NL_man_I1_a	18.1	1.3	38	579	317	217
NL_man_I1_b	24.4	1.7	49	781	427	293
NL_man_B1_a	12.0	0.9	26	384	210	144
NL_man_B1_b	24.0	1.7	49	768	420	288

¹⁾ Grossraumbüro; kombinierte Betrachtung der gesamten Bürofläche

Die Ergebnisse zeigen, dass sich für die Grossraumbüros hohe Aussenluftvolumenströme ergeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Standardwerte von einer deutlich höheren Belegung als in der Realität dieser Untersuchungsgebäude ausgehen. Die nachfolgenden Ausführungen erläutern die Einzelgebäude.

7.1.1 Abschätzung Belegung bei realer Nutzung

NL_auto_E1

Beim Bürogebäude NL_auto_E1 wird während der Wintermessung die Möblierung aufgenommen. Auf Basis der vorhandenen Arbeitsplätze ergibt sich eine maximale reale Belegung von 15 Personen. Mindestens drei Arbeitsplätze sind jedoch nicht besetzt, zudem arbeiten mehrere Personen in Teilzeit und sind häufig ausser Haus. Die normative Belegung gemäss SIA 2024:2021 liegt bei 34 Personen und ist damit rund zwei- bis dreimal höher angesetzt als die reale Nutzung.

Standardbelegung: 34 Personen
Reale Belegung: ca. 50% tiefer

Quelle: Gebäudebegehung

NL_auto_M1

Beim Gebäude NL_auto_M1 ist die reale Belegung gemäss Aussage des technischen Dienstes über die Woche hinweg unterschiedlich. Montag und Freitag sind typischerweise rund 40–50 Personen anwesend, Mittwoch und Donnerstag etwa 70 Personen. Die Messungen finden an einem Freitag statt, sodass die Belegung vergleichsweise tief ist. Die normative Belegung nach SIA 2024:2021 beträgt 93 Personen. Damit dürfte die reale Nutzung um rund 30 % tiefer liegen, wobei diese Abschätzung mit einer gewissen Unsicherheit verbunden ist.

Standardbelegung: 93 Personen
Reale Belegung: ca. 30% tiefer

Quelle: Angabe Technischer-Dienst



NL_man_I1

Aufgrund der Maximalwerte und der Streuung der gemessenen CO₂-Konzentrationen pro Tag wird vermutet, dass beide Büros im Schnitt an 1 – 2 Tagen pro Woche im Winterhalbjahr nicht oder nur teilweise belegt waren. Die normative Belegung gemäss SIA 2024:2021 liegt mit 1.3 Personen bei NL_man_I1_a und mit 1.7 Personen bei NL_man_I1_b unter der realen Belegung von zwei, respektive drei Personen. Unter Berücksichtigung der vermuteten Abwesenheiten stimmt die reale Nutzung mit der normativen Nutzung ungefähr überein.

Standardbelegung: 1.3 Personen (a) 1.7 Personen (b)
Reale Belegung: im Bereich der Standardbelegung Quelle: Messungen

NL_man_B1

Bei NL_man_B1_a deutet der Verlauf der CO₂-Konzentration darauf hin, dass das Büro jeweils am Freitag, aber auch sonst teilweise nicht belegt ist. Im Büro NL_man_B1_b sind die Messdaten weniger eindeutig. Die Maximalwerte der CO₂-Konzentrationen pro Tag weisen jedoch darauf hin, dass der Raum nur an wenigen Tagen voll belegt ist. Mit einer normativen Belegung nach SIA 2024:2021 von 0.9 Personen für NL_man_B1_a und 1.7 Personen für NL_man_B1_b und einer effektiv möglichen realer Belegung von einer und drei Personen, stimmen reale und normative Nutzung unter Berücksichtigung der vermuteten Abwesenheiten ungefähr überein.

Standardbelegung: 0.9 Personen (a) 1.7 Personen (b)
Reale Belegung: im Bereich der Standardbelegung Quelle: Messungen

Fazit

Die Abschätzung zeigt je nach Bürotyp unterschiedliche Tendenzen.

- In den Grossraumbüros mit automatischer Fensterlüftung liegt die reale Belegung zwischen 30 % (NL_auto_M1) und 55 % (NL_auto_E1) unter der normativen Belegung gemäss SIA 2024:2021. Im vorliegenden Projekt führen Teilzeitmodelle, Homeoffice und externe Tätigkeiten zu deutlich tieferen Belegungszahlen.
- In den Einzel-/Gruppenbüros liegen mit den gemachten Beobachtungen normative und durchschnittliche reale Belegung näher beieinander. Allerdings sind die Angaben weniger gesichert. Die Messresultate in NL_man_I1 und NL_man_B1 deuten darauf hin, dass die Räume zeitweise ungenutzt bleiben. Da bei dauerhafter Vollbelegung die normative Nutzung gemäss SIA 2024:2021 überschritten würde, decken sich die normative und die durchschnittliche reale Belegung im Wochenmittel ungefähr.

Eine Umfrage von rund 300 Schweizer Unternehmen zur Büroarbeitsplatzsituation gibt für das Jahr 2024 eine durchschnittliche Homeofficequote von 32 % an [31]



7.1.2 Abschätzung Luftwechselrate und Lüftungswärmeverluste Winterhalbjahr

Die Berechnungsgrundlagen für die Lüftungswärmeverluste sind in Kapitel 3.5 ersichtlich. Die Berechnung der Lüftungswärmeverluste stellt den schlechtesten Fall dar, da in der vereinfachten Betrachtung keine Bilanz der Gewinne und Verluste gemacht wird (z. B. werden interne Wärmegewinne nicht berücksichtigt). In Tabelle 71 sind die berechneten Lüftungswärmeverluste bei normativer Nutzung nach SIA 2024:2021 dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die normative Belegung insbesondere bei den Grossraumbüros (NL_auto_E1 und NL_auto_M1) die reale Belegung deutlich überschreitet, siehe dazu auch Kapitel 7.1.1. Die berechneten Lüftungswärmeverluste liegen zwischen 7.8 und 10.8 kWh/a*m².

Tabelle 71: Normativ berechnete Lüftungswärmeverluste bei Standardbelegung und IDA 2 (CO₂). Der mittlere Aussenluftvolumenstrom ist über die Belegungszeit gemittelt.

	Lüftungswärmeverlust im Winter [kWh/a]	Spezifischer Lüftungswärmeverlust im Winter [kWh/a*m ²]	Mittelwert Aussenluftvolumenstrom [m ³ /h*P]	Luftwechselrate über Fensterlüftung [h ⁻¹]	Lüftungszeit alle Fenster [min/h]
NL_auto_E1 ¹⁾	3686	10.8	31.0	1.1	6.8
NL_auto_M1 ¹⁾	9668	10.4	35.5	1.1	22.8
NL_man_I1_a	165	9.1	32.0	0.8	4.7
NL_man_I1_b	210	8.6	33.0	0.8	2.0
NL_man_B1_a	100	8.4	32.0	1.0	4.2
NL_man_B1_b	188	7.8	30.0	0.7	1.9

¹⁾ Grossraumbüro; kombinierte Betrachtung der gesamten Bürofläche

Für die Abschätzung unter realer Nutzung in Tabelle 72 wird zunächst das Lüftungsverhalten in jedem Büro untersucht. Bei NL_auto_M1 kann dieses aus dem Gebäudeleitsystem abgeleitet werden. Bei NL_auto_E1, NL_man_I1 und NL_man_B1 wird das Lüftungsverhalten über die während der Woche erfassten Lüftungsvorgänge angenähert. Im Büro NL_man_I1_a wird kaum gelüftet, jedoch steht die Tür meist offen, was den Luftaustausch mit den Nachbarräumen begünstigt. Bei NL_man_B1_a ist der tiefe Wert auf die geringe Belegung zurückzuführen. Der Lüftungswärmeverlust liegt (ohne NL_man_I1_a und NL_man_B1_a) zwischen 1.7 und 7.9 kWh/a*m².

Tabelle 72: Lüftungswärmeverluste bei realer Nutzung mit den ermittelten Lüftungsintervallen. Der Mittlere Aussenluftvolumenstrom ist über die Belegungszeit gemittelt. Anmerkung: Da in den Räumen NL_man_I1_a und NL_man_B1_a kein Luftwechsel durch manuelle Fensteröffnung stattfindet, werden die Werte im Weiteren nicht berücksichtigt (Werte grau/kursiv).

	Lüftungswärmeverlust im Winter [kWh/a]	Spezifischer Lüftungswärmeverlust im Winter [kWh/a*m ²]	Mittelwert Aussenluftvolumenstrom [m ³ /h]	Luftwechselrate über Fensterlüftung [h ⁻¹]	Lüftungsverhalten
NL_auto_E1 ¹⁾	1590	4.6	246.1	0.25	06:00 – 06:10, 13:00 – 13:10, 16:00 – 16:10
NL_auto_M1 ¹⁾	1582	1.7	227.8	0.07	05:00 – 05:10, 14:00 – 14:03, 16:45 – 17:00 ²⁾
NL_man_I1_a	3	0.2	0.5	0.01	1 min pro Tag
NL_man_I1_b	190	7.8	29.7	0.44	20 min pro Tag, verteilt über den Tag
NL_man_B1_a	9	0.8	1.3	0.04	4 min pro Tag, verteilt über den Tag
NL_man_B1_b	191	7.9	27.8	0.37	20 min pro Tag, verteilt über den Tag

¹⁾ Grossraumbüro; kombinierte Betrachtung der gesamten Bürofläche

²⁾ Gemäss Gebäudeprogramm

Auf Grund des stark variierende Lüftungsverhaltens ergeben sich grosse Unterschiede bei den spezifischen Lüftungswärmeverlusten pro Jahr. Auffällig ist, dass bei Annahme der normativen Belegung nach SIA 2024:2021 [15] die Klasse IDA 2 (CO₂) in allen untersuchten Gebäuden während mindestens 30 % der Zeit nicht eingehalten wird. Bei realer Nutzung hingegen wird die Kategorie IDA 2 (CO₂) im Mittel während rund 12 % der Messzeit überschritten, was auf eine tiefere Belegung als normativ vorgesehen hinweist. Besonders bei NL_auto_E1 und NL_auto_M1 sind die Lüftungswärmeverluste bei realer Nutzung deutlich geringer als unter Annahme der normativen Nutzung: Beim Gebäude NL_auto_E1 sind die normativen Lüftungsverluste rund doppelt so hoch und beim Gebäude NL_auto_M1 sind sie sogar rund sechsmal höher als die realen Lüftungsverluste. Das



wenige Lüften in der Realität erklärt, dass die Überschreitungen der Kategorie IDA 2 (CO₂), trotz einer real tieferen Belegung bei den Messresultaten häufiger auftreten als die für die Abschätzung angenommenen 5 % (Kapitel 3.5).

7.1.3 Plausibilisierung Ergebnisse Luftwechselrate

Zur Plausibilisierung der berechneten Luftwechselraten sollen die Resultate mit Literaturwerten verglichen werden. Die Suchen bezieht sich explizit auf Fensterlüftung in Bürogebäuden während der Heizperiode. Es kann lediglich eine Studie [32] für ein Verwaltungsgebäude in Bilbao identifiziert werden.

Die Luftwechselraten im vorliegenden Projekt bei realer Nutzung liegen zwischen 0.07 und 0.44 h⁻¹, der Mittelwert beträgt 0.28 h⁻¹ (ohne die zwei Räume mit den tiefsten Luftwechselraten NL_man_I1_a und NL_man_B1_a). Bei Standardbelegung ergeben sich Werte zwischen 0.7 und 1.1 h⁻¹, im Mittel 0.91 h⁻¹. Damit weisen die Messwerte eine grosse Bandbreite auf und ein direkter Vergleich ist nur eingeschränkt möglich.

In [32] werden Messungen mittels CO₂-Abklümmethode durchgeführt. Die Luftwechselraten liegen im ersten Obergeschoss zwischen 0.13 und 0.24 h⁻¹ und im dritten Obergeschoss zwischen 0.11 und 0.34 h⁻¹, mit einem Mittelwert von rund 0.21 h⁻¹.

Unsere Abschätzungen zeigen eine etwas grössere Spannbreite, liegen aber mit einem Mittelwert von 0.28 h⁻¹ in einem ähnlichen Grössenbereich und zeigen damit, dass die im Projekt ermittelten Luftwechselraten und Lüftungswärmeverluste in einem plausiblen Bereich liegen.

Da sich die Luftwechselraten für den Berechnungsfall mit Standardbelegung an der Luftqualität IDA 2 (CO₂) orientieren, liegen die ermittelten Werte tendenziell im Bereich von mechanisch belüfteten Systemen. Gemäss SIA 2024:2021 [15] ergeben sich für Einzel- und Grossraumbüros Luftwechselraten von rund 0.46 bis 0.69 h⁻¹ und von rund 0.81 bis 0.86 h⁻¹.

Diese Grössenordnungen stimmen gut mit den im Projekt berechneten Werten von 0.7 bis 1.1 h⁻¹, überein, was die Plausibilität der Abschätzungen zusätzlich bestätigt.

7.1.4 Energiebedarf Luftförderung

Die Abschätzung konzentriert sich auf die Lüftungswärmeverluste und die Luftförderung. Die Lüftungswärmeverluste für die Messgebäude werden in Kapitel 7.1.2 ermittelt (mit Standardbelegung, siehe Tabelle 71; mit realer Nutzung, siehe Tabelle 72). Tabelle 73 zeigt die Lüftungswärmeverluste für die Standardbelegung und die reale Nutzung im Vergleich. Die Lüftungswärmeverluste weisen grosse Unterschiede zwischen den Szenarien auf. Bei der Standardbelegung ergeben sich deutlich höhere Werte, da von einer kontinuierlichen Nutzung und einer höheren Belegung ausgegangen wird. Bei der realen Nutzung liegen die Verluste wesentlich tiefer, was auf kürzere Lüftungsintervalle und eine geringere reale Belegung zurückzuführen ist. Die Büros NL_man_I1 und NL_man_B1_a werden in Realität nur sehr selten gelüftet.



Tabelle 73: Vergleich der Lüftungswärmeverluste natürliche Lüftung «Standardbelegung» und «reale Nutzung»

	Lüftungswärmeverluste "Standardbelegung" [kWh/m ² *a]	Lüftungswärmeverluste "reale Nutzung" [kWh/m ² *a]
NL_auto_E1	10.8	4.6
NL_auto_M1	10.4	1.7
NL_man_I1_a	9.1	0.2
NL_man_I1_b	8.6	7.8
NL_man_B1_a	8.4	0.8
NL_man_B1_b	7.8	7.9

Der nachfolgende Vergleich zwischen natürlicher (NL) und mechanischer Lüftung (ML) basiert auf den Lüftungswärmeverlusten mit realer Nutzung und folgenden Werten:

- Grossraumbüro:
Lüftungswärmeverluste reale Belegung NL: 1.7 bis 4.6 kWh/m²a
- Einzel- und Gruppenbüro:
Lüftungswärmeverluste reale Belegung NL: 7.8 bis 7.9 kWh/m²a

Mit dem Einsatz einer Lüftungsanlage ohne zusätzliche Fensteröffnung durch die Nutzenden ergibt sich für die Nutzungen das folgende Bild:

- Grossraumbüro:
Elektrizitätsbedarf für Ventilatoren: 2.8 kWh/m²a
(spezifische Ventilatorleistung 0.25 W/m³/h (für SPI 2, gemäss 382/1:2025, Tabelle 27 untere Grenze), Volumenstrom 29 m³/h*P = 7.25 W/P, NGF pro Person 10 m²/P = 0.725 W/m², Laufzeit 3900 h/a)
Reduktion Lüftungswärmeverluste Standardbelegung mit WRG 80 % auf: 2.4 kWh/m²a
Summe Elektrizitätsbedarf und Lüftungswärmeverluste ML: 5.2 kWh/m²a
- Einzel- und Gruppenbüro:
Elektrizitätsbedarf für Ventilatoren: 2.8 kWh/m²a
(spezifische Ventilatorleistung 0.35 W/m³/h (für SPI 2, gemäss 382/1:2025 Tabelle 27 obere Grenze), Volumenstrom 29 m³/h*P = 10.15 W/P, NGF pro Person 14 m²/P = 0.725 W/m², Laufzeit 3900 h/a)
Reduktion Lüftungswärmeverluste Standardbelegung mit WRG 80 % auf: 1.7 kWh/m²a
Summe Elektrizitätsbedarf und Lüftungswärmeverluste ML: 4.5 kWh/m²a

Wird beim Einsatz einer Lüftungsanlage von einer zusätzlichen Öffnung der Fenster ausgegangen (wie dies die Ergebnisse der Nutzendenbefragung, Kap. 5.3.1 nahelegen), so erhöhen sich die Lüftungsverluste und damit der Energiebedarf:

- Grossraumbüro:
Annahme gem. Abb. 11: maximal 2 Fensteröffnung/Tag, an maximal 5 Minuten dies entspricht in etwa 1/3 der Öffnungszeiten «reale Nutzung» von NL_auto_E1 und NL_auto_M1: 0.6 – 1.5 kWh/m²a.
Energiebedarf ML und NL: 5.8 – 6.7 kWh/m²a.
- Einzel- und Gruppenbüro:
Annahme gem. Abb. 11: maximal 2 Fensteröffnung/Tag, an maximal 5 Minuten dies entspricht in etwa 1/2 der Öffnungszeiten «reale Nutzung» von NL_man_I1_b und NL_man_B1_b: ca. 3.9 kWh/m²a.
Energiebedarf ML und NL: ca. 8.4 kWh/m²a.



Fazit

Die Ergebnisse für die natürliche Lüftung zeigen, dass die Lüftungswärmeverluste bei realer Nutzung deutlich geringer ausfallen als bei Standardbelegung. Der Energiebedarf einer natürlichen Lüftung richtet sich in hohem Mass nach der tatsächlichen Nutzung und normative Berechnungen überschätzen den realen Bedarf in diesem Projekt tendenziell. Um die Lüftungssysteme optimal zu dimensionieren ist es wichtig, dass bei der Planung die spätere Nutzung/Belegung bekannt ist. Um auf eine fluktuierende Belegung einzugehen, sollten die Luftvolumenströme anpassbar sein.

Der Vergleich des Energiebedarfs von einer natürlichen Lüftung mit realer Belegung mit einer mechanischen Lüftungsanlage zeigt, dass der Energiebedarf für das Grossraumbüro mit natürlicher Lüftung zwischen -12 und -67 % tiefer ist als mit mechanischer Lüftung (NL: 1.7 – 4.6 kWh/m²a, ML: 5.2 kWh/m²a). Für das Einzel- und Gruppenbüro ist der Bedarf mit natürlicher Lüftung +73 bis +76 % höher als mit mechanischer Lüftung (NL: 7.9 kWh/m²a, ML: 4.5 kWh/m²a).

Wird die natürliche Lüftung mit realer Belegung mit einer mechanischen Lüftungsanlage zuzüglich einer manuellen Fensterlüftung verglichen, so ergibt sich für das Grossraumbüro ein zwischen -21 und -75 % tieferer Energiebedarf mit natürlicher Lüftung (NL: 1.7 bis 4.6 kWh/m²a, ML+NL: 5.8 – 6.7 kWh/m²a). Auch beim Einzel- und Gruppenbüro ist der Energiebedarf mit einer natürlichen Lüftung zwischen -6 und -7 % tiefer als mit einer mechanischen Lüftung mit manueller Fensterlüftung (NL: 7.9 kWh/m²a, ML+NL 8.4 kWh/m²a).

Der Bezug für beide Vergleiche ist die natürliche Lüftung ((NL-ML)/ML). In allen Vergleichsfällen gilt, dass die Luftqualität mit einer Lüftungsanlage konstant und zeitweise besser ist als mit einer natürlichen Lüftung.

7.1.5 Bewertung low-tech

Die Ergebnisse für die Lüftungswärmeverluste zeigen, dass die berechneten Verluste bei Standardnutzung und einer gleichbleibenden Luftqualität zwischen 7.8 und 10.8 kWh/a*m² liegen. Bei realer Nutzung und einer ggf. schwankenden Luftqualität liegen die Werte zwischen 1.7 und 7.9 kWh/a*m². Der Vergleich des Energiebedarfs für eine mechanische und eine natürliche Lüftung zeigt, dass der Energiebedarf für eine mechanische Lüftung für Einzel- und Gruppenbüros tiefer als mit einer natürlichen Lüftung ist. Für Grossraumbüros ist der Energiebedarf für die mechanische Lüftung höher. Wird bei einer mechanischen Lüftungsanlage noch zusätzlich über die Fenster gelüftet, dann ist der Energiebedarf in jedem Bürotyp höher als mit einer rein natürlichen Lüftung.

Eine Bewertung des low-tech Ansatzes kann mit diesen Betrachtungen allerdings nicht vorgenommen werden, da bei Standardnutzung die Differenzen auf den Bürotypus zurückzuführen sind und bei realer Nutzung tiefe Lüftungswärmeverluste je nach Belegung zeitweise mit einer schlechteren Luftqualität als bei einer mechanischen Lüftung einhergehen.



7.2 Graue Treibhausgasemissionen

7.2.1 Ergebnisse Berechnung

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigt Abb. 98 in der Übersicht. Die Grenzwerte Minergie gemäss [33] sind informativ eingezeichnet und gelten für Neubauten. Bei ihnen wird auch der unbeheizte Teil des Gebäudes berücksichtigt, sodass sich die Grenzwerte zwischen den Gebäuden unterscheiden. Bei der Gebäudetechnik wird Heizung, Elektroanlage und Sanitär in der Grafik zusammengenommen, davon getrennt werden die Lüftung und Kälteabgabe ausgewiesen.

Graue THGE für die Gebäudehülle und die Innenwände:

Bei der Berechnung der Grauen Treibhausgasemissionen (THGE) für die Gebäudehülle sind vom Ergebnis her kleine Gebäude (NL_auto_E1, NL_auto_L1, FeLue_R1, NL_auto_M1 mit einer EBF < 3000 m²) benachteiligt, da hier das Verhältnis von Hüllfläche und EBF ungünstiger ist als bei grossen Gebäuden. Die beiden Gebäude NL_auto_E1 und NL_auto_L1 verfügen über keinen Keller, daher sind die THGE eher tief. Bei den Gebäuden FeLue_R1 und NL_auto_M1 kommen eher hohe THGE zustande, was auch an der Bauweise liegt (NL_auto_M1 weist sehr dicke Decken auf, FeLue_R1 ist gänzlich aus Beton errichtet).

Auffallend bei den Gebäuden NL_man_I1, FeLue_R1 und NL_auto_M1 sind die hohen THGE für das Kellergeschoss (bei NL_auto_M1 ist anstelle eines Kellergeschosses ein Teil des EG im Erdreich eingegraben) und die Bodenplatte. Bei NL_man_I1 und NL_auto_M1 sind ein Grund dafür sehr dicke Decken (Beton und Estrich: NL_man_I1: 0.43 cm, NL_auto_M1: 0.53 cm). Das Gebäude FeLue_R1 weist auch dicke Decken auf (Beton und Estrich: 38 cm) und Einbauten für die Parkgarage.

Die Minergiegrenzwerte für Neubauten [33] sind wie folgt zu lesen: der obere Grenzwert GW_{THAE1} bezeichnet den Übergang zwischen der Bewertung «gut» und «befriedigend». Der untere Grenzwert GW_{THAE2} bezeichnet den Übergang zwischen der Bewertung «befriedigend» und «unbefriedigend».

Den oberen Grenzwert GW_{THAE1} erfüllt keines der Gebäude. Die beiden Gebäude NL_auto_E1 und NL_auto_L1 erfüllen ihn fast. Den unteren Grenzwert GW_{THAE2} erfüllen alle Gebäude, bis auf ML_NL_man_Z2, unter der Prämisse, dass alle Gebäudeteile eine Zu- und Abluftanlage haben und maschinell gekühlt werden (was nicht der Fall ist). Das Gebäude ML_NL_man_B1 ist eine Sanierung mit einem Neubauteil und wird hier nicht gewertet (für die Sanierung gelten Grenzwerte für Einzelbauteil).

Graue THGE für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Elektroanlage und Sanitär:

Hier werden gemäss Kap. 3.5 Pauschalwerte verwendet. Die Berechnungsergebnisse im Detail zeigt Abb. 99. Unterschiede zwischen den Gebäuden ergeben sich dann, wenn die Gebäude über keine aktive Heizung verfügen (NL_auto_E1 und NL_auto_L1), oder über eine BKT zur sommerlichen Kühlung und Gebäudeheizung (LuBo_Z1, NL_auto_M1, FeLue_R1; NL_man_I1 und ML_NL_man_B1 mit Teilflächen) verfügen. Die BKT wird in diesem Fall bei der Kälteabgabe ausgewiesen.

Graue THGE für die Lüftung und Kälteabgabe:

Die Berechnungsergebnisse zeigt Abb. 99. Bei der Berechnung der Grauen THGE für die Lüftung und Kälteabgabe sei hier nochmals an die Methodik erinnert: Alle Gebäude haben eine einfache Abluftanlage für die WC. Zusätzlich werden die Grauen THGE für die Luftverteilung und für die Luftbehandlungsgeräte erhoben. Die Antriebe für die mechanische Fensteröffnung bei den Gebäuden ML_NL_man_Z2, NL_auto_E1, NL_man_I1, NL_auto_M1 und NL_auto_L1 werden nicht berücksichtigt, da hierzu Daten fehlen. Dies gilt auch für die Fensterlüfter beim Gebäude FeLue_R1. Bei Gebäuden mit einer Abwärmenutzung (AWN) z. B. über eine Wärmepumpe, wird die Wärmepumpe nicht berücksichtigt (FeLue_R1, LuBo_Z1, LuBo_Z3). Die Gebäude LuBo_Z1, ML_NL_man_Z2, LuBo_Z3, NL_auto_E1, NL_man_I1, NL_auto_M1, NL_auto_L1 und, FeLue_R1 werden also bezüglich der Grauen THGE etwas besser bewertet als in der Realität, da hier Komponenten nicht berücksichtigt werden.



Da das Vorhandensein einer Kühlung für die Bewertung des thermischen Komforts im Gebäude eine Rolle spielt, wird auch die Kälteabgabe berücksichtigt, (exklusive Kälteerzeugung mangels gebäudespezifischer Daten, siehe Kap. 3.5). In der Übersicht lassen sich aus der Berechnung der Grauen THGE für die Lüftung und Kälteabgabe drei Gruppen bilden. Wie Tabelle 74 zeigt, unterscheiden sich diese nach Technisierungsgrad.

Tabelle 74: Erreichter Bereich für Graue Treibhausgasemissionen für Lüftung und Kälteabgabe. Verwendete Abkürzungen: AWN = Abwärmernutzung, WRG = Wärmerückgewinnung, WP = Wärmepumpe, GTHGE = Graue Treibhausgasemissionen, NL = Natürliche Lüftung.

Bereich Graue THGE für Lüftung und Kälteabgabe	Gebäude	Erläuterung
Niedrig ($< 0.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$)	NL_auto_E1 NL_auto_L1 (ohne Kühlung) FeLue_R1 NL_man_Z2 (Mieterausbau mit NL und ohne Kühlung).	Die Gebäude haben NL mit mechanischer Fensteröffnung (beim Gebäude ML_NL_man_Z2 nur für die Nachtlüftung im Sommer), oder Fensterlüfter (FeLue_R1). Nicht berücksichtigt bei GTHGE: Alle Gebäude: mechanische Fensteröffnung und Fensterlüfter. FeLue_R1: AWN über WP
Mittel ($\leq 1.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$)	NL_auto_M1 NL_man_I1 LuBo_Z1	NL_auto_M1 und NL_man_I1 haben in den Büros eine NL über automatisch öffnende Fenster (im Gebäude NL_man_I1 nur für die Nachtlüftung im Sommer). Zusätzlich gibt es Teilflächen mit einer Lüftungsanlage. Nicht berücksichtigt bei GTHGE: mechanische Fensteröffnung LuBo_Z1 verfügt über Luftboxen und eine Abluftanlage. Nicht berücksichtigt bei GTHGE: AWN über WP).
Hoch ($> 1.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$)	ML_NL_man_B1 LuBo_Z3 ML_Z2 (Mieterausbau mit Zu- und Abluftanlage, sowie Kühldecken).	Bei ML_NL_man_B1 sind Flächen entweder mit Zu- und Abluftanlage oder mit NL vorhanden. LuBo_Z3 weist Luftboxen und Kühldecken auf. Nicht berücksichtigt bei GTHGE: AWN über WP. Im Gebäude ML_NL_man_Z2 kann der Mieterausbau eine Zu- und Abluftanlage, sowie Kühldecken enthalten.



Bemerkungen zu den einzelnen Gebäuden:

- ML_NL_man_Z2: Im Gebäude selber sind die gemieteten Raumeinheiten 5.3 m hoch. Die Mieter können Zwischenböden einziehen. Diese sind gemäss verfügbaren Plänen berücksichtigt. Für die Lüftung und Kühlung gibt es zwei Ausbaustandards, die vom Mieter gewählt werden konnten. Beim Ausbaustandard mit NL gibt es keine Lüftungsanlage für die Büroflächen und keine Kühlung. Für die Lüftung fällt daher nur ein Wert THGE von 0.1 kg/(m² a AE) an. Beim Ausbaustandard mit einer Zu- und Abluftanlage und Kühlung fällt ein Wert von 1.4 kg/(m² a AE) an.
- NL_auto_E1 und NL_auto_L1: Die Gebäude verfügen über keinen Keller, keine aktive Heizung und keine Lüftungsanlage (aber Abluftventilatoren für die WC). Der Unterschied bei den Bodenplatten ist auf die Gründung zurückzuführen. Bei beiden Gebäuden gibt es Pfahlgründungen. Beim Gebäude NL_auto_L1, für welches die Grauen THGE im Rahmen einer Studie [17] ermittelt wurden, kann die Pfahlgründung aufgrund von mangelnder Datengrundlage nicht berechnet werden (Annahme stattdessen: Fundamentplatte).
- NL_auto_M1: Das Gebäude hat sehr dicke Decken, die als Speichermasse dienen sollen (42 cm Beton und 10 cm Estrich).
- FeLue_R1: Das Gebäude ist gänzlich aus Beton errichtet.
- IT_01: Hier wird das Gebäude NL_man_I1 untersucht, da auch hier gemessen wird. Das Gebäude hat drei Innenhöfe, welche den Materialaufwand für die Fassade erhöhen.
- ML_NL_man_B1: 55 % der Fläche ist ein Bestandsgebäude, welches saniert wurde. Daher wird der Grenzwert für Minergie Neubauten nicht ermittelt.

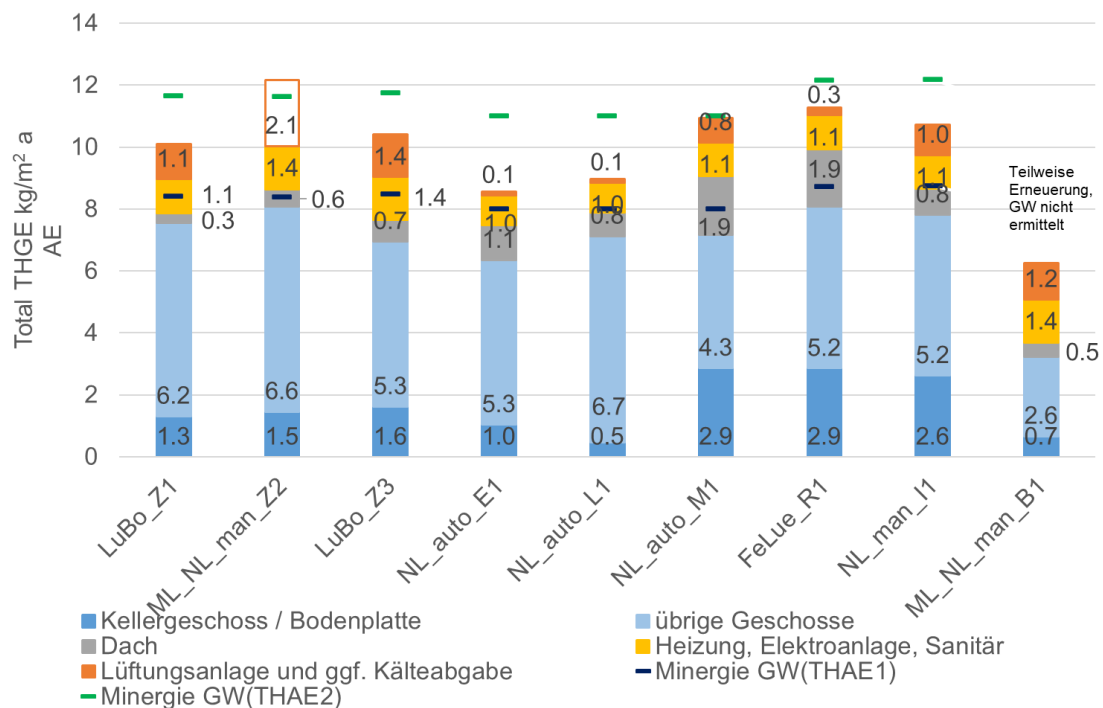


Abb. 98: Berechnungsergebnisse für die Grauen Treibhausgasemissionen (THGE) für alle Gebäude. Die Wärmeerzeugung, Sanitär und Elektroanlage werden pauschal für alle Gebäude gleich angenommen (NL_auto_E1 und NL_auto_L1 ohne Wärmeerzeugung). Nicht berücksichtigt ist die Kälteerzeugung. Die Lüftung und Kälteabgabe wird gebäudespezifisch berechnet. Verwendete Abkürzungen: GW = Grenzwert.

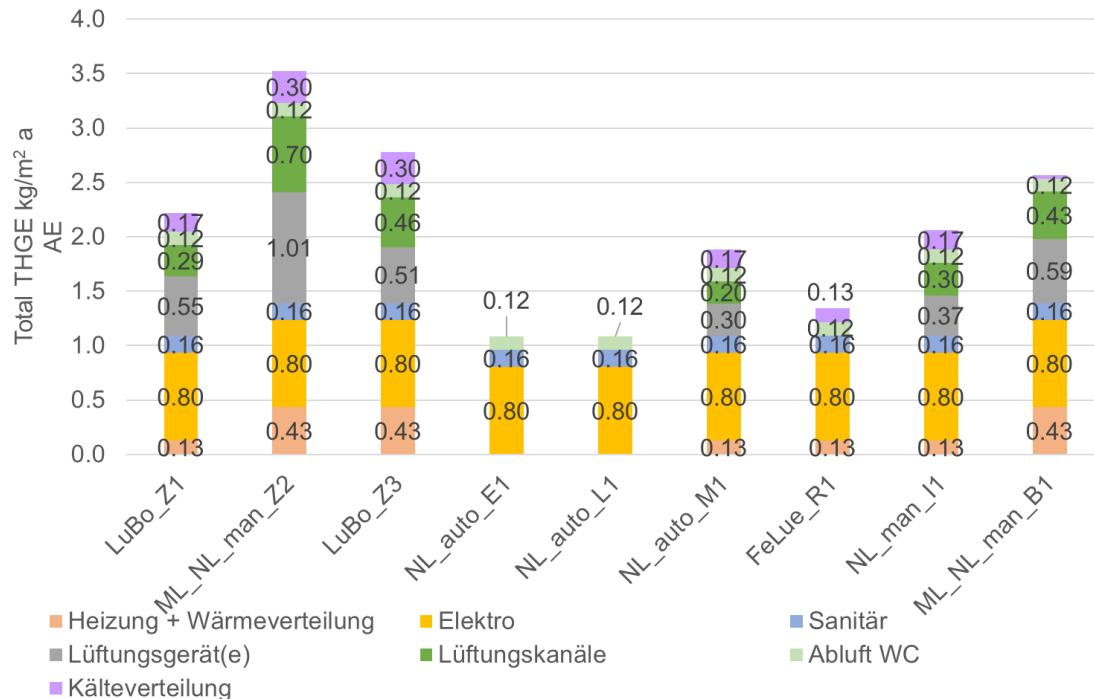


Abb. 99: Berechnungsergebnisse für die Grauen Treibhausgasemissionen (THGE) für die Gebäudetechnik aller Gebäude. Die Wärmezeugung, Sanitär und Elektroanlage werden pauschal für alle Gebäude gleich angenommen (NL_auto_E1 und NL_auto_L1 ohne Wärmezeugung). Nicht berücksichtigt ist die Kälteerzeugung. Die Lüftung und Kälteabgabe wird gebäudespezifisch berechnet.

7.2.2 Plausibilisierung Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnung der Grauen Treibhausgasemissionen (THGE) können mit Werten aus der Literatur für Verwaltungsbauten verglichen werden.

Graue THGE für die Gebäudehülle und die Innenwände:

Aus [34] können Werte für zwei Massivbauten entnommen werden. Hier fallen THGE zwischen 7.6 und 8.6 kg/(m² a AE) an. In [17] werden zwei Gebäude berechnet. Eines davon ist ein Holzbau mit THGE zwischen 4.8 und 5.1 kg/(m² a AE), das andere Gebäude ist NL_auto_L1 mit 7.9 kg/(m² a AE). Die selber berechneten Neubauten liegen zwischen 7.5 und 9.9 kg/(m² a AE). Die Werte liegen damit im plausiblen Bereich.

Graue THGE für die gesamte Haustechnik:

Die Werte für die gesamte Haustechnik können aus [34] für zwei Verwaltungsbauten entnommen werden. Sie liegen zwischen 2.4 und 2.9 kg/(m² a AE). In [17] liegen die Werte für drei Verwaltungsbauten zwischen 0.9 (NL_auto_L1) und 2.1 kg/(m² a AE)

Die eigenen Berechnungen für die THGE liegen zwischen 1.1 und 2.7 kg/(m² a AE). Der Wert 3.5 kg/(m² a AE) für ML_Z2 ist der Maximalwert, wenn alle Gebäudeteile eine Zu- und Abluftanlage haben und maschinell gekühlt werden (was nicht der Fall ist). Abweichend zur Berechnung in der Literatur für NL_auto_L1 wird hier für die eigene Berechnung auch der Pauschalwert für die Sanitäranlagen, die Elektroanlagen und eine einfache Abluftanlage WC (siehe Kap. 3.5) angenommen. Die Werte liegen im Bereich der Literatur. In der Realität wären sie noch etwas höher, dies liegt daran, dass die Kälteerzeugung und einige Lüftungskomponenten nicht berücksichtigt werden. Die Grössenordnung der eigenen Berechnungen ist damit plausibel.



7.2.3 Bewertung low-tech

Aus Tabelle 74 lassen sich Bereiche für die grauen THGE für Lüftung und Kälteabgabe bilden, in welche die Gebäude eingeordnet werden können. Drei Gebäude und ein Gebäudeteil haben einen Wert $< 0.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$, bei drei Gebäuden liegt der Wert zwischen 0.3 und $1.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$ und bei zwei Gebäuden und einem Gebäudeteil liegen die Werte über $1.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$.

Tabelle 75: Vergleich der Berechnungsergebnisse Graue Treibhausgasemissionen für Lüftung und Kälteabgabe für die Gebäude. Zur Bewertungssystematik siehe Tabelle 19.

Farbcode: Grün = tiefe THGE für Lüftung und Kälteabgabe ($L + K$) ($< 0.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$), gelb = mittlere THGE für $L + K$ ($< 1.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$), rot = hohe THGE für $L + K$ ($> 1.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$).

	LuBo_Z1	ML_Z2	NL_man_Z2	LuBo_Z3	NL_auto_E1	NL_auto_L1	NL_auto_M1	FeLue_R1	NL_man_I1	NL_man_B1	ML_B1
Graue Treibhausgasemissionen Lüftung und Kühlung ($\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ a AE})$)	1.0	2.1	0.1	1.3	0.1	0.1	0.8	0.3	1.0	1.2	1.2
Bewertung low-tech THGE	● ●	●	● ● ●	●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ●	●	●



8 Übergreifende Bewertung low-tech Ansatz

8.1 Bewertung haustechnisches Konzept, Befragung Benutzende und Graue Treibhausgasemissionen (alle Gebäude)

Tabelle 76 zeigt die Bewertung für das Gebäudekonzept, die Ergebnisse der Befragung und die Grauen Treibhausgasemissionen (THGE). Nachfolgend sind die Gebäude in der Rangfolge sortiert:

1. NL_auto_E1: Dieses Gebäude erreicht in allen Kategorien gute Bewertungen, ausser bei der Befragung der Nutzenden.
2. FeLue_R1, NL_man_I2: Die Gebäude erreichen beide bei der Befragung der Nutzenden und bei den THGE (FeLue_R1), bzw. beim Lüftungskonzept gute Bewertungen (NL_man_I2).
3. NL_auto_L1: Bei diesem Gebäude konnte keine Befragung der Nutzenden durchgeführt werden. Da es vom Konzept her ähnlich wie NL_auto_E1 ist, ist eine vergleichbare Bewertung plausibel, aber nicht gesichert.
4. NL_man_Z2 (Gebäudeteil): Der Gebäudeteil mit natürlicher Lüftung erreicht aufgrund der Reduktion der Gebäudetechnik eine bessere Bewertung als der Teil mit mechanischer Lüftung (Rang 8).
5. NL_auto_M1, NL_man_Z4, ML_B1 (Gebäudeteil)
6. LuBo_Z1, NL_man_B1 (Gebäudeteil)
7. ML_Z2 (Gebäudeteil): siehe Punkt 4
8. LuBo_Z3

Der Abstand zwischen den ersten vier Rängen beträgt jeweils einen Punkt, ist also eher gering. Der Abstand zwischen Rang vier und fünf ist mit zwei Punkten etwas grösser.

Tabelle 76: Bewertung haustechnisches Konzept, Befragung Benutzende und Graue Treibhausgasemissionen (alle Gebäude)

	LuBo_Z1	ML_Z2	NL_man_Z2	LuBo_Z3	NL_auto_E1	NL_auto_L1	NL_auto_M1	NL_man_Z4	FeLue_R1	NL_man_I2	NL_man_B1	ML_B1
Konzept Heizen und Kühlen	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	-	●
Konzept Lüftung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Befragung	●	●	●	-	●	-	●	●	●	●	●	●
THGE Lüftung und Kühlung	●	●	●	●	●	●	●	-	●	●	●	●
Gesamtpunktzahl	5/12	4/12	8/12	2/12	11/12	9/12	7/12	6/12	10/12	10/12	5/12	6/12



8.2 Bewertung Messung Messgebäude

Bei den Messgebäuden werden die Ergebnisse der Kurzzeit- und der Langzeitmessungen in Winter und Sommer bewertet. Aus der Bewertung (Tabelle 77) lässt sich eine Rangfolge der Gebäude erstellen.

1. NL_auto_M1: Das Gebäude wird bei allen Messungen gut oder mittel bewertet.
2. ML_B1 (Gebäudeteil): Dieser Gebäudeteil wird geringfügig besser bewertet als NL_man_B1. Dies liegt an der Kurzzeitmessung mit offenen Fenstern im Sommer.
3. NL_auto_E1, NL_man_I2, NL_man_B1 (Gebäudeteil): Beide Gebäude und der Gebäudeteil werden ähnlich bewertet.

Der Abstand zwischen Rang eins zu Rang zwei und drei ist mit drei Punkten merklich. Der Abstand zwischen Rang zwei und drei ist mit einem Punkt klein.

Tabelle 77: Bewertung der Messergebnisse.

		NL_auto_E1	NL_auto_M1	NL_man_I2	NL_man_B1	ML_B1
Kurzzeitmessung	IEQ (GTC) Winter, Fenster zu	● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
	IEQ (GTC) Sommer, Fenster zu	● ● ¹	● ● ●	● ●	● ● ●	● ● ●
	IEQ (GTC) Winter, Fenster auf	●	● ●	●	●	●
	IEQ (GTC) Sommer, Fenster auf	● ● ¹	● ● ●	● ●	●	● ●
Langzeitmessung	IEQ (RT) Winter	● ● ●	● ● ●	● ●	● ●	● ●
	IEQ (RT) Sommer	● ●	● ● ●	● ●	●	●
	IDA (CO ₂) Winter	● ●	● ●	● ●	● ● ●	● ● ●
	IDA (CO ₂) Sommer	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
Gesamtpunktzahl		17/24	21/24	17/24	17/24	18/24

¹= für den Sommer liegen nur Messwerte von einem Raum vor.



8.3 Fazit Bewertungen

Die Bewertung erfolgt nach einem einfachen Prinzip mit drei Klassen, wobei die einzelnen Bewertungsthemen nicht gewichtet werden. Die Bewertung ist damit geeignet, um einen schnellen Überblick zu erhalten, welches Gebäude in welchem Bereich besonders vorteilhaft ist und wo noch Optimierungspotential liegt. Auch kann so gezeigt werden, ob einzelne Bereiche bei der zukünftigen Planung ein spezielles Augenmerk erfordern.

Bewertung haustechnisches Konzept, Befragung und THGE (alle Gebäude)

In diesen Bereichen wird das Gebäude NL_auto_E1 am besten bewertet, gefolgt vom Gebäude NL_man_I2 auf Platz zwei. Mit der selben Punktzahl auf Platz zwei liegt das Gebäude FeLue_R1, für das keine Messdaten vorliegen.

Detailbewertung:

- Konzept Heizen und Kühlen: nur zwei Gebäude verzichten auf ein aktives Heiz- und Kühlsystem (NL_auto_E1 und NL_auto_L1), zwei Gebäude und zwei Gebäudeteile (ML_Z2 und NL_man_B1) haben keine nennenswerten Reduktionen. Sechs Gebäude liegen dazwischen.
- Konzept Lüftung: Fünf Gebäude haben für die zentralen Flächen eine natürliche Lüftung (NL_auto_E1, NL_auto_L1, NL_auto_M1, NL_man_Z4 und NL_man_I2). Vier Gebäude weisen lediglich eine Reduktion der Lüftungskanäle auf. Im Mittelfeld liegt ein Gebäude und zwei Gebäudeteile (NL_man_Z2 und NL_man_B1) mit einer natürlichen Lüftung auf Teilflächen.
- Befragung der Benutzenden: hier schneiden zwei Gebäude und ein Gebäudeteil (FeLue_R1, NL_man_I2 und ML_B1) gut ab. Zwei Gebäuden weisen eher schlechte Ergebnisse auf, drei Gebäude und ein Gebäudeteil (NL_man_B1) liegen im Mittelfeld.
- THGE für Lüftung und Kühlung: Drei Gebäude und ein Gebäudeteil haben tiefe Werte (NL_auto_E1, NL_auto_L1, FeLue_R1 und NL_man_Z2), drei Gebäude haben hohe Werte. Drei Gebäude liegen dazwischen.

Bewertung Messung Messgebäude

Bei den Messungen nimmt das Gebäude NL_auto_M1 den ersten Platz ein. Dieses Gebäude ist bei der Bewertung des haustechnischen Konzeptes, der Befragung der Nutzenden und den Grauen THGE auf Rang 5.

Detailbewertung:

- Kurzzeitmessungen thermischer Komfort mit offenen und geschlossenen Fenstern: mit geschlossenem Fenster sind die Bewertungen im Winter und Sommer ähnlich. Wenig überraschend ist die Bewertung mit offenem Fenster im Winter bei drei Gebäuden schlecht, im Sommer ist die Bewertung insgesamt besser.
- Langzeitmessung thermischer Komfort Raumtemperatur: Hier ist die Bewertung im Winter mit zwei Gebäuden, die gut bewertet werden (NL_auto_E1 und NL_auto_M1), besser als im Sommer mit einer guten (NL_auto_M1), einer schlechten und zwei mittleren Bewertungen.
- Langzeitmessung Raumluftqualität (CO₂): Hier ist der Winter mit einem Gebäude (ML_NL_man_B1), das gut, und drei Gebäuden, die mittelmässig bewertet werden, kritischer als der Sommer, in dem alle vier Gebäude gut bewertet werden.

Bewertung Zusammenhang zwischen Grauen THGE für Lüftung und Kälteabgabe, Lüftungswärmeverlusten und Luftqualität im Winter

Bezogen auf die Messgebäude kann der Zusammenhang zwischen den Grauen THGE für Lüftung und Kälteabgabe, Lüftungswärmeverlusten und der Luftqualität analysiert werden (Tabelle 78). Die spezifischen Lüftungswärmeverluste mit Standardbelegung unterscheiden sich hauptsächlich durch die Unterteilung in Grossraumbüros (NL_auto_E1, NL_auto_E1) und Einzel- Gruppenbüros



(NL_auto_E1, NL_man_B1). Bezogen auf die Gebäude mit realer Nutzung ergibt sich das folgende Bild:

- NL_auto_E1: Das Gebäude mit den niedrigsten Grauen THGE liegt bei den Lüftungswärmeverlusten und bei der Luftqualität im mittleren Feld. Die reale Nutzung ist bei diesem Gebäude am tiefsten und es wird zeitweise an wenigen Arbeitsplätzen mit elektrischen Heizlüftern geheizt. Die Standardbelegung ist rund zwei- bis dreimal höher angesetzt als die reale Nutzung.
- NL_auto_M1: Mit mittelhohen Grauen THGE sind die Lüftungswärmeverluste hier niedrig und die Luftqualität mittel. Die reale Nutzung liegt bei diesem Gebäude um rund 30 % tiefer als die Standardbelegung.
- NL_auto_I1: Bei mittelhohen Grauen THGE können die Lüftungswärmeverluste hier hoch sein und die Luftqualität ist dabei im mittleren Bereich. Die reale Nutzung entspricht ungefähr der Standardbelegung.
- NL_man_B1: Hier sind die Grauen THGE hoch, die Lüftungswärmeverluste können hoch sein, wobei die Luftqualität gut ist. Die reale Nutzung entspricht ungefähr der Standardbelegung.

Die Betrachtung der Parameter im Zusammenhang zeigt für das Forschungsprojekt, dass niedrige Graue THGE mittelhohe Lüftungswärmeverluste und eine mittlere Luftqualität mit sich bringen. Graue THGE im mittleren Bereich können mit tiefen bis hohen Lüftungswärmeverlusten einhergehen, wobei die Luftqualität im mittleren Bereich ist. Hohe Graue THGE stehen hier neben hohen Lüftungswärmeverlusten, wobei die Luftqualität gut ist. Auch wenn nur die Grauen THGE für die Lüftung betrachtet werden, lassen sich die gleichen Rückschlüsse ziehen.

Da die Belegung aller Messgebäude, vor allem der Grossraumbüros, eher tief ist, sind diese Erkenntnisse nicht zu verallgemeinern.

Tabelle 78: Berechnungsergebnis Graue THGE für Lüftung und Kälteverteilung, für die Lüftungswärmeverluste und die Luftqualität im Winter (berechnet und gemessen). Farbcode Graue THGE und IDA (CO₂) gemäss Kapitel 3.7.

	Graue THGE Lüftung und Kälteverteilung. Wert in (): nur Lüftung	Standardbelegung		Reale Belegung	
		Spezifischer Lüftungswärme- verlust im Winter mit Standard- belegung	IDA (CO ₂) berechnet	Spezifischer Lüftungswärme- verlust im Winter mit realer Belegung	IDA (CO ₂) gemessen
	(kg/(m ² a AE))	(kWh/m ² a)	-	(kWh/m ² a)	-
NL_auto_E1	0.1 (0.1)	10.8	2	4.6	2
NL_auto_M1	0.8 (0.6)	10.4	2	1.7	2
NL_man_I1	1.0 (0.8)	8.6 – 9.1	2	0.2 – 7.8	2
NL_man_B1	1.2 (1.2)*	7.8 – 8.4	2	0.8 – 7.9	1

* = Kälteverteilung im Flur über Lüftungskanäle



9 Publikationen

Ein Beitrag mit dem Titel «Audit of low-tech ventilation systems in office buildings» wurde auf der cisbat 2025 präsentiert und publiziert [35].

10 Dank

Die Finanzierung des Projektes erfolgt über das Bundesamt für Energie (BFE, Vertragsnummer SI/502516-01).

Der Dank geht an die Gebäudebenutzenden, die an der Befragung teilgenommen haben und an die Gebäudebesitzer und Gebäudeverwaltungen, die einer Teilnahme am Forschungsprojekt zugestimmt haben. Besonderer Dank geht auch an die Gebäudebesitzer und Gebäudeverwaltungen der vier Messgebäude!

Wir danken unserer Begleitgruppe für die wertvollen und konstruktiven Hinweise zum Projekt. Die Begleitgruppe bestand aus den folgenden Fachpersonen:

- Viktor Dorer, ehemals Empa
- Beat Frei, Frei Wüest Expert
- Heinrich Huber, ehemals HSLU
- Martin Ménard, Low-Tech Lab

Wir danken der Firma Enerhaus Web Services GmbH für die Erlaubnis die Software "Enerweb" zur Berechnung der Grauen Treibhausgasemissionen zu Forschungszwecken unentgeltlich zu nutzen.

11 Literaturverzeichnis

- [1] SIA 382/1: 2025, *Mechanische Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen*. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2025, pp. 1–232.
- [2] SIA 382/5:2021, *Mechanische Lüftung in Wohngebäuden*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2021, pp. 1–72.
- [3] Partner des Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein Projekts, Ed., *Low-Tech Gebäude - Prozess Planung Umsetzung*, 1st ed. Weiler: Energieinstitut Vorarlberg, 2021.
- [4] (BFE) Bundesamt für Energie, "Gebäudepark 2050 - Vision des BFE," Bern, 2022.
- [5] SIA 416:2003, *Flächen und Volumen von Gebäuden*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2003, pp. 1–60.
- [6] Tivian XI GmbH, "EFS Survey." [Online]. Available: <https://www.unipark.com/umfragesoftware/>
- [7] K. Völkl and C. Korb, *Deskriptive Statistik - Eine Einführung für Politikwissenschaftlerinnen und Politikwissenschaftler*, 1st ed. Heidelberg: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Springer VS), 2018.
- [8] F. Brosius, *SPSS - Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse*, 8th ed. Frechen: mitp-Verlags GmbH & Co. KG, 2018.
- [9] J. Cohen, "A Power Primer," *Psychological Bulletin PsycARTICLES*, vol. 112, no. 1, pp. 155–159, 1992.



- [10] C. Hoffmann, A. Geissler, C. Hauri, H. Huber, and A. Primas, "FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung - ist der Einsatz erfolgreich?," Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2021.
- [11] SN EN ISO 7730:2006, *Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*. 2006.
- [12] SIA 382/1:2014, *Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2014, pp. 1–82.
- [13] SIA 180:2014, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2014, pp. 1–72.
- [14] SIA 380/1:2016, *Heizwärmebedarf*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2016, pp. 1–60.
- [15] SIA 2024:2021, *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2021, p. 80.
- [16] SN EN 16798-7:2017, *Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5)*. Schweiz, 2017, pp. 1–61.
- [17] L. Tschümperlin, R. Frischknecht, K. Pfäffli, M. Schultheiss, K. Knecht, and A. Edelmann, "Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude- Ergänzungsarbeiten mit Fokus auf den Einfluss der Technisierung auf die Umweltbelastung von Büro- und Wohnbauten," Bern, 2016.
- [18] KBOB / ecobau / IBP, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009 / 1:2022, Version 3*. Schweiz, 2022.
- [19] SIA 2032:2020, *Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020, pp. 1–44.
- [20] M. Klingler, U. Kasser, D. Savi, A. Primas, Y. Stettler, and P. Gujer, "Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen - Sach- und Ökobilanzen von sechzehn verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen, Büro, Schulen und Altersheime," Bern, 2014.
- [21] D. Bionda, G. Settembrini, and S. Doningo, "SYGREN - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik," Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2021.
- [22] K. Voss, G. Löhnert, S. Herkel, and M. Wambsgans, *Bürogebäude mit Zukunft: Konzepte - Analysen - Erfahrungen*, 2nd ed. Berlin: Solarpraxis, 2006.
- [23] European Commission, *Annex to the Communication to the Commission Approval of the content of the draft Commission Notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2024/1275*. 2025, pp. 1–36.
- [24] M. Humphreys, "Outdoor temperatures and comfort indoors," *Batiment International, Building Research and Practice*, vol. 6, no. 2, pp. 92–92, Jan. 1978, doi: 10.1080/09613217808550656.
- [25] R. de Dear and G. Schiller Brager, "The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment," *Int J Biometeorology*, no. 45, pp. 100–108, Apr. 2001.
- [26] R. J. De Dear and G. S. Brager, "Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55," *Energy Build*, vol. 34, pp. 549–561, 2002.
- [27] R. F. Rupp, J. Kim, E. Ghisi, and R. de Dear, "Thermal sensitivity of occupants in different building typologies: The Griffiths Constant is a Variable," *Energy Build*, vol. 200, pp. 11–20, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.07.048.
- [28] S. Lüthi and P. Schnorf, "Büroflächennachfrage in Zeiten struktureller Veränderungen," <https://www.wuestpartner.com/ch-de/2025/01/13/bueroflaechennachfrage-in-zeiten-struktureller-veraenderungen/#infobox>.
- [29] I. Uriarte, A. Erkoreka, A. Legorburu, K. Martin-Escudero, C. Giraldo-Soto, and M. Odriozola-Maritorea, "Decoupling the heat loss coefficient of an in-use office building into its



- transmission and infiltration heat loss coefficients,” *Journal of Building Engineering*, vol. 43, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102591.
- [30] Minergie 2023.2, *Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen beim Minergie Zusatzprodukt ECO*. Schweiz: Minergie-ECO, 2023, pp. 1–18.
- [31] F. Wyss, R. Frischknecht, K. Pfäffli, and V. John, “Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude,” Bundesamt für Energie, Bern, 2014.
- [32] C. Hoffmann, C. Hauri, and A. Primas, “Audit of low-tec ventilation systems in office buildings,” *J Phys Conf Ser*, no. 3140, Nov. 2025, doi: 10.1088/1742-6596/3140/9/092010.
- [33] SIA V 382/1:1992, *Technische Anforderungen an Lüftungstechnische Anlagen*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 1992, pp. 1–39.
- [34] SN EN ISO 7726:2001, *Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Grössen*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2001, pp. 1–65.
- [35] SN EN 16798-1:2019/NE 2023-07, *Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparemeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Module M1-6*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2019, pp. 1–115.
- [36] SIA 181:2020, *Schallschutz im Hochbau*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2020, pp. 1–40.



12 Anhang

12.1 Übersicht Lüftungskonzept und passive Kühlung Untersuchungsgebäude

Tabelle 79: Lüftungskonzepte. Verwendete Abkürzungen: OS = Open Space, SiZi = Sitzungszimmer / Besprechungsraum, A = Abluftanlage, EA = Einfache Abluftanlage, AA = Abluftanlage mit Abwärmenutzung, ZML = Zentrale mechanische Lüftung, NL = Natürliche Lüftung, FLM = Fensterlüftung, manuell, FLA = Fensterlüftung, automatisiert, AWN = Abwärmenutzung, WRG = Wärmerückgewinnung.

Gebäude	Raum-konzept	Konzept Lüftung	WRG /AWN Lüftung?	Betriebskonzept	Hybride Lüftung?
LuBo_Z1	OS, mit separaten SiZi als Einzelraum oder Raum-in-Raum-Box in OS Fläche	AA: Über Luftboxen in Fassade wird Zuluft vorgewärmt / gekühlt und in den Raum gebracht. In geschlossenem SiZi Überströmer in Gang (Abluftzone). Zentraler Abluftventilator erzeugt Unterdruck. Keine NL	AWN über WP	Nachtabenkung 22 – 5 Uhr. Thermostat Luftbox muss saisonal umgestellt werden.	nein
ML_NL_man_Z2	Meist OS mit geschlossene n SiZi	Es gibt Flächen mit ZML und Flächen nur mit NL (FLM, FLA). Bei ZML wird Luft meist an zentraler Stelle eingebracht und im Bereich Teeküche wieder abgezogen.	WRG	ZML: 7 bis 19 Uhr oder 24 h, je nach Mieter	Ja. Gebäudeteile mit ML und NL. Nachtlüftung über NL
LuBo_Z3	OS mit separaten SiZi als Einzelraum oder Raum-in-Raum-Box in OS Fläche	AA: Luft wird über Luftboxen mit integriertem Ventilator in Fassade angesaugt, dort konditioniert und in den Raum gebracht. Absaugung im selben Raum. In geschlossenem SiZi Überströmer in Gang. Zentraler Abluftventilator.	AWN zentral über WP (zur Temperierung Zuluft Luftbox	6 – 20 Uhr: 100 %, nachts 20 – 30 %	nein
NL_auto_E1	OS, mit separaten SiZi.	NL mit FLM und FLA. Pro Fenster ein Flügel FLA. EA in WC	Nein	Regelung FLA zonenweise (4 je Geschoss) mit Querlüftung. CO ₂ tagsüber. Winter: 1200 ppm auf, 800 zu; Sommer: 800 ppm auf, 600 zu. Dauer ca. 15'	Ja. EA in WC (Steuerung über Licht)
NL_auto_L1	OS	NL mit FLM und FLA. Pro Fenster ein Flügel FLA. EA in WC	Nein	Regelung FLA raumweise. CO ₂ tagsüber. Winter: 1200 ppm auf, 800 zu; Sommer: 800 ppm auf, 600 zu. Dauer 15 – 60' je nach Mieter.	Ja. EA in WC
NL_auto_M1	OS, mit separaten SiZi.	NL über FLA. ZML nur in Räumen ohne Fenster. SiZi haben einen Ventilator oder Dachfenster	ZML: WRG, NL: nein.	Open Space: Sommer: FLA über Temperatur, Winter: FLA dreimal am Tag. Meetingräume: FLA über CO ₂ . 1200 ppm auf, 800 zu.	Ja. Räume ohne Fenster haben z. T ZML oder einen Ventilator.



Gebäude	Raum-konzept	Konzept Lüftung	WRG /AWN Lüftung?	Betriebskonzept	Hybride Lüftung?
NL_man_Z4	EG, 1. & 2. OG OS, 3. OG Einzelbüros	NL über FLM, WC und Kopierräume mit A	Nein	Nachauskühlung über Security-Person	Ja, A in WC.
FeLue_R1	Meist OS, mit separaten SiZi.	A: Fensterlüfter oberhalb Fenster. Zeitgesteuerte A erzeugt Unterdruck. Wg. Komfortproblemen Luftmenge auf ca. 20 – 25 % reduziert. Optimiert hinsichtlich ausreichender AWN. NL: FLM optional	AWN Abluft mit WP	ML AA Winter: 6 - 7, 10 – 10:30, 12 - 13, 17 - 18 Uhr. Nachts: aus. ML AA Sommer: meist ganztätig, nachts aus.	Nein.
NL_man_I1	Büros (1 – 6 AP), Vorzonen und SiZi im Kern	NL: Pro Büroraum 1-3 Flügel für FLM + Flügel für FLA nachts. ZML: WC, SiZi, EG + Lager	ZML mit WRG	FLA Nachtlüftung über Temperatur-differenz (Sommer). ML über Präsenz + teilweise RLQ.	Ja. Gebäudeteile NL und Teile ZML
NL_man_I2	Büros (1 – 4 AP), Vorzonen und SiZi im Kern bei Innenhöfen	ZML: WC, SiZi, Cafeteria + Lager	ZML mit WRG	dito	dito
ML_NL_man_B1	Büroräume (1 – 3 AP) und OS	ZML: OS Bereiche und Büroräume ohne Aussenfenster. NL: Büros über FLM (bzw. u.U. über offene Bürotür)	ZML Büros + SiZi mit WRG, A WC ohne WRG.	ML über Zeitprogramm (Büros 7 – 17 Uhr), Regelung Zulufttemperatur abhängig von Ablufttemperatur	Ja. Gebäudeteile NL und Teile ZML.

Tabelle 80: Nachtlüftung und Sonnen- und Blendschutz. Verwendete Abkürzungen: SoSch = Sonnenschutz, BISch = Blendschutz, man. = manuell, autom. = automatisch, NE = Nutzereingriff.

Gebäude	Nachtlüftung		Sonnen- und Blendschutz	
	Konzept	freier Querschnitt Lüftungsflügel	Sosch / BISch	Betrieb Tag / Nacht / WE
LuBo_Z1	-		Schwarzer Rafflamellenstore aussen / -	Man / autom. zu / autom. zu
ML_NL_man_Z2	FLA alle Gebäudeteile (1 – 5 Uhr, wenn Sommertag (= 48h > 22°C))	0.6 m ² (bei max. Öffnung 45°)	Grauer, transluzenter Stoffrollo aussen / -	Autom. + NE / - / autom. zu
LuBo_Z3	-		metallischer Rafflamellenstore aussen / -	Autom. + NE / - / autom. zu
NL_auto_E1	FLA wenn abends 24°C T _e und T _e < T _i Regen ist kein Problem für FLA (bei starkem Wind/ Sturm schliessen die Fenster). Im DG bei Regen auch.	0.176 m ² (bei max. Öffnung 30°)	/ Blendschutzvorhang	-



Gebäude	Nachtlüftung		Sonnen- und Blendschutz	
	Konzept	freier Querschnitt Lüftungsflügel	Sosch / BISch	Betrieb Tag / Nacht / WE
NL_auto_L1	FLA wenn abends $24^{\circ}\text{C } T_e$ und $T_e < T_i$	0.276 m ² (bei max. Öffnung 30°)	- / -	-
NL_auto_M1	FLA im Sommer über Temperatur. Daher FLM über beauftragte Person im Sommer um 04:00 Uhr	0.39 m ² (bei max. Öffnung 30°), Aussenfilter 0.22 m ²	Weisser Stoffrollo aussen / -	Autom. + NE / autom. zu / autom. zu
NL_man_Z4	FLM (beauftragte Person) im Sommer nachts	Kippflügel: 0.57 m ² (bei Öffnung 25°), Fensterflügel 0.75 m ² (bei Öffnung 55°)	Grauer Rafflamellenstore aussen / z.T. Stofflamellenstoren	Autom. + NE / autom. zu / autom. zu
FeLue_R1	-		Schwarzer Rafflamellenstore aussen / -	Autom. + NE / autom. zu / autom. + NE
NL_man_I1 + _I2	FLA Temperaturregelung Differenz T_e zu T_i	Aut. Kippflügel: 0.15 m ² für Nachtlüftung (Öffnung 15°). Man. Fensterflügel 0.93 m ² (bei Öffnung 90°) bzw. ca. 0.1 m ² in Kippstellung	Helle Textilmarkise aussen / Rollo	Sommer autom. + Winter auf / - / Sommer autom.+ + Winter auf
ML_NL_man B1	-			
NL_man_B1	Manuell möglich		Altbau: helle Textilmarkise /	Autom. + NE / autom. auf / autom.
ML_B1			Schwarzer Rafflamellenstore / -	Autom. / autom. zu / autom.



12.2 Fragebögen Winter

Bemerkung: Alle *roten* Textteile werden für die Gebäude angepasst.

Nutzer:innenbefragung – Einfache Lüftungen in Bürogebäuden

Liebe Nutzende der Liegenschaft xxx

Sie arbeiten in einem Gebäude, das über eine Kombination aus...*z. B. Fensterlüftung und einer Abluftanlage verfügt. Kurze Beschreibung des Konzeptes. Z. B: Im Gebäude gibt es eine automatische Fensterlüftung mit CO₂-Steuerung. In den WC gibt es eine Abluftanlage.*

*Bild des Lufteintritts in den Raum:
Fensterlüfter, ALD, Luftbox.:*

Durch diese Öffnung kommt Frischluft in das Büro.

Die Fragen 6 (im Winter 6, 7, 8) beziehen sich auf diese Lüftungsöffnung.

Diese Art von Lüftungsanlagen untersuchen die beiden Hochschulen FHNW und HSLU in einem vom Bundesamt für Energie geförderten Forschungsprojekt. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, wie sich diese Art der Lüftung in der Praxis bewährt. Neben Messungen interessieren uns auch **Ihre praktischen Erfahrungen mit diesen Lüftungen und Ihre Meinung dazu**. Daher wenden wir uns in Absprache mit der *Hausverwaltung* mit dieser Befragung an Sie. Die Fragen beziehen sich auf diesen Sommer, in einigen Monaten wird noch eine kurze Befragung für den Winter 2023/24 folgen. *Parallel dazu werden noch Messungen des Raumklimas und zum Luftwechsel durchgeführt*. Ihr Arbeitgeber hat die Durchführung beider Befragungen genehmigt, *die Messungen sind mit dem Gebäudeeigentümer abgesprochen*.

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

Die Beantwortung der Fragen dauert 5 bis 10 Minuten. **Bitte füllen Sie die Befragung online bis zum *XX.XX.2024* aus.**

Dies ist der Link: *xxxxx*

Ihre Angaben werden anonym erhoben. Falls Sie Angaben zur Lage Ihres Büros (Stockwerk, Anzahl Personen) machen möchten, so ist dies für uns hilfreich. Generell werden keine Daten an Ihren Arbeitgeber, die Verwaltung oder den Gebäudeeigentümer weitergegeben.

Die ausgewerteten Befragungen von allen 10 Gebäuden werden zu Forschungszwecken verwendet. Die Daten für jedes Gebäude werden mit einer Ortskennzeichnung des Gebäudes (z. B. «ZH», «BE») zusammengefasst im abschliessenden Forschungsbericht und in Fachartikeln publiziert. Es werden keine Angaben zum Arbeitgeber oder einzelnen Datensätze veröffentlicht.

Herzlichen Dank schon jetzt für Ihr Engagement!

Dr. Ing. Caroline Hoffmann
Projektleiterin

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



Fragebogen - Einfache Lüftungen in Bürogebäuden: Winterbefragung

In den nachfolgenden Fragen geht es um die Lüftung in Ihrem Büro im Winter

Alle Gebäude:

1. Wie oft öffnen Sie oder jemand anderes im Raum die Fenster zum Lüften im Winter?
Wenn sich die Fenster automatisch öffnen, bitte die Frage für die automatische Öffnung beantworten.

nie	1 - 2 mal pro Tag	3 - 4 mal pro Tag	5 - 6 mal pro Tag	> 6 mal pro Tag
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Wie lange sind die Fenster zum Lüften im Winter geöffnet?
Wenn sich die Fenster automatisch öffnen, bitte die Frage für die automatische Öffnung beantworten.

1 - 5 Minuten	6 - 10 Minuten	10 - 20 Min.	20 - 60 Min.	> 1 Stunde
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

nie		manchmal		immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

Kippstellung nicht möglich	Büro	Besprechung	Sonstige	Bad/WC	Teeküche
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Spüren Sie im Winter in der Nähe der geschlossenen Fenster Zugluft?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Spüren Sie im Winter an Ihrem Arbeitsplatz sonst Zugluft?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Nur Gebäude mit automatischer/manueller Fensterlüftung:

7. Wie ist der Lüftungsflügel im Winter beim Lüftungsvorgang geöffnet?

voll geöffnet	Zwischenstellung	Spaltbreit	nicht öffenbar	defekt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Spüren Sie in der Nähe des geöffneten Lüftungsflügels Zugluft?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nur Gebäude mit Lufteinlass in der Wand/Boden:

6. Wie ist die Lüftungsöffnung (siehe Foto Anschreiben) im Winter eingestellt?

nicht von uns verändert	manuell voll geöffnet	Zwischenstellung	manuell geschlossen	abgeklebt / zugestellt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Spüren Sie in der Nähe der Lüftungsöffnung (siehe Foto Anschreiben) Zugluft?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nur Gebäude mit Luftbox:

6. Wie ist das Lüftungsgerät (siehe Foto Anschreiben) im Winter eingestellt?

nicht von uns verändert	manuell voll geöffnet	Zwischenstellung	manuell geschlossen	abgeklebt / zugestellt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Spüren Sie in der Nähe des Lüftungsgerätes (siehe Foto Anschreiben) Zugluft?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Alle Gebäude:

8. Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität im Büro (Frische, Düfte, etc.) im Winter?

unzufrieden	etwas unzufrieden	mittelmässig	etwas zufrieden	zufrieden
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Wie empfinden sind Sie die Luftfeuchtigkeit im Büro im Winter?



zu feucht	etwas zu feucht	angenehm	etwas zu trocken	zu trocken
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Wie empfinden Sie die Temperatur im Büro im Winter?

zu kalt	etwas zu kalt	angenehm	etwas zu warm	zu warm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In den nachfolgenden Fragen geht es allgemein um die Lüftung in Ihrem Büro

11. Wurden Sie über das gewünschte Lüftungsverhalten in ihrem Gebäude im Winter informiert?

nein	teilweise	ja
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen im Winter als Störung wahr?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



13. Wie oft fühlen Sie sich durch die Geräusche, die von der Lüftung verursacht werden im Winter (Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) gestört?

nie selten manchmal oft immer

14. Gibt es irgendwo im Büro Schimmelpilz?

nein ja, im Büro ja, in einem sonstigen Raum ja, in der Teeküche ja, im WC Ist mir nicht bekannt

15. Wie zufrieden sind Sie mit der Aufenthaltsqualität an Ihrem Arbeitsplatz im Allgemeinen?

unzufrieden etwas unzufrieden mittelmässig etwas zufrieden zufrieden

16. Wünschen Sie sich mehr Einfluss auf die Lüftung?

nie selten manchmal oft immer

17. Würden Sie ein ähnliches Lüftungskonzept für andere Bürogebäude weiterempfehlen?

nein eventuell ja

Gibt es Gründe für Ihre Einschätzung?



Zum Schluss noch einige Fragen zu Ihnen selber

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

☺		☹		☹
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Wie alt sind Sie?

Unter 20 Jahre	21 – 30 Jahre	31 – 40 Jahre	41 – 50 Jahre	51 – 60 Jahre	61 – 70 Jahre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. Welches Geschlecht haben Sie?

Männlich	Weiblich	Divers
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Wie lange arbeiten Sie bereits in diesem Gebäude?

< 1 Jahr	1 - 2 Jahre	3 - 5 Jahre	5 - 10 Jahre	>10 Jahre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. Auf welchem Stockwerk arbeiten Sie?

Stockwerk: _____

23. Mit wie vielen Personen teilen Sie Ihr Büro?

Anzahl (mit Ihnen): _____

Bemerkungen/Ergänzungen:



12.3 Fragebögen Sommer

Im Sommer wird eine separate Befragung durchzuführen. Das Anschreiben aus der Winterbefragung wird mit kleinen Anpassungen ein zweites Mal verschickt.

In den nachfolgenden Fragen geht es um die Lüftung in Ihrem Büro im Sommer

Alle Gebäude:

1. Wie oft öffnen Sie oder jemand anderes im Raum die Fenster zum Lüften im Sommer?
Wenn sich die Fenster automatisch öffnen, bitte die Frage für die automatische Öffnung beantworten.

nie	1 - 2 mal pro Tag	3 - 4 mal pro Tag	5 - 6 mal pro Tag	> 6 mal pro Tag
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Wie lange sind die Fenster bei jedem Lüftungsvorgang im Sommer geöffnet?
Wenn sich die Fenster automatisch öffnen, bitte die Frage für die automatische Öffnung beantworten.

1 - 5 Minuten	6 - 10 Minuten	10 - 20 Min.	20 - 60 Min.	> 1 Stunde
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Wie wird der Sonnenschutz im Sommer genutzt?

Nicht vorhanden	Ist automatisch geregelt	Wird manuell oft bedient	Wird manuell ab und zu bedient	Wird manuell nicht bedient	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Hat die Position des Sonnenschutzes (offen/geschlossen) einen Einfluss darauf, ob Sie das Fenster öffnen?

nie	selten	manchmal	oft	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nur Gebäude mit automatischer/manueller Fensterlüftung:

6. Wie ist der Lüftungsflügel im Sommer tagsüber beim Lüftungsvorgang geöffnet?

voll geöffnet	Zwischenstellung	Spaltbreit	nicht offenbar	defekt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Nur Gebäude mit Lufteinlass in der Wand/Boden:

6. Wie ist die Lüftungsöffnung (siehe Foto Anschreiben) im Sommer eingestellt?

nicht von uns verändert	manuell voll geöffnet	Zwischenstellung	manuell geschlossen	abgeklebt / zugestellt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nur Gebäude mit Luftbox:

6. Wie ist das Lüftungsgerät (siehe Foto Anschreiben) im Sommer eingestellt?

nicht von uns verändert	manuell voll geöffnet	Zwischenstellung	manuell geschlossen	abgeklebt / zugestellt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Alle Gebäude

8. Wie wird die Nachtlüftungsfunktion im Sommer genutzt?

Nicht vorhanden	Ist automatisch geregelt	Wird oft genutzt	Wird ab und zu genutzt	Wird nicht genutzt	Ist mir nicht bekannt
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



9. Wie wirkt sich die Nachtlüftungsfunktion im Sommer auf die Raumtemperatur morgens aus. Wie ist die Temperatur, wenn Sie morgens in's Büro kommen?

zu kalt etwas kalt angenehm etwas warm zu warm

10. Wie zufrieden sind Sie mit der Luftqualität im Büro (Frische, Düfte, etc.) im Sommer?

unzufrieden etwas unzufrieden mittelmässig etwas zufrieden zufrieden

11. Wie empfinden sind Sie die Luftfeuchtigkeit im Büro im Sommer?

zu feucht etwas zu feucht angenehm etwas zu trocken zu trocken

12. Wie empfinden Sie die Temperatur im Büro im Sommer?

zu kalt etwas kalt angenehm etwas warm zu warm

In den nachfolgenden Fragen geht es allgemein um die Lüftung in Ihrem Büro

13. Wurden Sie über die Art der Lüftung in Ihrem Gebäude informiert?

nein teilweise ja

14. Wurden Sie über das gewünschte Lüftungsverhalten im in ihrem Gebäude im Sommer informiert?

nein teilweise ja

15. Wie oft nehmen Sie Geräusche von aussen im Sommer als Störung wahr?

nie selten manchmal oft immer

16. Wie oft fühlen Sie sich durch die Geräusche, die von der Lüftung verursacht werden, im Sommer (Fensteröffnung, Ventilatoren etc.) gestört?

nie selten manchmal oft immer



Zum Schluss noch einige Fragen zu Ihnen selber

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

☺		☹		☹
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18. Wie alt sind Sie?

Unter 20 Jahre	21 – 30 Jahre	31 – 40 Jahre	41 – 50 Jahre	51 – 60 Jahre	61 – 70 Jahre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Welches Geschlecht haben Sie?

Männlich	Weiblich	Divers
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. Wie lange arbeiten Sie bereits in diesem Gebäude?

< 1 Jahr	1 - 2 Jahre	3 - 5 Jahre	5 - 10 Jahre	>10 Jahre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Auf welchem Stockwerk arbeiten Sie?

Stockwerk: _____

22. Mit wie vielen Personen teilen Sie Ihr Büro?

Anzahl (mit Ihnen): _____

Bemerkungen/Ergänzungen:



12.4 Befragung Planende

Wie wurden Sie als Planer:in in den Planungsprozess integriert (z. B. ab/bei welcher SIA-Phase)?

Bei sechs Gebäuden waren alle Planer:innen ab SIA-Phase 02 eingebunden. Bei LuBo_Z3 waren die Planer ab Phase 3 und 4 beteiligt.

Wie wurde die Lüftung dimensioniert? Welche Planungsinstrumente (Normen, Excel-Tabellen, Simulationsinstrumente) wurden in welcher Planungsphase verwendet?

Die Dimensionierung der Lüftung unterscheidet sich von Gebäude zu Gebäude. Grob kann zwischen drei Gebäuden, bei denen die Lüftung kennwert- und vier Gebäuden, bei denen die Lüftung simulationsbasiert dimensioniert wird, unterschieden werden.

- In einem Gebäude wird die Lüftung mit Erfahrungswerten auf der Basis eigener Exceltabellen eher knapp ausgelegt und teilweise eine Unterversorgung in Kauf genommen (LuBo_Z1, SIA-Phase 2). Mit norm-, bzw. labelbasierten Kennzahlen werden die Lüftungen in zwei weiteren Gebäuden ausgelegt (LuBo_Z3 gemäss SIA V 382/1:1992 auf 30 m^3 bei 10 m^2 / Person [36], SIA-Phase 3 und 4, FeLue_R1 gemäss Minergie «Vorgaben» auf 25 m^3 / Person, SIA-Phase 2).
- In zwei Gebäuden (identischer Planer) wird die Lüftung in SIA-Phase 2 mit Erfahrungswerten, Kennzahlen und in SIA-Phase 3 mit Ergebnissen aus thermisch dynamischen Simulationen mit Energy Plus ausgelegt (NL_auto_E1, NL_auto_L1). Bei einem weiteren Gebäude wird die Lüftung ausschliesslich mittels Simulationen mit IDA-ICE ausgelegt (NL_auto_M1, SIA-Phase 2). Bei einem anderen Gebäude (ML_NL_man_Z2, SIA-Phase 2) gibt es nach einer ersten Planung ohne Grundlüftung nun eine Grundausbau-Lüftung ($6.5 \text{ m}^3/\text{h}$ pro m^2) bei 5.5 m Raumhöhe. Wird durch Einzug einer weiteren Ebene die Mietfläche erhöht, kann auch hier eine Unterversorgung entstehen. Für die Betrachtung des sommerlichen Raumklimas wurde bei diesem Gebäude eine Simulation erstellt und damit dann auch Varianten der Nachtlüftung über die automatischen Fensterflügel untersucht.

Mit welchen internen Lasten wurde geplant?

Die internen Lasten können seit 2006 nach SIA 2024 «Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik» bestimmt werden. Die Fassungen aus beiden Jahren unterscheiden sich nur in einem Punkt: im älteren Merkblatt wird eine grössere Spannweite für die Personenflächen und damit auch für die internen Lasten und den Aussenluftvolumenstrom angegeben. Vor dem Jahr 2006 waren Grundlagen für die Erstellung eigener Lastprofile in SIA V 382/2:1992 zu finden. Das einzige Gebäude, das vor 2006 geplant wurde (LuBo_Z1, Tabelle 1), verwendet für die Festlegung der internen Lasten Erfahrungswerte. Bei sechs Gebäuden waren die Ausgaben von SIA 2024 der Jahre 2006 und 2015 zutreffend. Davon werden vier Gebäude auf der Basis der SIA-Werte geplant, bei einem Gebäude (NL_auto_M1) wird noch zusätzlich eine eigene Aufstellung der geplanten Geräte vorgenommen. Bei einem Gebäude wird von einer Personenfläche von 12 m^2 ausgegangen (ML_NL_man_Z2). Das ist daher nachvollziehbar, da hier ja durch die Mieter noch eine zusätzliche Geschossebene eingezogen werden kann. Bei einem Gebäude wird die Frage nicht beantwortet.

Wie wurde mit dem Thema Lärmschutz im Zusammenhang mit der Fensterlüftung umgegangen?

Drei Gebäude haben Lüftungsöffnungen, die permanent offen sind. Bei zwei Gebäuden sind dies Luftboxen (LuBo_Z1 und ZH_03). Hier sind Schallschutzelemente eingebaut. Beim Gebäude ZH_03 wurden diese mittels Messungen überprüft. Beim dritten Gebäude mit permanenten Öffnungen (FeLue_R1 mit Fensterlüftern) wird der Umgebungslärm als gering eingeschätzt. Dies ist auch bei vier Gebäuden mit Lüftungsflügeln der Fall, sodass keine speziellen Massnahmen getroffen wurden.

Gibt es eine Nutzervereinbarung?

Bei vier Gebäuden gibt es laut der Planer:innen explizit keine Nutzervereinbarung (FeLue_R1, NL_auto_L1, ML_NL_man_Z2 und NL_auto_M1). Bei zwei Gebäuden davon gibt es aber



Dokumentationen, die Bestandteil einer Nutzervereinbarung sein könnten: beim Gebäude ML_NL_man_Z2 ist dies eine Schnittstellenliste für technische Anlagen in den drei Gebäudetrakten und beim Gebäude NL_auto_M1 ein Pflichtenheft Technik, das Raumanforderungen (mit internen Lasten) definiert.

Bei zwei Gebäuden gibt es eine Nutzervereinbarung. Im Gebäude ZH_03 wird ein Baubeschrieb mit definierten Lasten und Belegung als Nutzervereinbarung verstanden. Eine klassische Nutzervereinbarung gibt es im Gebäude NL_auto_E1. Diese wurde dem Immobilienbesitzer zur Verfügung gestellt, mit der Empfehlung die Vorgaben und Anforderungen an die Mieter weiterzugeben.

Wie wurde die Abnahme der Lüftungsanlage / des Lüftungskonzeptes gestaltet?

Die Abnahme erfolgt bei fünf Gebäuden über die jeweiligen Unternehmer, bzw. Lieferanten der entsprechenden Komponente (Fensterlüfter, Lüftungsflügel etc.). Im Sinne eines Betriebsnachweises wird die Funktion bei zwei Gebäuden NL_auto_E1 und NL_auto_L1 (identischer Planer) nachgewiesen. Die Einregulierungsphase dauert ein Jahr, wird über das laufende Monitoring realisiert und ist im Honorar enthalten.

Tabelle 81: Angaben zu dem Planer:innen-Interviews.

Abkürzung	Durchführung?	Grund Absage
LuBo_Z1	Tel. 19.06.2023	
ML_NL_man_Z2	Mail, 19.06.2023	
LuBo_Z3	Mail, 15.06.2023	
NL_auto_E1	Mails, 15. und 16.06.2023	
NL_auto_L1	Mails, 15. und 16.06.2023	
NL_auto_M1	Tel. 30.06.2023	
NL_man_Z4		Keine Antwort
FeLue_R1	Tel. 21.06.2023	
NL_man_I1+ I2		Zu lange her
ML_NL_man_B1		Zu lange her

12.5 Dokumentation Messungen

12.5.1 Eingesetzte Messgeräte

Tabelle 82: Eingesetzte Messtechnik, Verwendete Abkürzungen: k = Kurzzeitmessung, l = Langzeitmessung, v.M = vom Messwert.

Messung	k/l	Messort	Zeitintervall	Messgerät / HP Nummer (Akkreditierungsnummer)	Messunsicherheit
Volumenstrom (Zu- und Abluft)	k	Mech. Zu- und Abluft Überströmungen	-	FlowFinder 1.08 HP 455	>20 m ³ /h ± 4 m ³ /h 20-50 m ³ /h ± 5%, min. 2 m ³ /h



Messung	k/l	Messort	Zeitintervall	Messgerät / HP Nummer (Akkreditierungsnummer)	Messunsicherheit
Druckdifferenz	k	Büro / Aussen	-	DG 700 HP 1.07 HP 216	±1% v.M. resp. ±10.15Pa
Thermische Behaglichkeit (Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad)	k	Arbeitsplatz 1 (eher im Bereich Lüftungsflügel) Arbeitsplatz 2 (eher im geschützten Bereich)	-	Dantec Comfort-Sense 1.18 HP 021 Dantec Comfort-Sense 1.18 HP 022	±0.06 m/s / DR ± 0.2 °C ±0.2K ±0.06 m/s / DR ± 0.2 °C ±0.2K
Schall	k	Am Arbeitsplatz (Fenster zu / Fenster offen)	-	Norsonic 140 SN1404393 1.14 HP 030	
CO ₂ - Konzentration / Lufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	k	NL_auto_E1 Aussen	1 min.	Opus 116 HP 243	±50ppm +3% v.M. / ±0.3°C (0..40°C) / ±2% r.F. Bemerkung: Die Logger wurden in Bezug auf CO ₂ , vor und nach der Messung validiert.
	k	NL_auto_M1 Aussen	1 min.	Opus 116 HP 243	
	k	NL_man_B1 Aussen	1 min.	Opus 116 HP 243	
	k	NL_man_I1 Aussen	1 min.	Opus 116 HP 243	
Temperatur / Luftfeuchtigkeit	l	NL_auto_E1 Aussen	1 min	MSR 116 HP 233	±0.2 °C (+5...+45°C) / ±2% r.F. (10..85% r.F. / 0..+40°C)
	l	NL_auto_M1 Aussen	1 min	MSR 116 HP 232	
	l	NL_man_B1 Aussen	1 min		
	l	NL_man_I1 Aussen	1 min		
CO ₂ - Konzentration / Lufttemperatur / Luftfeuchtigkeit	l	NL_auto_E1_a	1 min.	Opus 116 HP 245	±50ppm +3% v.M. / ±0.3°C (0..40°C) / ±2% r.F. Bemerkung: Die Logger wurden in Bezug auf CO ₂ , vor und nach der Messung validiert.
	l	NL_auto_E1_b	1 min.	Opus 116 HP 246	
	l	NL_auto_M1_a	1 min.	Opus 116 HP 194	
	l	NL_auto_M1_b	1 min.	Opus 116 HP 199	
	l	NL_man_B1_a	1 min.	Opus 116 HP 201	
	l	NL_man_B1_b	1 min.	Opus 116 HP 200	
	l	NL_man_B1_c	1 min.	Opus 116 HP 202	
	l	NL_man_B1_d	1 min.	Opus 116 HP 203	
	l	NL_man_I1_a	1 min.	Opus 116 HP 243	
	l	NL_man_I1_b	1 min.	Opus 116 HP 198	
	l	NL_man_I1_c	1 min.	Opus 116 HP 197	
	l				
Fensterlogger	l	Lüftungsflügel resp. Fenster bei den untersuchten Arbeitsplätzen	-*	LoRa	-
Türlogger	l	Türen bei Einzel- resp. Gruppenbüros.	15 min	Tyntag	-
Lichtsensoren	l	In der Nähe der Storen im Bereich der untersuchten Arbeitsplätze	-*	HOBO Pendant MxTemp/light	-

* = Bei Veränderung



12.6 Dokumentation Messgebäude

12.6.1 Grundrisse und Messtollen Kurzzeitmessungen

NL_auto_E1_1

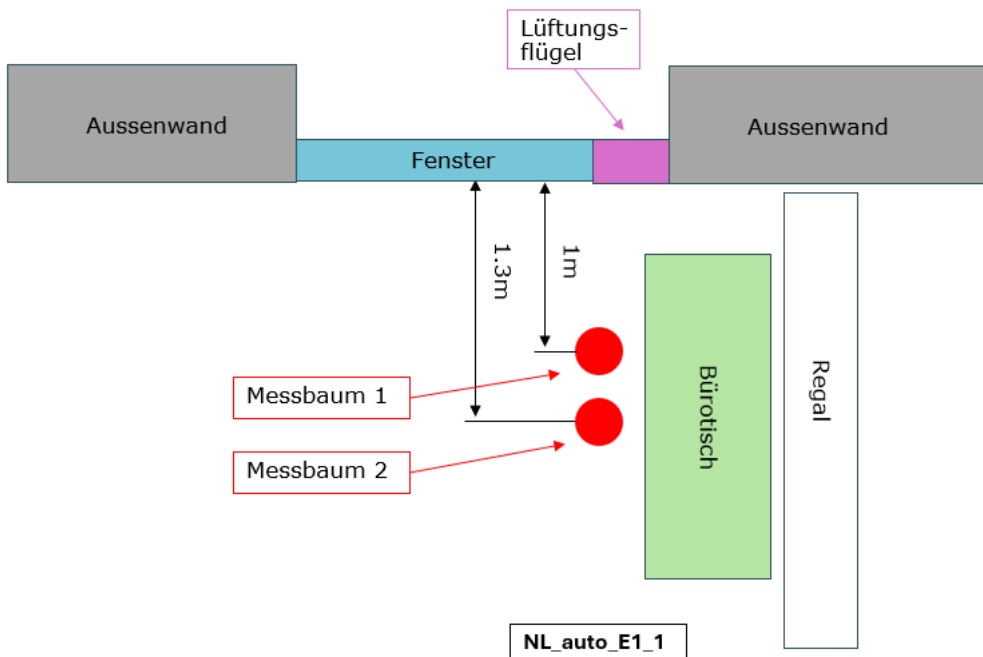


Abb. 100: NL_auto_E1_1; Schema Messtollen Kurzzeitmessung.

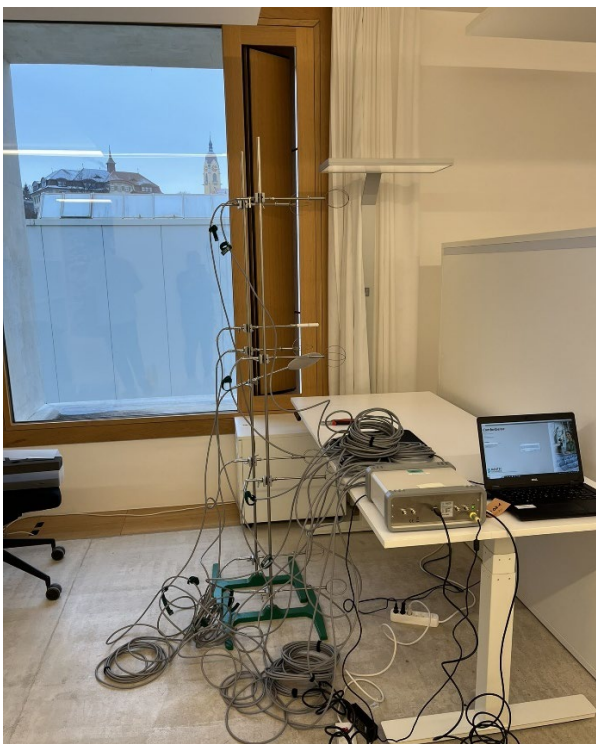


Abb. 101: NL_auto_E1_1; Messaufbau Kurzzeitmessung.



NL_auto_E1_2

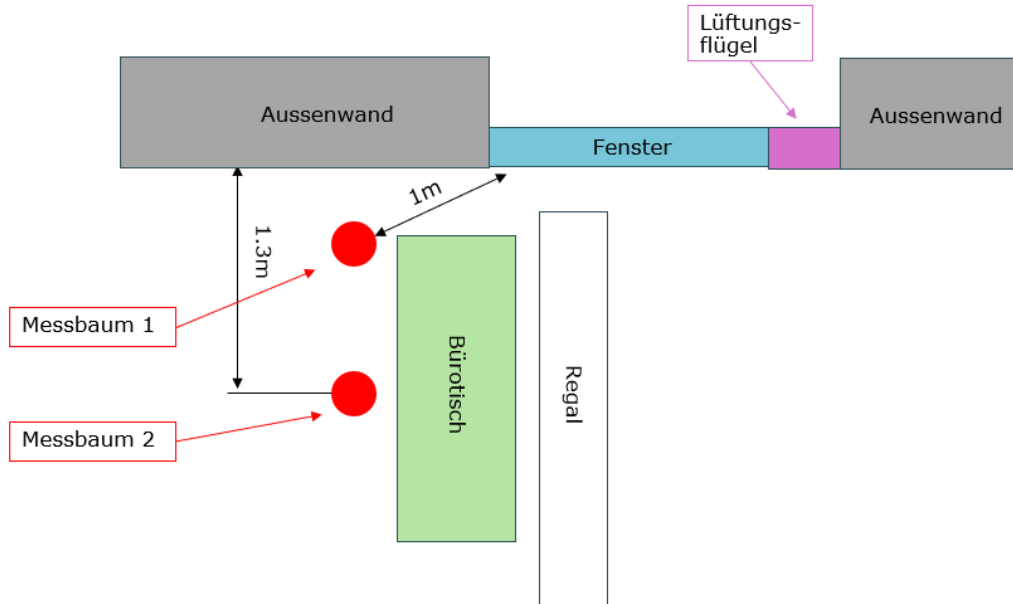


Abb. 102: NL_auto_E1_2; Schema Messstellen Kurzzeitmessung.



Abb. 103: NL_auto_E1_2; Messaufbau Kurzzeitmessung.



NL_auto_M1

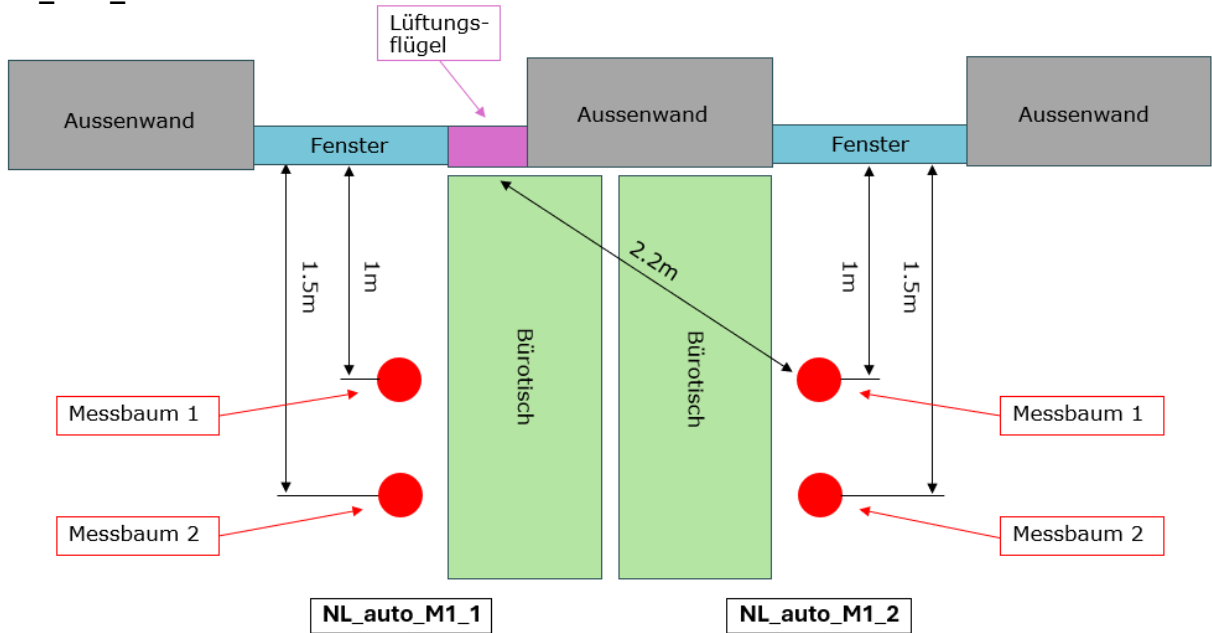


Abb. 104: NL_auto_M1_1 (links) und NL_auto_M1_2 (rechts); Schema Messstellen Kurzzeitmessung.



Abb. 105: NL_auto_M1_1; Messaufbau Kurzzeitmessung.



Abb. 106: NL_auto_M1_2; Messaufbau Kurzzeitmessung.



NL_man_I1

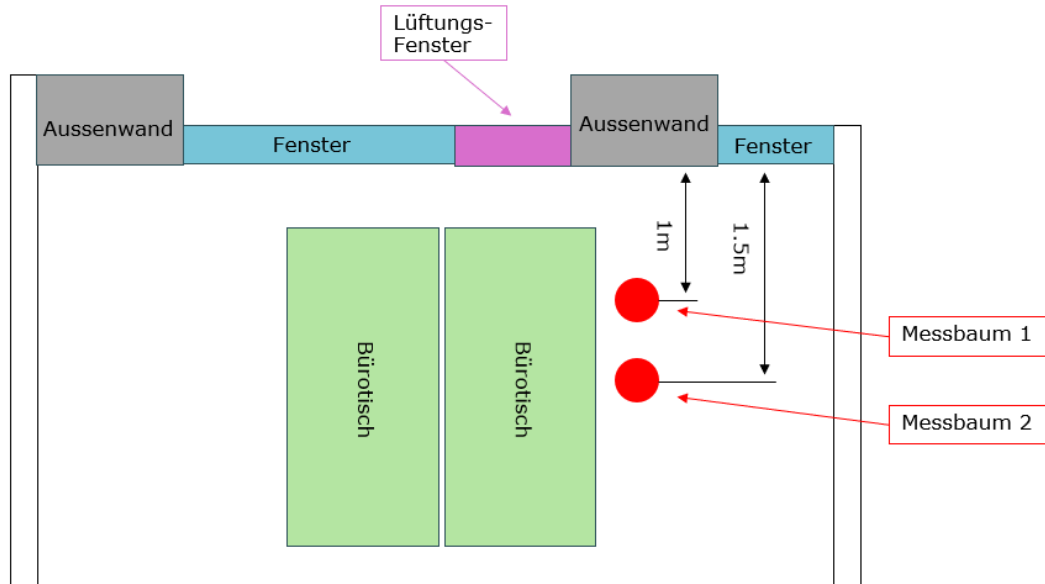


Abb. 107: NL_man_I1_1; Schema Messstellen Kurzzeitmessung.



Abb. 108: NL_man_I1_1; Messaufbau Kurzzeitmessung.

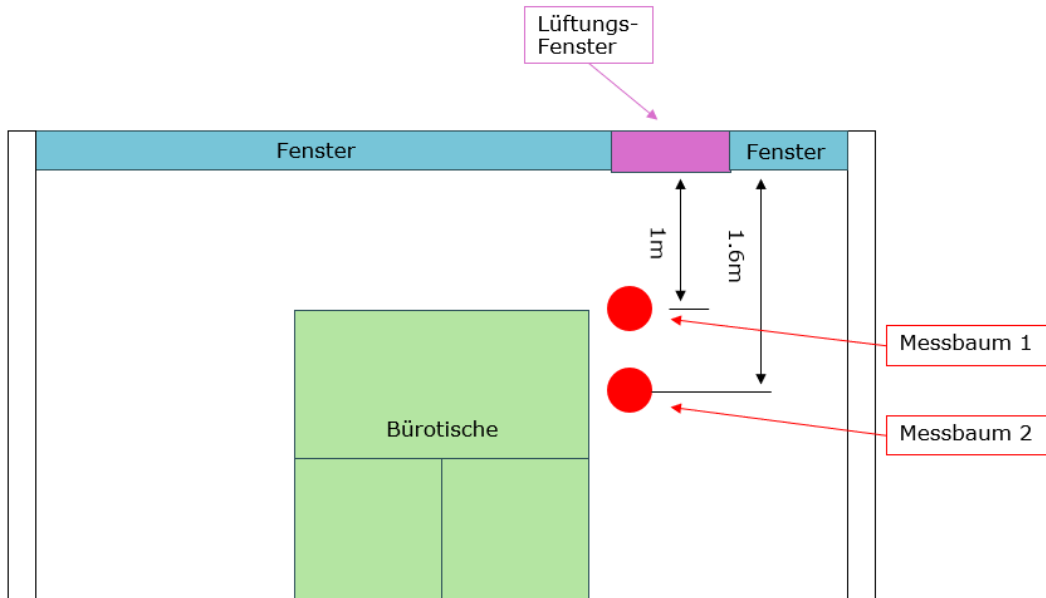


Abb. 109: NL_man_I1_2; Schema Messstellen Kurzzeitmessung.



Abb. 110: NL_man_I1_2; Messaufbau Kurzzeitmessung.



NL_man_B1

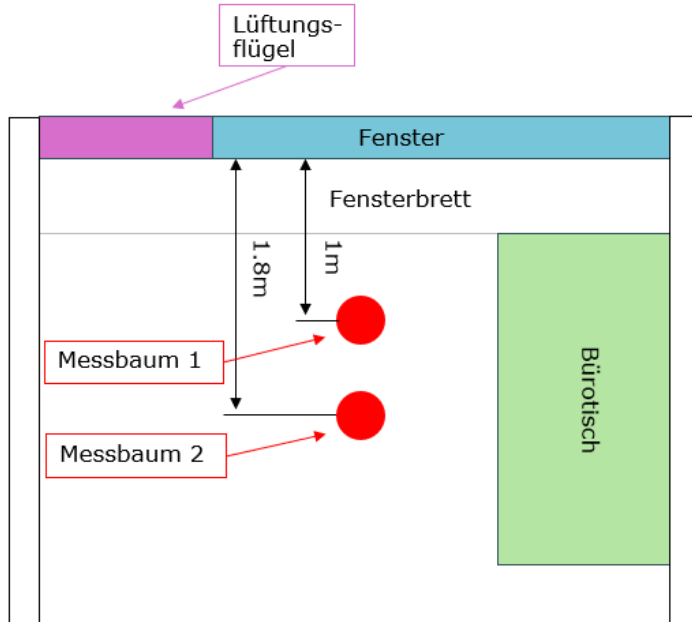


Abb. 111: NL_man_B1_1; Schema Messstellen Kurzzeitmessung.

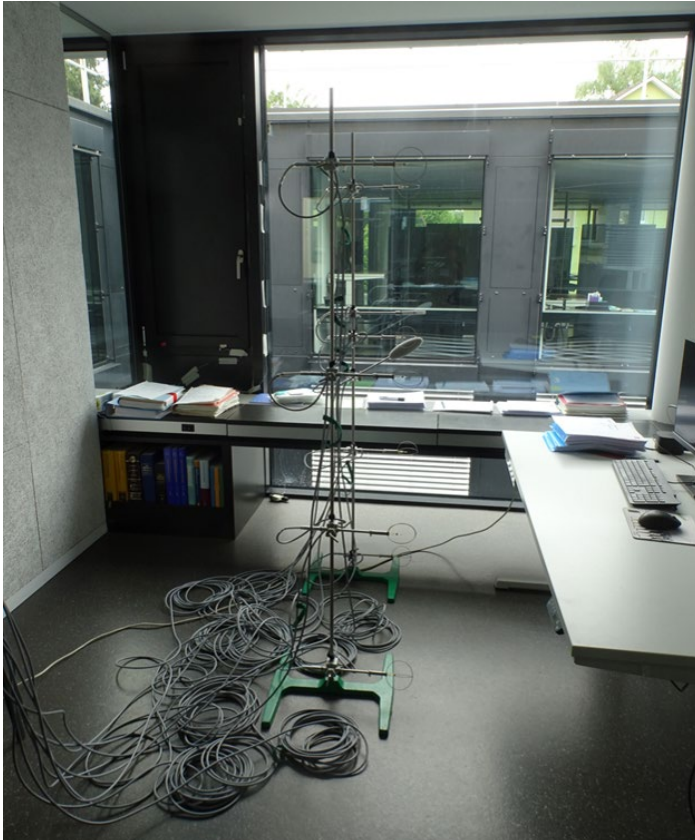


Abb. 112: NL_man_B1_1; Messaufbau Kurzzeitmessung.

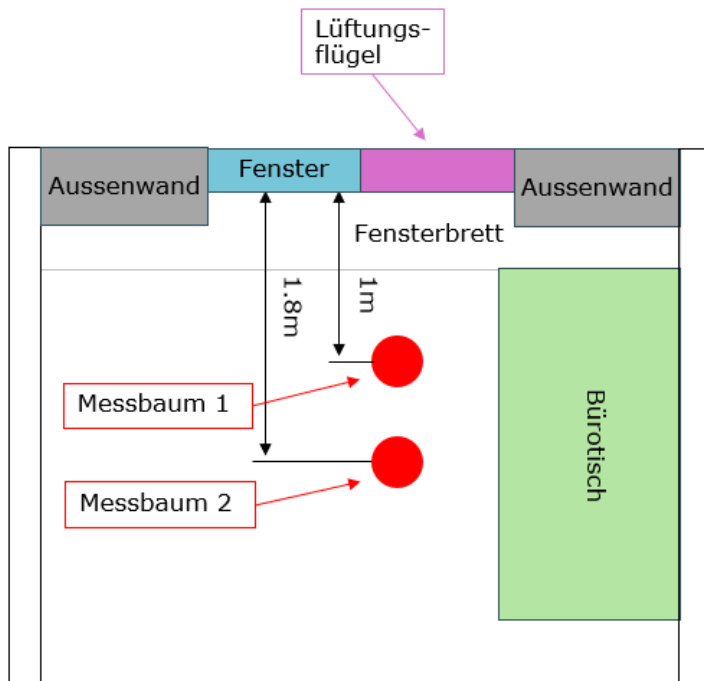


Abb. 113: NL_man_B1_2; Schema Messstellen Kurzzeitmessung.



Abb. 114: NL_man_B1_2; Messaufbau Kurzzeitmessung.



12.6.2 Messtellen Langzeitmessungen

In diesem Kapitel sind die Messstellen für die Langzeitmessungen beschrieben. Da mit den Gebäudebesitzern vereinbart ist, die Gebäude zu anonymisieren, sind hier keine Grundrisspläne aufgeführt.

NL_auto_E1_a

Einzelner Arbeitsplatz in der Lüftungszone NW (an der Nordfassade), Grossraumbüro, direkt neben einem Lüftungsflügel (analog zur Kurzzeitmessung)

NL_auto_E1_a

Einzelner Arbeitsplatz in der Lüftungszone NW (an der Nordfassade), Grossraumbüro, zwischen zwei Lüftungsflügel (analog zur Kurzzeitmessung)

NL_auto_M1_a

Arbeitsgruppe mit drei Arbeitsplätzen an der Westfassade, Grossraumbüro, Lüftungsflügel direkt neben der Arbeitsgruppe, zwei manuell öffnbare Fenster

NL_auto_M1_b

Arbeitsgruppe mit sechs Arbeitsplätzen im Ecken des Gebäudes NW, Grossraumbüro, zwei Lüftungsflügel zur Querlüftung West/Nord neben der Arbeitsgruppe, vier manuell öffnbare Fenster (2 West, 2 Nord)

NL_man_I1_a

Zweipersonenbüro an der Südwestfassade, ein manuell öffnbares Fenster, Lüftungsflügel für Nachtlüftung, Tür in den Korridor (nicht mechanisch belüftet, mit manuell öffnbaren Fenster in den Innenhof, direkt gegenüberliegend)

NL_man_I1_b

Dreipersonenbüro im Ecken des Gebäudes SW/SO, drei manuell öffnbare Fenster, Lüftungsflügel für Nachtlüftung, Tür in den Korridor (nicht mechanisch belüftet, mit manuell öffnbaren Fenster in den Innenhof, ca. 20 m entfernt)

NL_man_I1_c

Messstelle beim Drucker im Korridor vor dem Dreipersonenbüro NL_man_I1_b, kein öffnbares Fenster in unmittelbarer Nähe, manuell öffnbaren Fenster in den Innenhof ca. 20 m entfernt

NL_man_B1_a

Einzelbüro Richtung Innenhof (Ostfassade), Neubau, ein öffnbares Fenster, Tür zum Korridor (nicht mechanisch belüftet)



NL_man_B1_b

Mehrpersonenbüro mit drei Arbeitsplätzen an der Westfassade, Altbau saniert, zwei öffentbare Fenster, zwei Türen zum Korridor (mechanisch belüftet)

ML_auto_B1_c

Grossraumbüro, Altbau saniert, mechanisch belüftet, manuell öffentbare Fenster

NL_man_B1_d

Messstelle im Korridor direkt vor dem Einzelbüro NL_man_B1_a, Neubau, nicht mechanisch belüftet



12.7 Auswertung der Messungen

Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird in SIA 180:2014 [13] definiert. Sie bezieht 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 7726:2001 die Messsonden gemäss Tabelle 83 anzubringen.

Tabelle 83: Anordnung der Messsonden gemäss SN EN ISO 7726 [37]

Ort der Messsonde	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
Feuchtigkeitsmessung	0.6 m (60°Winkel)	1.1 m (90°Winkel)
Operative Temperatur	0.6 m	1.1 m

Bei den Arbeitsplätzen werden jeweils zwei Standorte gemessen. Am Rand (äussere Grenze) und in der Mitte des Aufenthaltsbereiches.

Bekleidung

Die Werte für die Tätigkeit (met-Wert) und für die Bekleidung der Personen (clo-Wert) werden gemäss SIA 180:2014 [13] für den Winter bei 1.0, für den Sommer bei 0.8 festgelegt.

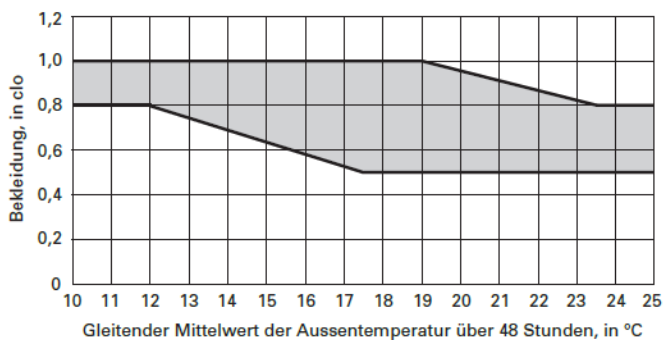


Abb. 115: Bereich der clo-Werte je nach dem gleitenden Mittelwert der Aussentemperatur, Quelle: SIA 180:2014 [13], Fig. 2.

In SIA 180:2014 sind die lokalen Behaglichkeitskriterien in Bezug auf Zugluft definiert. Abb. 116 zeigt die zulässige Luftgeschwindigkeit

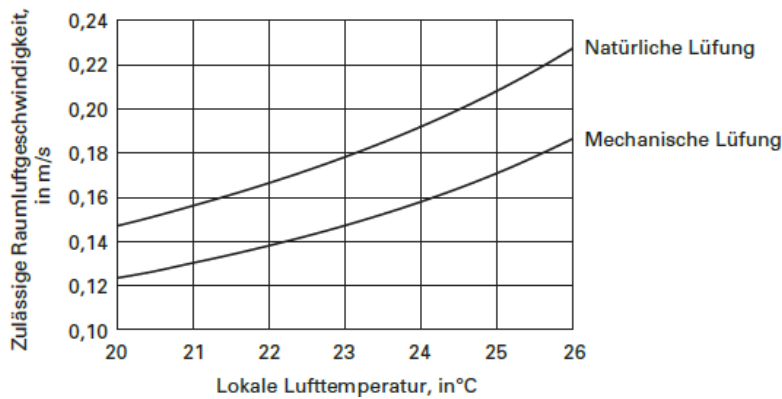


Abb. 116: Zulässige mittlere lokale Luftgeschwindigkeit am Aufenthaltsort in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur, bei einem Turbulenzgrad von 50 % für Räume mit mechanischer (DR= 15 %) und natürlicher Lüftung (DR= 20 %) nach SN EN ISO 7730:2006 [11]. Quelle SIA 180:2014 [13], Fig. 5.

Optimal empfundene Temperatur

Für die thermische Behaglichkeit ist die empfundene Temperatur (auch operative Temperatur) am Aufenthaltsort massgebend. In SIA 180:2014 [13] ist eine Übersicht über den Bereich der empfundenen Temperatur in Abhängigkeit von der Tätigkeit und dem Bekleidungsgrad der Person dargestellt. Dabei ist ein met-Wert von 1.2 festgelegt. Die optimal empfundene Temperatur im Winter (clo 1.0) beträgt ca. 21 ± 2 °C und im Sommer (clo 0.8) ca. 23 ± 2 °C.

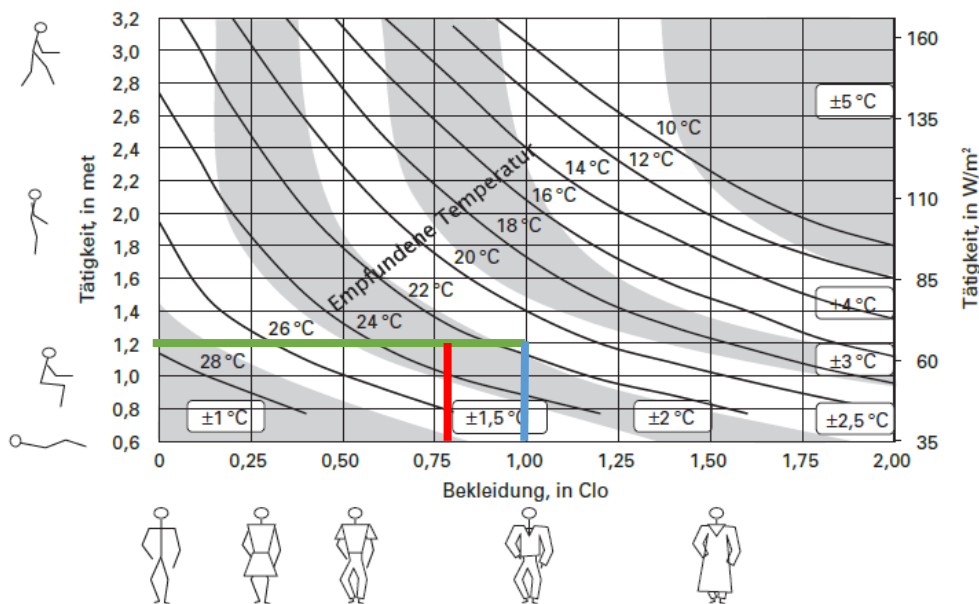


Abb. 117: Optimale empfundene Temperatur in Abhängigkeit von Tätigkeit und Bekleidung. Quelle: SN EN ISO 7730:2006 [11] und SIA 180:2014 [13], Fig. 6.



Energieumsätze verschiedener körperlicher Tätigkeiten

Die Messwerte werden einmal für eine sitzenden Tätigkeit (met 1.2) und einmal für eine stehende Tätigkeit (met 1.6) ausgewertet.

Tabelle 84: Energieumsätze in Abhängigkeit des Aktivitätsgrades. Quelle SN EN ISO 7730:2006, Anhang B.

Aktivität	Energieumsatz	
	Wm ⁻²	met
Angelehnt	46	0,8
Sitzend, entspannt	58	1,0
Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	1,2
Stehende, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	116	2,0
Gehen auf der Ebene:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Bewertung Lufttemperatur

Die Raumlufttemperatur wird nach den IEQ-Kategorien gem. SIA 382/1:2025 [1] ausgewertet (siehe Tabelle 85). Die Angaben in SIA 382/1:2025 sind geringfügig strenger als die Angaben in Abb. 115.

Tabelle 85: Klassifizierung des Raumklimas (IEQ) bezüglich Raumtemperatur (RT) in beheizten Gebäuden (bei einem Aktivitätsgrad von 1.2 met, einer Bekleidung von 1.0 clo, einer Luftgeschwindigkeit von < 0.1 m/s und einer Raumluftfeuchte von ca. 30 % r.H.

Kategorie SN EN 16798-1	Raumtemperaturbereich für die Heizung $\theta_{i,H}$ ¹⁾ °C	Raumtemperaturbereich für die Kühlung $\theta_{i,C}$ ²⁾ °C
IEQ _I (RT)	21,1...(22,1)...23,1	23,8...(24,5)...25,2
IEQ _{II} (RT)	19,8...(22,1)...24,4	22,9...(24,5)...26,1
IEQ _{III} (RT)	18,8...(22,1)...25,3	22,2...(24,5)...26,8
IEQ _{IV} (RT)	17,4...(22,1)...26,6	21,3...(24,5)...27,7

Werte in Klammern sind optimale Raumtemperaturen bei $PMV = 0$

- ¹⁾ bei einer Bekleidung von 1,0 clo, einer Luftgeschwindigkeit <0,1 m/s und einer Raumluftfeuchte von ca. 30 % r. F.
- ²⁾ bei einer Bekleidung von 0,5 clo, einer Luftgeschwindigkeit <0,1 m/s und einer Raumluftfeuchte von ca. 60 % r. F.



Bewertung relative Raumlufffeuchte

Gemäss SIA 180:2014 [13] (Kap. 3.5.1.3 und 3.5.1.4) soll in beheizten, gekühlten oder mechanisch belüfteten Räumen die massebezogene Luftfeuchte während 90 % der Jahresnutzung nicht weniger als 5.5 g/m^3 (ca. 30 % bei 21 °C) und während 90 % der Jahresnutzung nicht mehr als 15.2 g/m^3 (ca. 70 % bei 24.0 °C) betragen. Für den Bericht werden als Grenzen daher 30 und 70 % festgelegt.

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

In SIA 382/1:2025 [1] wird Raumluffqualität (Indoor Air Quality, IDA) 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 20 l/h und Person. Ohne weiterführende Vereinbarungen (Nutzervereinbarung) ist bei mechanischen Lüftungssystemen IDA 2 (CO₂) anzustreben. Daraus resultiert eine absolute CO₂-Konzentration zwischen 950 und 1'200 ppm. Der Bericht nimmt bei der Auswertung Bezug auf die Klassierung gemäss Tabelle 86. Im Kapitel 6 wird die Bewertung auf Grund der Konzentration in der Raumluff durchgeführt, als Aussenluftkonzentration wird der gemittelte Wert von 450 ppm gemäss Tabelle 63 verwendet. Die absolute Konzentration für IDA 2 (CO₂) liegt daher zwischen 1'000 und 1'250 ppm siehe Tabelle 87.



Tabelle 86: Klassifizierung der Raumluftqualität (IDA) bezüglich CO₂-Konzentration. Quelle SIA 382/1:2025 [1], Tab. 18.

Kategorie	Prozentsatz Unzufriedener PD ¹⁾ %	Erhöhung der CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration in Aussenluft ΔC_{CO_2} ppm	Bereich der CO ₂ -Konzentration in der Raumluft ²⁾ $C_{CO_2,IDA}$ ppm	Bereich des Aussenluft-Volumenstroms pro Person ³⁾ $q_{v,ODA,P}$ m ³ /h (l/s)
IDA 1 (CO ₂)	≤ 17	> 0...≤ 550	> 400...≤ 950	≥ 36 (10)
IDA 2 (CO ₂)	> 17...≤ 23	> 550...≤ 800	> 950...≤ 1'200	≥ 25 (7) ...< 36 (10)
IDA 3 (CO ₂)	> 23...≤ 34	> 800...≤ 1'350	> 1'200...≤ 1'750	≥ 15 (4) ...< 25 (7)
IDA 4 (CO ₂)	> 34	> 1'350	> 1'750	< 15 (<4)

1) Der Prozentsatz Unzufriedener wird nach [143] berechnet: $PD = 395 \cdot \exp(-15,15 \cdot \Delta C_{CO_2}^{-0,25})$ %

2) Die angegebenen CO₂-Konzentrationen in der Raumluft gelten für unangepasste Personen bei einer CO₂-Konzentration in der Aussenluft von 400 ppm und einer CO₂-Emission von 20 l/h pro Person (bei ca. 1,2 met).

Tabelle 87: Klassifizierung der Raumluftqualität (IDA) bezüglich CO₂-Konzentration, Spalte 4 von Tabelle 86 korrigiert auf eine Aussenluftkonzentration von 450 ppm.

Kategorie	Prozentsatz Unzufriedener PD %	Erhöhung der CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration in der Aussenluft ΔC_{CO_2} ppm	Bereich der CO ₂ -Konzentration in der Raumluft $\Delta C_{CO_2,IDA}$ ppm	Bereich des Aussenluft-Volumenstroms pro Person $q_{v,ODA,P}$ m ³ /h (l/s)
IDA 1 (CO ₂)	≤ 17	>0...≤550	>450...≤1'000	≥36 (10)
IDA 2 (CO ₂)	>17...≤23	>550...≤800	>1'000...≤1'250	≥25 (7)...<36 (10)
IDA 3 (CO ₂)	>23...≤34	>800...≤1'350	>1'250...≤1'800	≥15 (4)...<25 (7)
IDA 4 (CO ₂)	>34	>1'350	>1'800	<15 (<4)

Bemerkung: Mit Zunahme des CO₂-Gehalts in der Aussenluft, ist die Bewertung des Prozentsatzes der Unzufrieden etwas weniger streng als in der Realität, da dieser nicht angepasst wird.

Vorausgesagtes mittleres Votum

Gemäss SN EN ISO 7730:2006 [11] ist der PMV-Wert ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung anhand einer 7-stufigen Klimabeurteilungsskala vorhersagt (Tabelle 88). Der PMV-Index beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers. Das thermische Gleichgewicht ist erreicht, wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist.

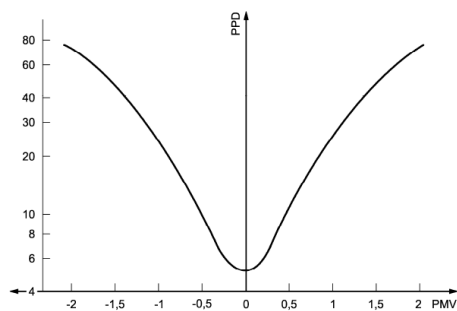


Tabelle 88: Klimabeurteilungsskala. Quelle: SN EN ISO 7730:2006 [11], Tab. 1.

+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
- 1	etwas kühl
- 2	kühl
- 3	kalt

Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Der PMV- Index sagt die durchschnittliche Klimabeurteilung einer Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind.



Legende
 PMV Vorausgesagtes mittleres Votum
 PPD Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

PMV	PPD	Personen, die eine Beurteilung abgeben		
		%		
		0	- 1, 0 oder + 1	- 2, - 1, 0, + 1 oder + 2
+ 2	75	5	25	70
+ 1	25	30	75	95
+ 0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
- 0,5	10	55	90	98
- 1	25	30	75	95
- 2	75	5	25	70

^a Basiert auf Experimente mit 1 300 Personen.

Abb. 118: PPD als Funktion des PMV. Quelle: SN EN ISO 7730:2006 [11], Bild 1.

Abb. 119: Verteilung der individuellen Klimaerteile für verschiedene Werte des mittleren Votums. Quelle: SN EN ISO 7730:2006 [11], Tab. 2.

Bewertung Innenraumklima bezüglich allgemeiner thermischer Behaglichkeit

Das Innenraumklima bezogen auf die allgemeine thermische Behaglichkeit kann gemäss Tabelle 89 bewertet werden.



Tabelle 89: Klassifizierung des Innenraumklimas bezüglich allgemeiner thermischer Behaglichkeit (GTC) in beheizten und klimatisierten Räumen gemäss SN EN 16798-1. Quelle: SIA 382/1:2025 [1], Tab. 4.

Kategorie SN EN 16798-1	Kategorie SN EN ISO 7730	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt	
		PPD-Index ¹⁾ %	Bereiche des PMV-Index ²⁾ –
IEQ _I (GTC)	A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
IEQ _{II} (GTC)	B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
IEQ _{III} (GTC)	C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IEQ _{IV} (GTC)	–	< 25	-1,0 < PMV < +1,0

1) Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen gemäss SN EN ISO 7730 bzw. SIA 180

2) Vorausgesagtes mittleres Votum gemäss SN EN ISO 7730 bzw. SIA 180

Bewertung Innenraumklima bezüglich lokaler Unbehaglichkeit

In SIA 382/1:2025 wird das Innenraumklima bezüglich lokaler Unbehaglichkeit gemäss SN EN 16798-1 [38] klassiert. In Tabelle 90 sind die Klassierungen aufgelistet. Für die Beurteilung werden Überschreitungen der Klasse IEQ_{II} (LDC) ausgewertet. Dies bedeutet vertikale Lufttemperaturunterschiede zwischen der Höhe 0.1 und 1.1 m über Boden von mehr als 5 K.

Tabelle 90: Klassifizierung des Innenraumklimas (IEQ) bezüglich lokaler Unbehaglichkeit (LDC) Quelle SIA 382/1:2025 [1], Tab. 5.

Kategorie SN EN 16798-1	DR ¹⁾ %	Lokale Unbehaglichkeit		
		Vertikaler Lufttemperatur- unterschied	Warmer oder kalter Fussboden	asymmetrische Strahlung
IEQ _I (LDC)	< 10	< 3	< 10	< 5
IEQ _{II} (LDC)	< 20	< 5	< 10	< 5
IEQ _{III} (LDC)	< 30	< 10	< 15	< 10

1) Zugluftrate (Zugluftrisiko) gemäss SN EN ISO 7730 bzw. SIA 180

2) Prozentsatz an Unzufriedenen gemäss SN EN ISO 7730 bzw. SIA 180

Anmerkung: Für die vorliegende Norm sind lediglich die Zugluftrate DR und die vertikale Lufttemperaturdifferenz (zwischen Kopf und Fussgelenk) relevant. Die Fussbodentemperatur und die Asymmetrie der Strahlungstemperatur werden durch RLT-Anlagen nicht beeinflusst.



Bewertung Akustik

Die Anforderungen an den Schallschutz sind in SIA 181:2020 [39] festgelegt. Die Lärmempfindlichkeitsklasse aus Kapitel 2.3 zeigt Tabelle 91. Die untersuchten Büroarbeitsplätze sind alle in der Lärmempfindlichkeitsklasse «mittel».

Tabelle 91: Einstufung der Lärmempfindlichkeit nach der immissionsseitigen Raumart und Nutzung. Quelle: SIA 181:2020 [39], Tab. 1

Lärmempfindlichkeit	Beschreibung der immissionsseitigen Raumart und Raumnutzung (Empfangsraum)
keine	Verkehrs- und Funktionsflächen, nur gelegentlich genutzte Räume oder Räume mit erheblichem Betriebslärm. Beispiele: Abstell-, Lager- und Kellerraum, Heizungs-, Lüftungs- und Haustechnikraum, Hobbyraum, Einstellhalle, Treppenhaus, Laubengang.
gering	Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit. Räume, die von vielen Personen oder nur kurzzeitig benutzt werden. Beispiele: Werkstatt, Handarbeitsraum, Kantine, Restaurant, Küche ohne Wohnanteil, Bad, Dusche, WC, Verkaufsraum, wohnungsinterner Korridor, Warteraum.
mittel	Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten. Beispiele: Wohnzimmer, Schlafzimmer, Studio, Schulzimmer, Musikübungsraum, Wohnküche, Büroraum, Empfangsraum, Hotelzimmer.
hoch	Räume für Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis. Beispiele: spezielle Ruheräume in Spitälern und Sanatorien, spezielle Therapieräume mit hohem Ruhebedarf, Lese-, Studierzimmer.

Die Mindestanforderung in Bezug auf Geräusche von gebäudetechnischen Anlagen zeigt Tabelle 92.

Tabelle 92: Mindestanforderungen L_H an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen. Quelle: SIA 181:2020 [39], Tab. 6.

Emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H		
gering	38 dB	43 dB	33 dB
mittel	33 dB	38 dB	28 dB
hoch	28 dB	33 dB	25 dB

Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 4 dB verringerten Werte gegenüber den Werten nach Tabelle 6. Dabei gilt 25 dB als Kleinstwert.

Unterschieden wird zusätzlich noch, ob das Geräusch ein Einzelgeräusch oder ein Dauergeräusch ist (Tabelle 93).



Tabelle 93: Beispiele der Zuordnung von Geräuschen zu Geräuscharten. Quelle: SIA 181:2020 [39], Tab. 7.

Einzelgeräusche	<i>Funktionsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch)</i> Waschtisch, Spülbecken und Badewanne füllen bzw. auslaufen lassen; WC spülen inklusive Spülvorgang auslösen (ohne Feststoffanteile); Betriebsgeräusche von Wasser- und Abwasserinstallationen; An-, Um-, Abstellen von Ventilen und sonstigen Armaturen; Aufzugsanlagen; Geräusche automatisch betätigter Garagentore, automatische Türschliesser und Storenanlagen; Schaltgeräusche elektrischer Anlagen
	<i>Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch)</i> Manuelles Betätigen von Duschtrennwänden, Garagentoren, Storen und Rollläden, Hauseingangs- und Abschlusstüren, Schiebetüren und -fenstern
	<i>Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Empa-Pendelfallhammer)</i> Nutzen von Badewanne, Duschtasse und bodenebene Duschfläche, WC, Waschtisch, Waschtischkombination, Bidet, Spülbecken, Arbeitsfläche in Küche, Schrank, Unter- und Oberbau, Spiegelschrank
Dauergeräusche	<i>Funktionsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch)</i> Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage, Geschirrspüler, Waschmaschine, Tumbler, Kühlanlage, Ventilator, Heizung, Kompressor, Wärmepumpe, Whirlpool, Dachentwässerung
	<i>Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch)</i> Geräusche industrieller oder gewerblicher Einrichtungen mit manueller Betätigung

Die Ventilatoren werden der Kategorie «Dauergeräusche» und der Unterkategorie «Funktionsgeräusche» zugeordnet. Dementsprechend gilt in der mittleren Lärmempfindlichkeitsklasse ein Anforderungswert von 28 dB. Gemäss SIA 2024:2021 [15] darf das Sitzungszimmer im Gegensatz zum Einzel- und Gruppenbüro, siehe Tabelle 94, in die Lärmempfindlichkeitsklasse «gering» mit einem Anforderungswert von 33 dB eingeteilt werden.

Gemäss SIA 181:2020 [39] werden Dauergeräusche als Schallereignisse mit einer Dauer von mehr als drei Minuten definiert. Da die Intervalle der Fensterlüftung üblicherweise diese Zeitspanne überschreiten, sind auch die dadurch verursachten Lärmemissionen dieser Kategorie einzuordnen.



In Tabelle 94 sind die Geräusche von gebäudetechnischen Anlagen und festen Einrichtungen nach Nutzung unterteilt.

Tabelle 94: Auszug, Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen. Quelle: SIA 2024:2021 [15], Tabelle 12.

		Anforderungen gemäss SIA 181				Empfohlene Auslegung
		Lärmempfindlichkeit nach SIA 181, Tabelle 1	Einzelgeräusche, Funktionsgeräusche L_H in dB	Einzelgeräusche, Benutzungsgeräusche L_H in dB	Dauergeräusche, Funktions- und Benutzungsgeräusche L_H in dB	
1.01	Wohnen MFH	mittel	33	38	28 ⁴⁾	25 ⁴⁾
1.02	Wohnen EFH	mittel	33	38	28 ⁴⁾	25 ⁴⁾
2.01	Hotelzimmer	mittel	33	38	28	25
2.02	Empfang, Lobby	gering	38	43	33	
3.01	Einzel-, Gruppenbüro	mittel	33	38	28	25
3.02	Grossraumbüro ¹⁾	gering	38	43	33	
3.03	Sitzungszimmer	gering	38	43	33	

– nicht relevant

¹⁾ evtl. akustische Konditionierung notwendig unter Berücksichtigung von Grösse, Nutzung und Personenbelegung des Raums

²⁾ Ablufthaube mittlerer Betrieb

³⁾ individuelle Festlegung möglich, z. B. 5 bis 10 dB unter dem mittleren Betriebschalldruckpegel (mindestens 30 dB, maximal 85 dB)

⁴⁾ Für die mechanische Lüftung von Wohngebäuden gelten Anforderungen an den Schutz gegen Dauergeräusche gemäss SIA 382/5, Ziffer 2.2.8



12.8 Wintermessungen

12.8.1 Zugluft DR

Nachfolgend sind die weiteren Häufigkeiten für die Zugluft abgebildet.

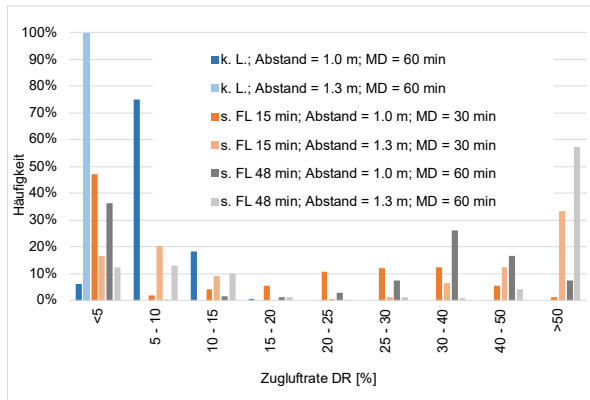


Abb. 120: NL_auto_E1_1; 09.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

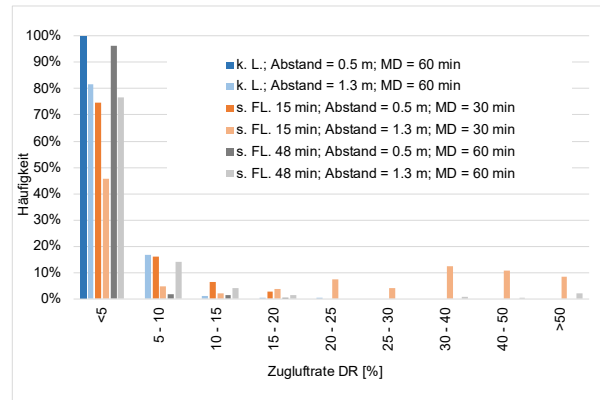


Abb. 121: NL_auto_E1_2; 09.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

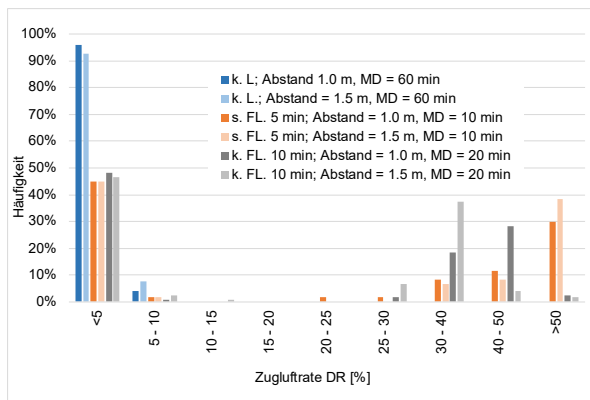


Abb. 122: NL_man_I1_1; 11.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

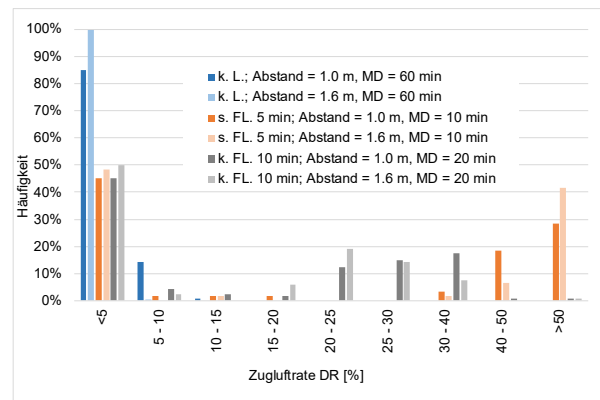


Abb. 123: NL_man_I1_2; 11.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

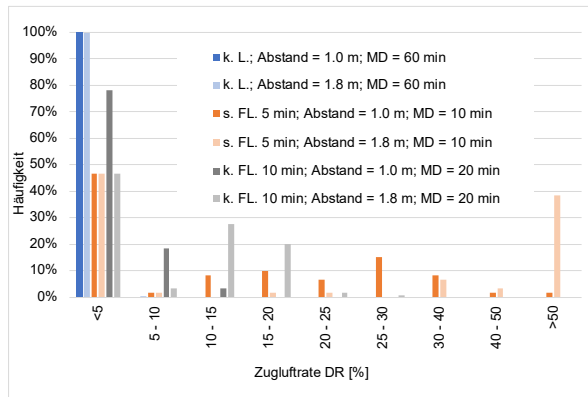


Abb. 124: NL_man_B1_1; 12.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

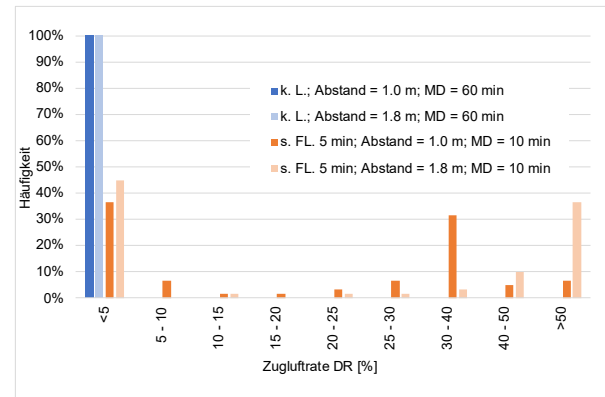


Abb. 125: NL_man_B1_2; 12.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

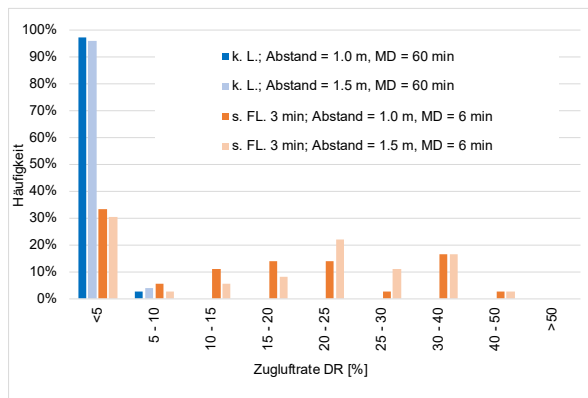


Abb. 126: NL_auto_M1_1; 19.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.

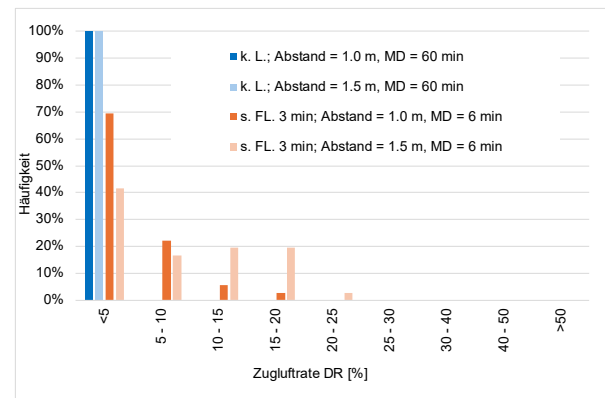


Abb. 127: NL_auto_M1_2; 19.01.2024; Zugluftrate DR, 0.1 m ab Boden.



12.8.2 Temperaturunterschied

Nachfolgend sind die vertikalen Temperaturunterschiede zwischen den Höhen 1.1 m und 0.1 m über dem Boden abgebildet.

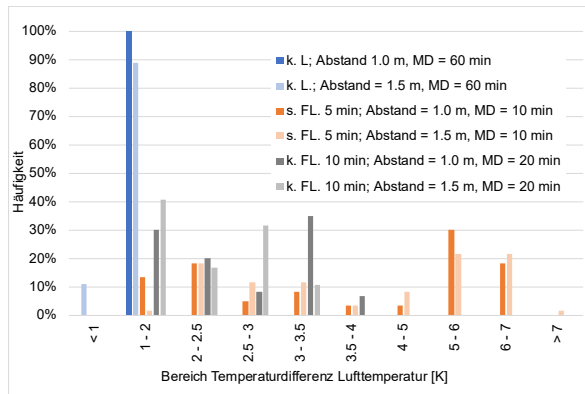


Abb. 128: NL_man_I1_1; 11.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

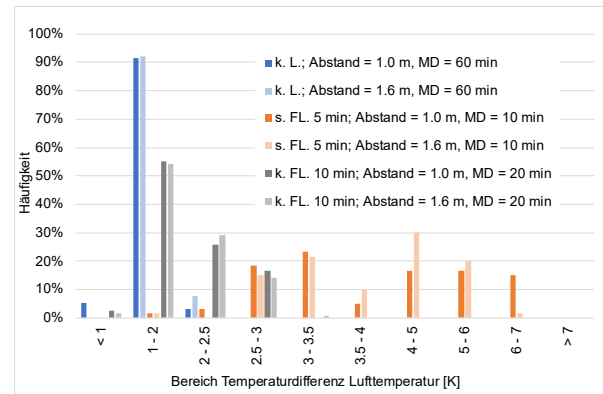


Abb. 129: NL_man_I1_2; 11.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

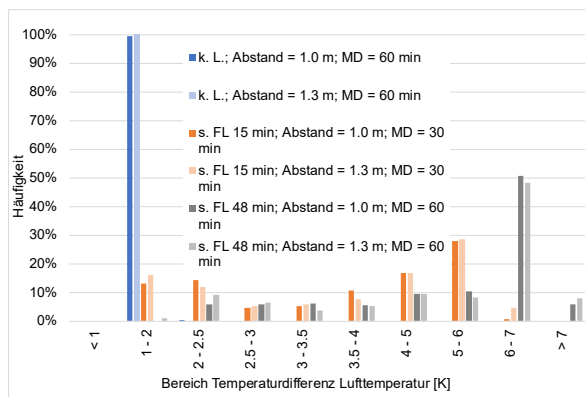


Abb. 130: NL_auto_E1_1; 09.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

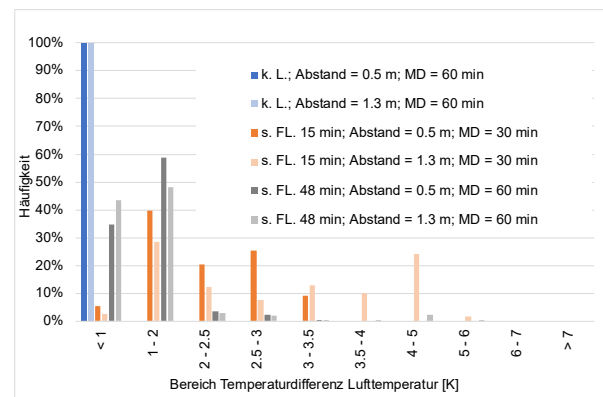


Abb. 131: NL_auto_E1_2; 09.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

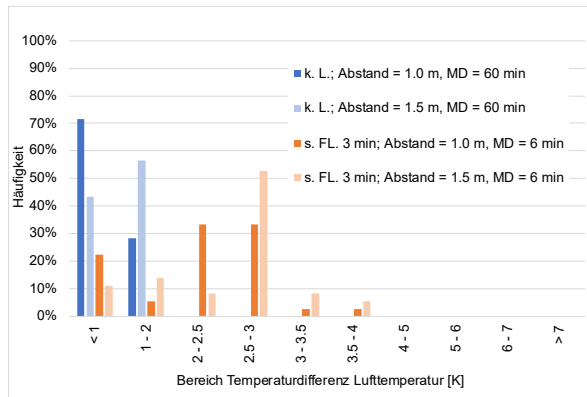


Abb. 132: NL_auto_M1_1; 19.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

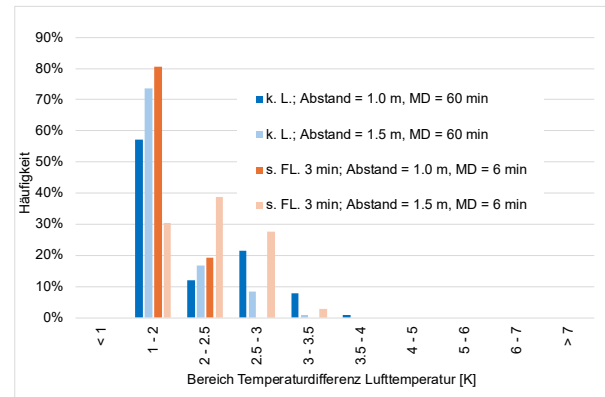


Abb. 133: NL_auto_M1_2; 19.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

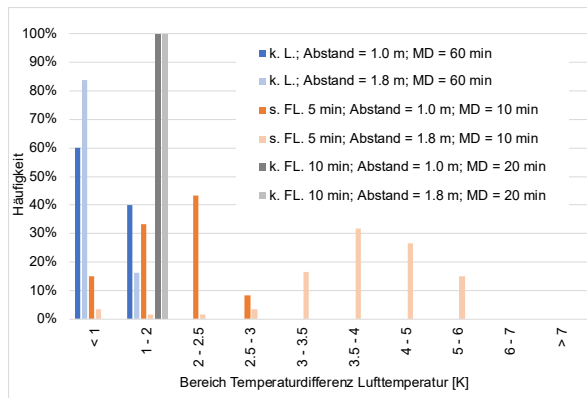


Abb. 134: NL_man_B1_1; 12.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.

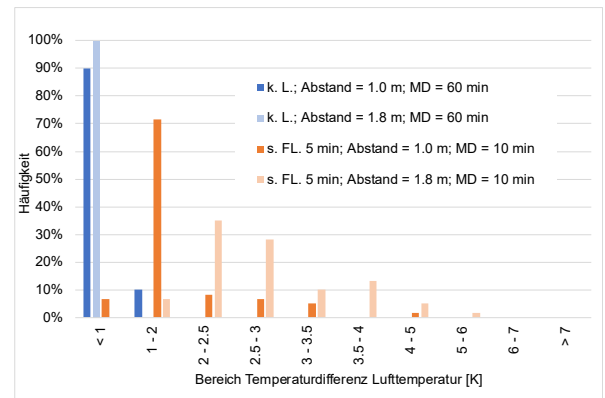


Abb. 135: NL_man_B1_2; 12.01.2024;
Temperaturunterschied 1.1 m – 0.1 m.



12.8.3 PMV-Verläufe in Abhängigkeit des vertikalen Temperaturunterschieds

Nachfolgend sind die Verläufe von PMV und dem vertikalen Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m) während der Lüftungsvorgänge dargestellt.

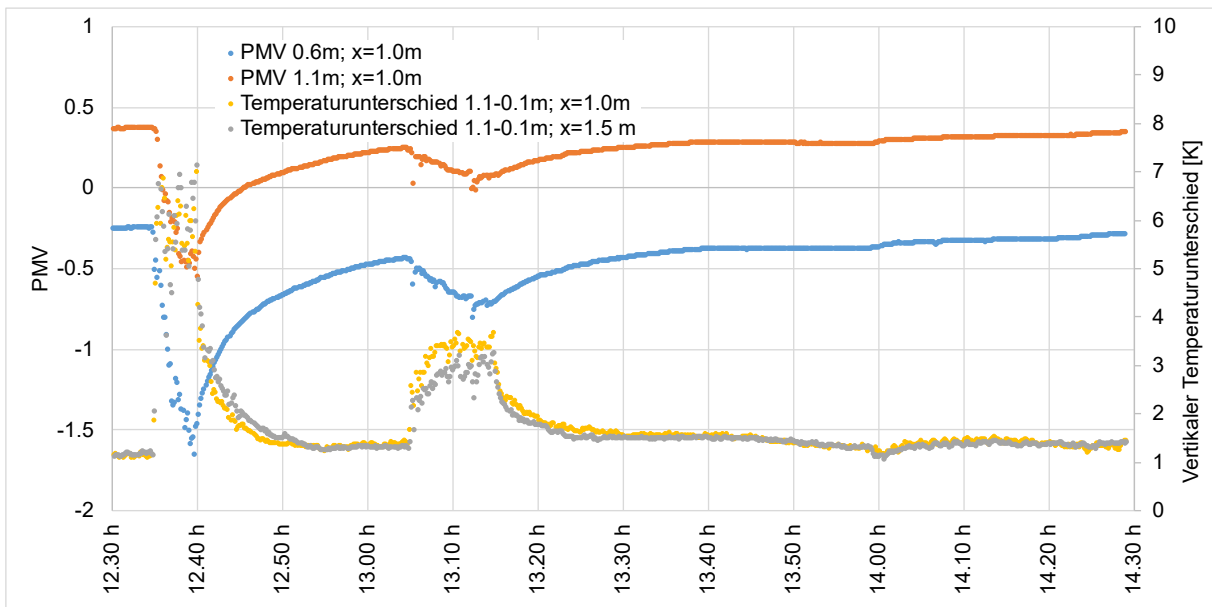


Abb. 136: NL_man_i1_1, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Volllüftung 12:35 – 12:40 Uhr, Kipplüftung 13:05 – 13:15 Uhr, Fenster zu, Türe zu 13:30 – 14:00 Uhr, Fenster zu, Türe offen 14:00 – 14:30 Uhr, mittlere Aussentemperatur -1.7 °C.

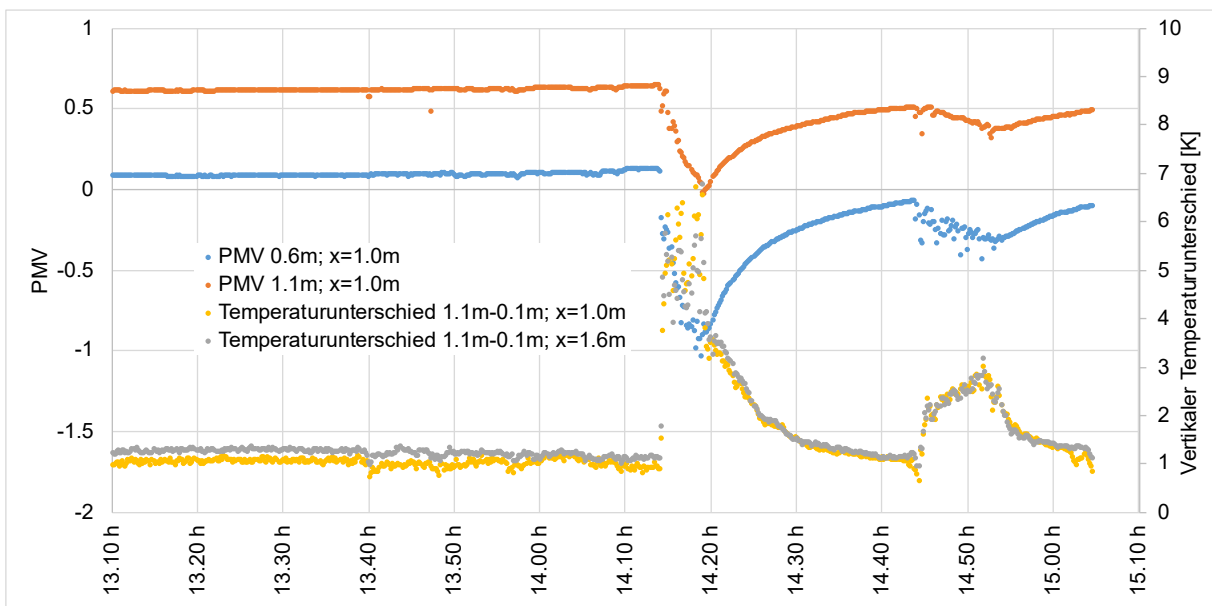


Abb. 137: NL_man_i1_2, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Fenster zu, Türe zu 13:10 – 13:40 Uhr, Fenster zu, Türe offen 13:40 – 14:10, Volllüftung 14:15 – 14:20 Uhr und Kipplüftung 14:45 – 14:55 Uhr, mittlere Aussentemperatur -1.7 °C.

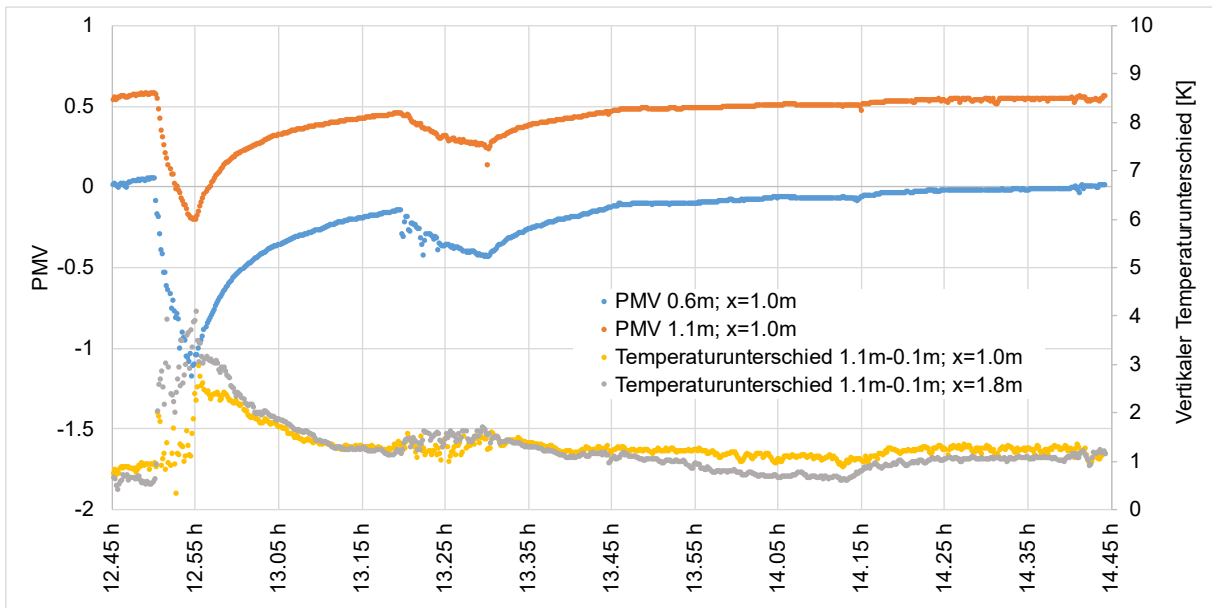


Abb. 138: NL_man_B1_1, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Volllüftung von 12:50 – 12:55 Uhr, Kipplüftung 13:20 – 13:30 Uhr, Türe zu, Fenster zu 13:45 – 14:15 Uhr, Türe offen, Fenster zu 14:15 – 14:45 Uhr, mittlere Aussentemperatur -2.5 °C.

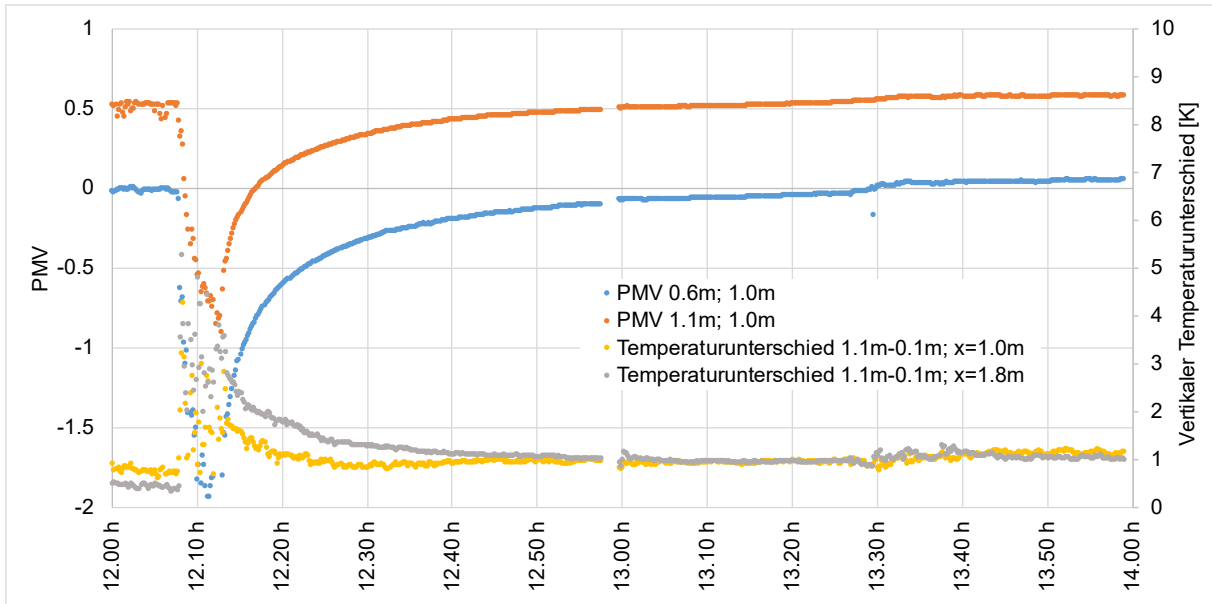


Abb. 139: NL_man_B1_2, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Volllüftung von 12:08 – 12:13 Uhr, Türe zu, Fenster zu 13:00 – 13:30 Uhr, Türe offen, Fenster zu 13:30 – 14:00 Uhr, mittlere Aussentemperatur - 2.5 °C.

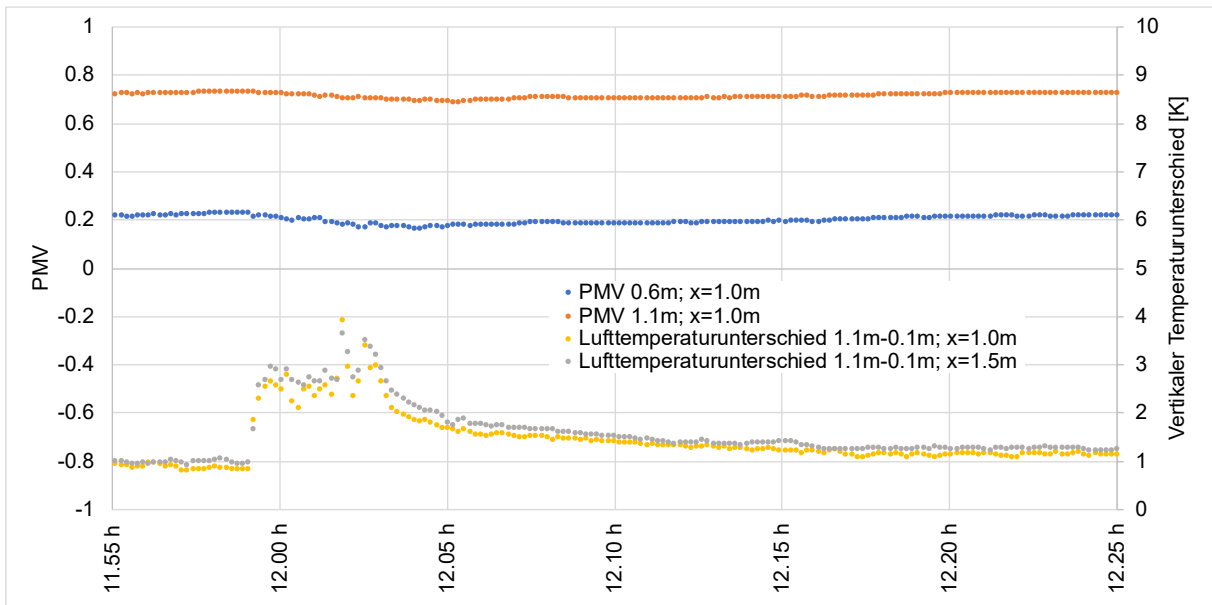


Abb. 140: NL_auto_M1_1, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Vollfüftung von 12:58 – 12:01 Uhr, mittlere Aussentemperatur -0.6 °C.

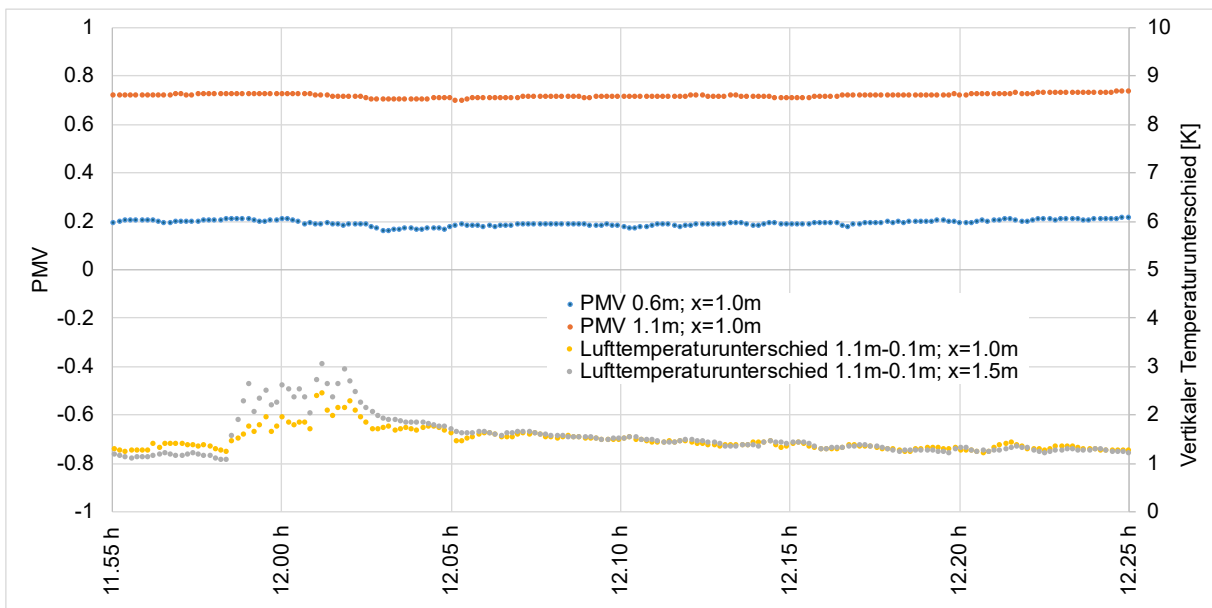


Abb. 141: NL_auto_M1_2, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Vollfüftung von 12:58 – 12:01 Uhr, mittlere Aussentemperatur -0.6 °C.

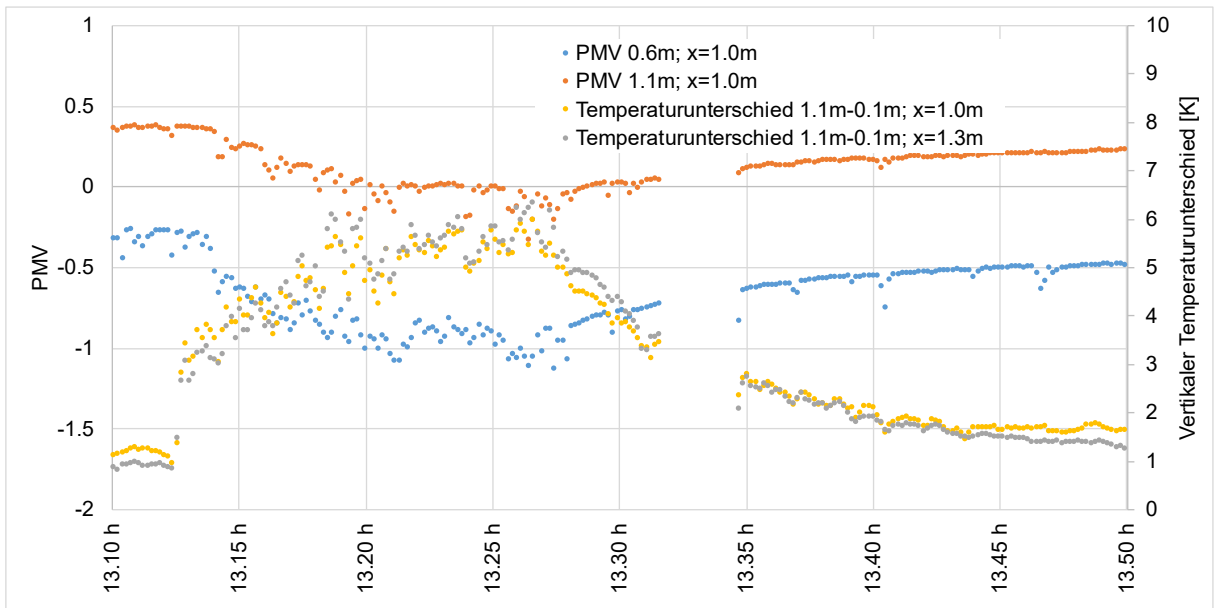


Abb. 142: NL_auto_E1_1, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Volllüftung von 13:13 – 13:28 Uhr, mittlere Aussentemperatur -2.2 °C, Messung gegen Ende verkürzt.

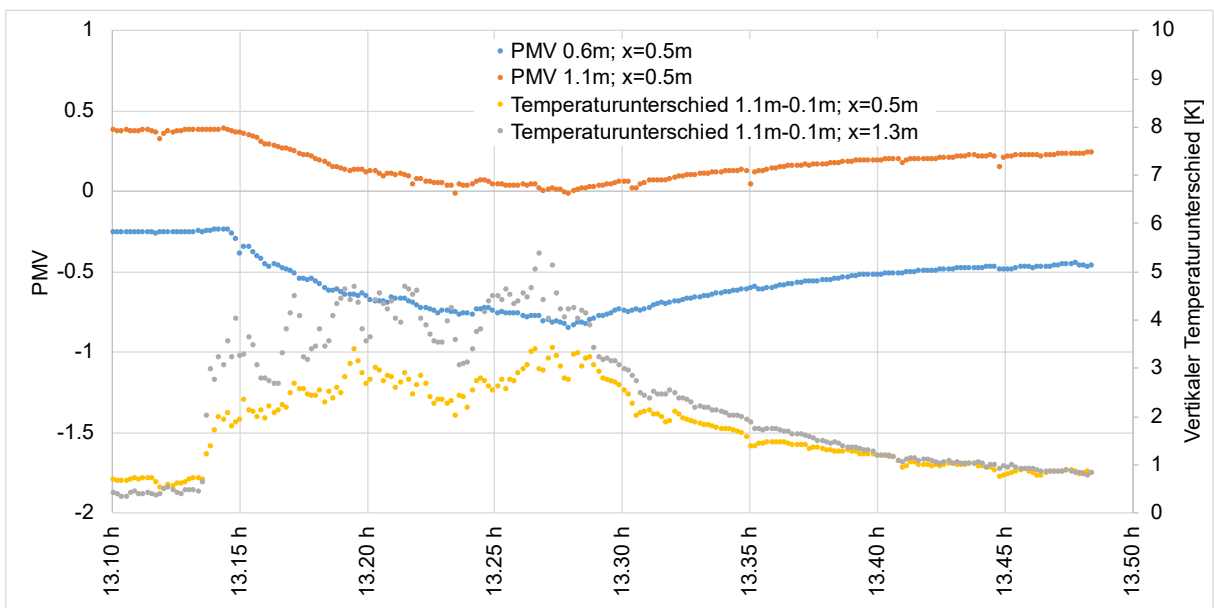


Abb. 143: NL_auto_E1_2, Verlauf PMV und vertikaler Temperaturunterschied (1.1 m – 0.1 m), bei Volllüftung von 13:13 – 13:28 Uhr, mittlere Aussentemperatur -2.2 °C, Messung gegen Ende verkürzt.



12.8.4 Experimentelle Bestimmung Fensterlüftung/Türöffnung

Nachfolgende ist die Häufigkeit der Fensteröffnungen in Abhängigkeit der Aussentemperatur und der CO₂-Konzentration abgebildet. Ein Punkt entspricht einer Lüftungsdauer von einer Minute.

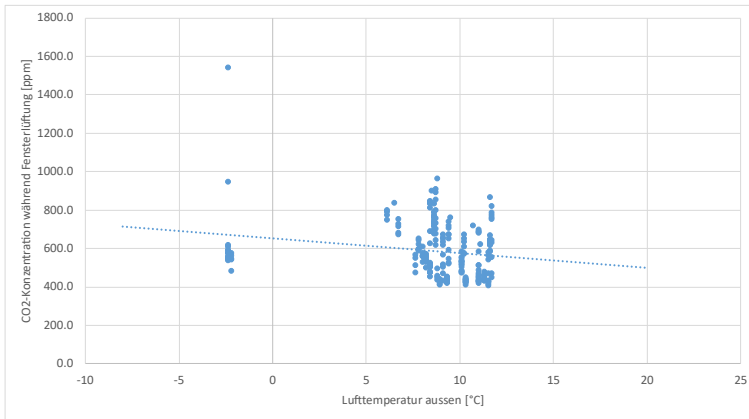


Abb. 144: NL_man_B1_a Vergleich CO₂-Konzentration während Fensterlüftung mit Aussenlufttemperatur.

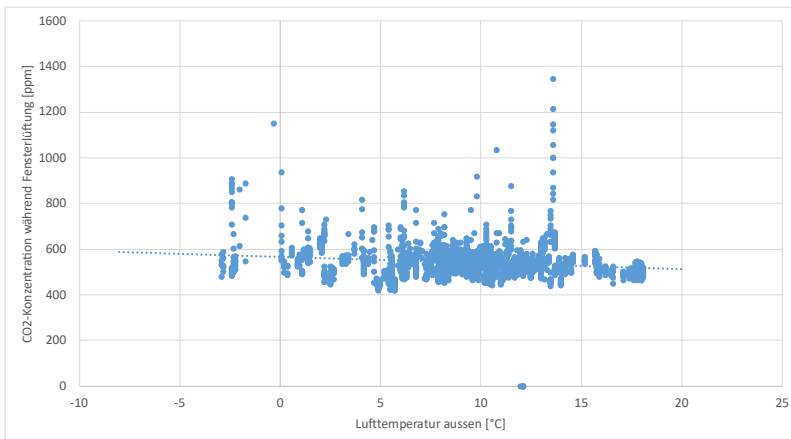


Abb. 145: NL_man_B1_b Vergleich CO₂-Konzentration während Fensterlüftung mit Aussenlufttemperatur.

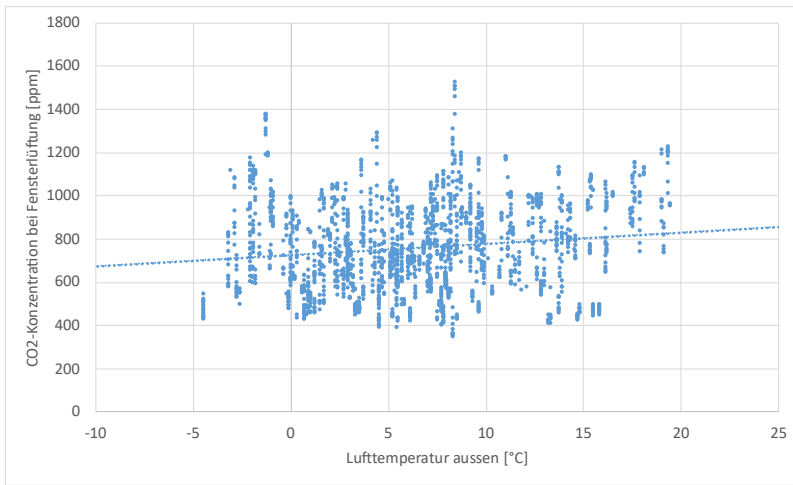


Abb. 146: NL_auto_E1_b Vergleich CO2-Konzentration während Fensterlüftung mit Aussenlufttemperatur.

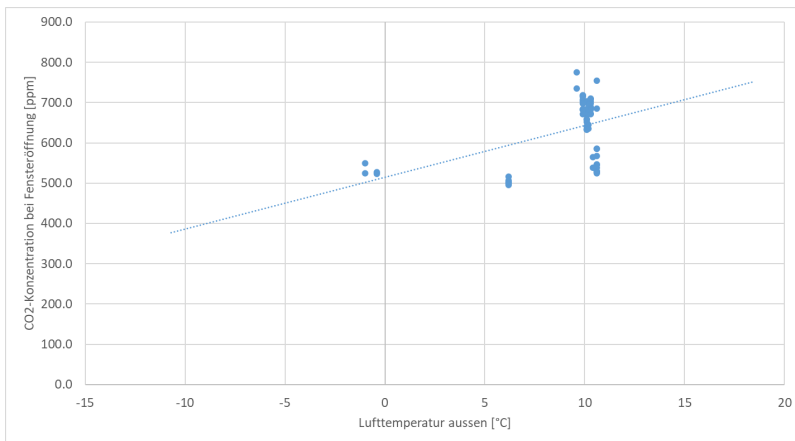


Abb. 147: NL_man_I1_b Vergleich CO2-Konzentration während Fensterlüftung mit Aussenlufttemperatur.



Nachfolgend ist die Häufigkeit der Türöffnungen in Abhängigkeit der mittleren CO₂-Konzentration abgebildet.

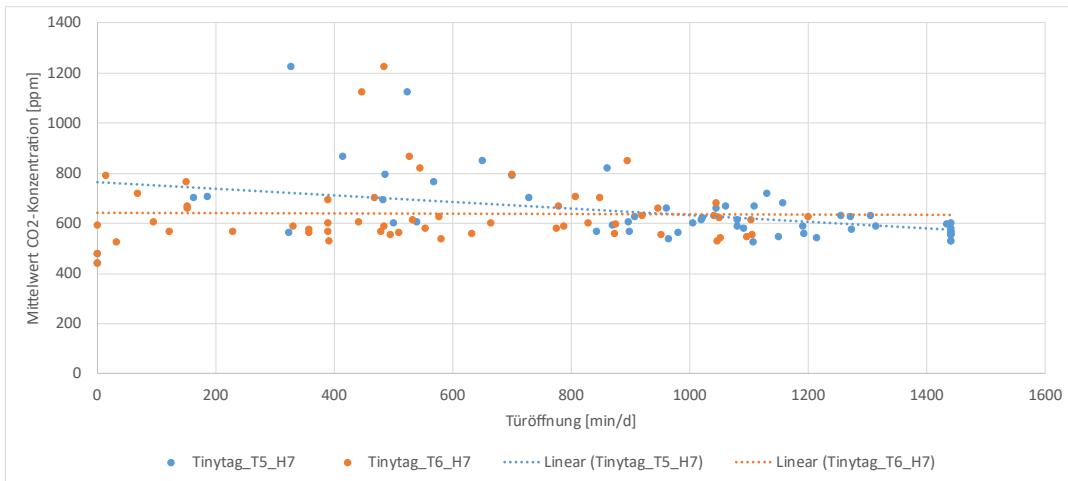


Abb. 148: NL_man_B1_b Vergleich Mittelwert CO₂-Konzentration mit Summe der Türöffnung T5 und T6 pro Tag.

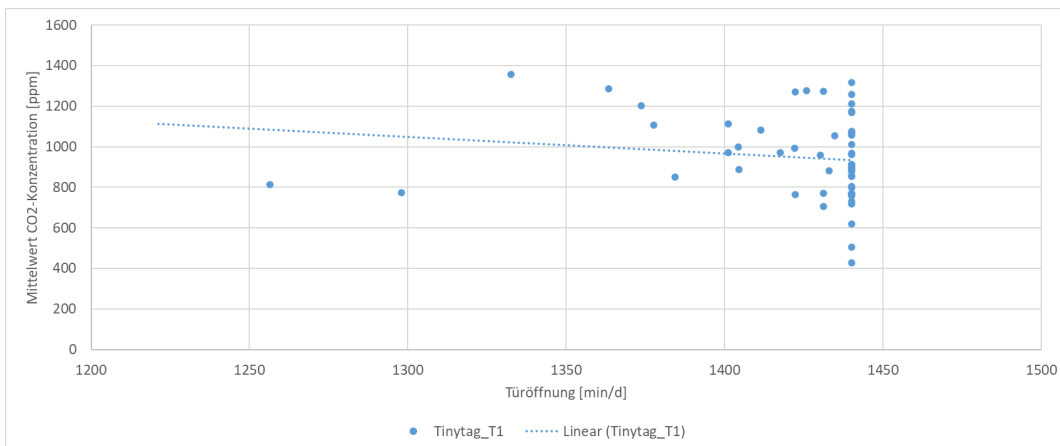


Abb. 149: NL_man_I1_a Vergleich Mittelwert CO₂-Konzentration mit Summe der Türöffnung T1 pro Tag.

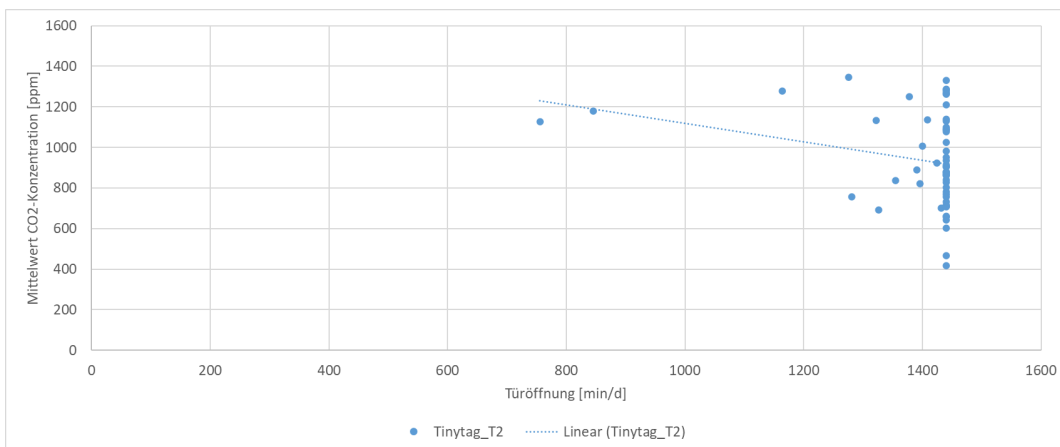


Abb. 150: NL_man_I1_b Vergleich Mittelwert CO₂-Konzentration mit Summe der Türöffnung T2 pro Tag.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

12.9 Details Berechnung Graue Treibhausgasemissionen



12.9.1 LuBo_Z1

LuBo_Z1				
EBF Bsp.	m2	968.7		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	7		
Hypothetische EBF	m2	6780.9		
Fläche WC Bsp.	m2	18		
Fläche Fenster Bsp.	m2	210.96		
			Total THE	Total THE
			kg/m2 a	kg
			AE (red, AE)	AE
Gebäude				
Aushub		0.24	232.49	0.03
Baugrubensicherung		0.85	823.40	0.12
Bodenplatte/Keller		3.85	3729.50	0.55
Gründung		1.63	1578.98	0.23
Wände Keller		2.26	2189.26	0.32
IW Keller		0.39	377.79	0.06
Wände OG Bsp.		1.08	1046.20	
Fenster OG Bsp.		0.74	716.84	
Sonnenschutz Bsp.		0.54	525.29	
IW OG Bsp.		1.45	1404.62	
Decke und Boden OG Bsp.		5.66	5482.84	
übrige OG				6.24
Dach		2.22	2150.51	0.32
Summe				7.87
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.13
Sanitäranlage				0.16
Lüftung				
Geräte				0.55
Lüftungsverteilung				0.29
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.17

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Plan: OG02					
2.OG		15.9	60.8	1.0	968.7
Total					968.7

4.2 Nicht als EBF ausgewiesene Geschossflächen

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Total					0.0

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³	-	kg/m ³ a	kg/m ² a %
Aushub (Platte KG*1.1 + Wand KG + 1 m)	1070.0	1.0	4.4	4675.9	1	0.05	0.24
Total				4675.9		0.05	0.24

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTFa	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² a %
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	Aussen	210.96	3.42	0.68	0.06	0.74
DAA1	None	Dach/Decke	Aussen	971.07	2.21	1.76	0.46	2.22
BO1	None	Zwischendecke	Beheizt	1943.80	2.82	5.02	0.64	5.66
BOA1	inkl. Dämmung gegen EG	Boden	Erdreich	973.08	3.83	2.96	0.89	3.85
AW1	Deckenstirn	Wand	Aussen	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00
AW2	Wand	Wand	Aussen	85.27	2.56	0.19	0.04	0.22
AW3	Stütze	Wand	Aussen	131.12	2.06	0.25	0.03	0.28
AW4	Brüstung	Wand	Aussen	26.89	20.93	0.58	0.00	0.58
AW5	KG	Wand	Erdreich	514.65	4.25	1.78	0.48	2.26
IW1	Wand	Innenwand	Beheizt	232.50	0.95	0.21	0.02	0.23
IW2	Stütze	Innenwand	Beheizt	9.74	2.36	0.02	0.00	0.02
IW3	Wand KG	Innenwand	Unbeheizt	253.65	1.47	0.35	0.03	0.39
IW4	GK	Innenwand	Beheizt	86.53	1.12	0.10	0.00	0.10
IW5	Glaskuben	Innenwand	Beheizt	74.92	9.16	0.71	0.00	0.71

4.5 Gebäudetechnik

Zone 1 - Verwaltung / Neubau

	KBOB Material	spez. Herst.	spez.	Herst.	Entsor.	Total
		kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² a %
D1 - Elektroanlage						
Anlagentyp	Elektroanlagen Büro	22.60	1.47	0.75	0.05	0.80
D5 - Heizungsanlage						
Erzeuger	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	2.55	0.03	0.13	0.00	0.13
Verteilung/Abgabe	Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	11.89	0.91	0.40	0.03	0.43
Erdsondeanlage				0.00	0.00	0.00
D7 - Lüftungsanlage						
Anlagentyp	Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 2 m3/hm2 EBF	19.70	0.47	0.66	0.02	0.67
Erdregister				0.00	0.00	0.00
D8 - Sanitäranlage						
Anlagentyp	Sanitäranlagen, Büro, einfach, inkl. Apparate und Leitungen	3.58	1.15	0.12	0.04	0.16

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
				Jahre	kg/m ²	kg/m ² a %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	514.0	(m2)		1	0	95.68
						0.85
						4.1



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
Länge	m	66
Höhe	m	0.4
Breite	m	0.7
Fläche	m ²	145.2
Abgelesen (Kanal 0.75 mm)	THG (kgCO ₂ -eq/m ²)	22.3 a)
Ergebnis	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	3.34
Kanäle Lüftungsanlage Cafeteria/Küche	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	5.29 b)
Lebensdauer	a	30
Ergebnis pro Geschoss	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.29

Grobschätzung LuBo pro Geschoss und Lüftung Teilflächen		
Einzelraumlüfter mit Sperrholzgehäuse	THG Stk	43.7 c)
E. mit Metallgehäuse und Wärmeübertrager	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	6.25
Heizungsrohr	THG/m	0.90 a)
Länge	m	480
Heizungsrohr gesamt	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	0.45
Lüftungsanlage Teilflächen (3600 m ³)	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	9.71
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis Einzellüfter pro Geschoss	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.55

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Rohr BKT		
m ² mit BKT	m ²	6780.9
Rohrlänge	m	39329
Rohr Fussbodenheizung	THG/m	0.90 a)
Rohr	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	5.22
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.17

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.2 ML_NL_man_Z2

PE nicht erneuerbar

		ML_NL_man_Z2		
EBF Bsp.	m2	6049.4		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	4		
Hypothetische EBF	m2	24197.6		
Fläche WC Bsp.	m2	97		
Fläche Fenster Bsp.	m2	2870.14		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,	AE	AE
		AE)		
Gebäude				
Aushub		0.13	786.42	0.03
Baugrubensicherung		0.22	1330.87	0.06
Bodenplatte/Keller		2.80	16938.32	0.70
Gründung		1.85	11191.39	0.46
Wände Keller		0.61	3690.13	0.15
IW Keller		0.24	1451.86	0.06
Wände OG Bsp.		1.30	7864.22	
Fenster OG Bsp.		1.97	11917.32	
Sonnenschutz Bsp.		0.95	5730.71	
IW OG Bsp.		0.50	3024.70	
Decke und Boden OG Bsp.		5.05	30549.47	
übrige OG				6.61
Dach		2.27	13732.14	0.57
Summe				8.64
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.43
Sanitäranlage				0.16
Lüftung				
Geräte				1.01
Lüftungsverteilung				0.70
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.30

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Plan: 2.OG_EBF.pdf					
2. OG	4486.6		1.0	1.0	4486.6
Plan: 2.ZG.pdf					
	121.8	1.0	1.0	121.8	1
	806.8	1.0	1.0	806.8	1
	4.2	3.5	1.0	14.6	1
	12.5	4.2	1.0	51.8	1
	93.0	1.0	1.0	93.0	1
	7.1	7.2	1.0	51.2	1
	41.9	1.0	1.0	41.9	1
	4.4	4.2	1.0	18.3	1
	7.7	4.0	1.0	31.3	1
	3.9	8.7	1.0	33.5	1
	247.0	1.0	1.0	247.0	1
	4.3	4.0	1.0	17.5	1
	8.3	4.1	1.0	34.0	1
Total				6049.4	

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³	-	kg/m ³ a	kg/m ² a %
Grundfläche KG *1.1 , Tiefe KG +1 m	3638.0	1.0	4.4	16007.2	1	0.05	0.13
Total				16007.2		0.05	0.13

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTFa	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² a %
F	Fensterzusammens	Fenster	Aussen	2870.14	4.16	1.82	0.15	1.97
BOI	Boden, innen	Zwischendecke	Beheizt	9435.09	3.13	4.42	0.46	4.87
BOA01	Bodenplatte	Boden	Erdreich	4484.32	3.78	2.15	0.65	2.80
BOA02	Fundament	Boden	Erdreich	2366.00	4.72	1.69	0.16	1.85
DAA	Dach	Dach/Decke	Aussen	4484.00	3.06	1.79	0.48	2.27
WAA01	Aussenwand KG	Wand	Aussen	840.45	4.37	0.48	0.13	0.61
WAA02	Brüstung	Wand	Aussen	370.75	21.28	1.30	0.00	1.30
WAI01	Innenwand Bet. 35	Innenwand	Beheizt	435.24	2.06	0.14	0.01	0.15
WAI02	Innenwand Bet. 20	Innenwand	Beheizt	57.11	0.00	0.00	0.00	0.00
WAI03	Innenwand KS 20	Innenwand	Beheizt	195.31	0.97	0.03	0.00	0.03
WAI05	Innenwand Bet. 30,	Innenwand	Beheizt	830.59	1.77	0.22	0.02	0.24
WAI04	Stütze	Innenwand	Beheizt	209.28	2.36	0.07	0.01	0.08
BOI2	Holz	Boden	Beheizt	241.19	0.39	0.01	0.00	0.02
BOI3	Leichtbau	Boden	Beheizt	884.49	1.06	0.14	0.01	0.16

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
	-	-	-	Jahre	kg/m ²	kg/m ² a %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	840.5	(m2)		1	0	95.68
						0.22
						1.2



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
EBF Geschoss	m2	6049
Luftmenge pro Geschoss (Abluft)	m3/h	45915
	m3/hm2	7.6
Abgelesene THG Diagramm Luftverteilung	THG (kgCO2-eq/m2EBF)	21 b)
Lebensdauer	a	30
Ergebnis Luftverteilung (Zu-und Abluft)	THG (kgCO2-eq/m2EBF/a)	0.70

Lüftungsgeräte		
Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 8 m3/hm2 EBF	THG (kgCO2-eq/m2EBF/a)	1.71 c)
Geräte (abzüglich Luftverteilung)	THG (kgCO2-eq/m2EBF/a)	1.01

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO2-eq/m2EBF/a)	0.12

Kühlung		
Kühldecken	THG/m2	27 a)
Annahme 1/3 Decke belegt	THG (kgCO2-eq/m2EBF)	8.91
Lebensdauer	a	30
Ergebnis Kühldecken	THG (kgCO2-eq/m2EBF/a)	0.30

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.3 LuBo_Z3

PE nicht erneuerbar

LuBo_Z3				
EBF Bsp.	m2	2846.7		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	6		
Hypothetische EBF	m2	17080.2		
Fläche WC Bsp.	m2	0		
Fläche Fenster Bsp.	m2	500.08		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,	AE	AE
		AE)		
Gebäude				
Aushub		0.19	540.87	0.03
Baugrubensicherung		0.76	2163.49	0.13
Bodenplatte/Keller		3.36	9564.91	0.56
Gründung		1.63	4640.12	0.27
Wände Keller		2.20	6262.74	0.37
IW Keller		1.61	4583.19	0.27
Wände OG Bsp.		0.67	1907.29	
Fenster OG Bsp.		0.60	1708.02	
Sonnenschutz Bsp.		0.44	1245.20	
IW OG Bsp.		1.83	5209.46	
Decke und Boden OG Bsp.		4.30	12240.81	
übrige OG				5.33
Dach		4.13	11756.87	0.69
Summe				7.64
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.43
Sanitäranlage				0.16

Lüftung				
Geräte				0.45
Lüftungsverteilung				0.39
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.30

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Plan: O3_EBF.pdf					
OG		2846.7	1.0	1.0	2846.7
Total					2846.7

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³	-	kg/m ³ a	kg/m ² a %
Aushub	2198.0	1.0	5.0	10990.0	1	0.05	0.19
Total				10990.0		0.05	0.19

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTFa	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² a %
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	Aussen	500.08	3.42	0.55	0.05	0.60 3.2
DA_01	A, B, C Flachdach nicht	Dach/Decke	Aussen	2858.50	3.40	2.47	0.94	3.41 18.4
WA2	F Element Holzbau	Wand	Aussen	317.12	2.67	0.29	0.01	0.30 1.6
WA5	F Element Beton, Dach	Wand	Aussen	557.20	3.69	0.70	0.02	0.72 3.9
WA3	G Element mit Beton	Wand	Aussen	255.10	3.11	0.27	0.01	0.28 1.5
WA4	H Sichtbeton	Wand	Aussen	112.13	2.27	0.07	0.02	0.09 0.5
WE1	M gegen Erdreich	Wand	Erdreich	0.00	3.27	0.00	0.00	0.00 0.0
WE2	R gegen Erdreich	Wand	Erdreich	1210.64	5.16	1.77	0.43	2.20 11.8
IW4	Beton 20 KG	Wand	Beheizt	924.82	1.18	0.35	0.03	0.38 2.1
IW5	Beton 40 KG	Wand	Beheizt	1486.29	2.36	1.13	0.11	1.23 6.6
IW1	Beton 20	Wand	Beheizt	114.15	1.18	0.04	0.00	0.05 0.3
IW2	Beton 40	Wand	Beheizt	1182.29	2.36	0.90	0.08	0.98 5.3
IW3	Glas	Wand	Beheizt	498.95	4.58	0.80	0.00	0.80 4.3
BE1	K gegen Erdreich	Boden	Erdreich	2198.00	4.36	2.97	0.40	3.36 18.1
BE2	Fundament	Boden	Erdreich	840.89	3.54	0.96	0.09	1.05 5.6
B11	Boden innen	Zwischendecke	Beheizt	2846.70	2.15	1.87	0.27	2.15 11.6

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
				Jahre	kg/m ²	kg/m ² a %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	1360.0	(m2)	1	0	95.68	0.76 4.1



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
Länge	m	530
Höhe	m	0.4
Breite	m	0.7
Fläche	m ²	1166
Abgelesen (Kanal 0.75 mm)	THG (kgCO ₂ -eq/m ²)	22.3 a)
Ergebnis	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	9.13
Kanäle Lüftungsanlage Cafeteria/Küche	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	4.55 b)
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.46

Grobschätzung LuBo pro Geschoss und Lüftung Teilflächen		
Einzelraumlüfter mit Sperrholzgehäuse	THG Stk	43.7 c)
E. mit Metallgehäuse und Wärmeübertrager	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	4.68
Heizungsrohr	THG/m	0.90 a)
Länge	m	4080
Heizungsrohr gesamt	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	0.21
Lüftungsanlage Teilflächen (3400 m ³)	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	10.45
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.51

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Kühldecken	THG/m ²	27 a)
Annahme 1/3 mit Kühldecke belegt	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	8.91
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.30

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.4 NL_auto_E1

PE nicht erneuerbar

NL_auto_E1				
EBF Bsp.	m2	571.5		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	5		
Hypothetische EBF	m2	2857.5		
Fläche WC Bsp.	m2	35		
Fläche Fenster Bsp.	m2	0.00		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,		AE
		AE)		
Gebäude				
Aushub		0.14	82.01	0.03
Baugrubensicherung		0.00	0.00	0.00
Bodenplatte/Keller		4.55	2600.33	0.91
Gründung		0.53	302.90	0.11
Wände Keller		0.00	0.00	0.00
IW Keller		0.00	0.00	0.00
Wände OG Bsp.		1.96	1120.14	
Fenster OG Bsp.		0.45	257.18	
Sonnenschutz Bsp.				
IW OG Bsp.		1.57	897.26	
Decke und Boden OG Bsp.		3.31	1891.67	
übrige OG				5.30
Dach		5.68	3246.12	1.14
Summe				7.48
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				
Sanitäranlage				0.16
Lüftung				
Geräte				
Lüftungsverteilung				
Abluft WC				0.12
Kühlung				

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_E)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Plan: Grundriss					
2. OG		15.8	36.1	1.0	571.5
Total					571.5

4.2 Nicht als EBF ausgewiesene Geschossflächen

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Total				0.0	

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³	-	kg/m ³ a	kg/m ³ %
Aushub	36.1	15.9	1.5	861.6	1	0.00	0.00
Total				861.6		0.00	0.00

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTfA	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² %
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	Aussen	99.93	2.58	0.42	0.03	0.45
1	BOA1	Boden	Aussen	574.36	4.53	3.54	1.02	4.55
2	BOI2	Zwischendecke	Beheizt	1148.72	1.65	2.93	0.38	3.31
3	DAA1	Dach/Decke	Aussen	589.06	5.51	4.64	1.04	5.68
4	WAA1	Wand	Aussen	272.59	3.53	1.61	0.08	1.68
5	LKA	Wand	Aussen	20.84	7.57	0.27	0.00	0.28
6	IW	Innenwand	Beheizt	188.41	1.25	0.38	0.04	0.41
8	Streifenfundament	Boden	Erdreich	124.08	5.81	1.06	0.20	1.26
9	IW_Glas	Innenwand	Beheizt	72.19	9.16	1.15	0.00	1.16

4.5 Gebäudetechnik

Zone 1 - Verwaltung / Neubau

	KBOB Material	spez. Herst.	spez.	Herst.	Entsor.	Total
	-	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² %
D1 - Elektroanlage						
Anlagentyp	Elektroanlagen Büro	22.60	1.47	0.75	0.05	0.80
D5 - Heizungsanlage						
Erzeuger	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	2.55	0.03	0.13	0.00	0.13
Verteilung/Abgabe	Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 30	11.89	0.91	0.40	0.03	0.43
Erdsondeanlage				0.00	0.00	0.00
D7 - Lüftungsanlage						
Anlagentyp				0.00	0.00	0.00
Erdregister				0.00	0.00	0.00
D8 - Sanitäranlage						
Anlagentyp				0.00	0.00	0.00

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
	-	-	-	Jahre	kg/m ²	kg/m ² %
Tiefgründung, Ortbetonbohrpfahl, 1200 mm		48.0 (m)	1	0	379.00	0.53
						2.6



12.9.5 NL_auto_L1

PE nicht erneuerbar

		NL_auto_L1		
EBF Bsp.	m2	0.0		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	6		
Hypothetische EBF	m2	3201.0		
Fläche WC Bsp.	m2	0		
Fläche Fenster Bsp.	m2	0.00		
		Total THE kg/m2 a AE (red, AE)	Total THE kg	Total THE kg/m2 a AE
Gebäude				
Aushub		0.00	0.00	0.03
Baugrubensicherung		0.00	0.00	0.00
Bodenplatte/Keller		0.00	0.00	0.44
Gründung		0.00	0.00	0.00
Wände Keller		0.00	0.00	0.00
IW Keller		0.00	0.00	0.00
Wände OG Bsp.		0.00	0.00	0.26
Fenster OG Bsp.		0.00	0.00	0.06
Sonnenschutz Bsp.		0.00	0.00	0.00
IW OG Bsp.		0.00	0.00	0.44
Decke und Boden OG Bsp.		0.00	0.00	0.42
übrige OG				6.66
Dach		0.00	0.00	0.76
Summe				7.89
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				
Sanitäranlage				0.16
Quelle: Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude,				
Lüftung				
Geräte				
Lüftungsverteilung				
Abluft WC				0.12
Kühlung				



12.9.6 NL_auto_M1

PE nicht erneuerbar

NL_auto_M1				
EBF Bsp.	m2	1771.3		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	2		
Hypothetische EBF	m2	3542.6		
Fläche WC Bsp.	m2			
Fläche Fenster Bsp.	m2	305.23		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,		AE
		AE)		
Gebäude				0.06
Aushub				0.24
Baugrubensicherung				2.11
Bodenplatte/Keller				0.46
Gründung				0.00
Wände Keller				0.00
IW Keller				0.69
Wände OG Bsp.				0.25
Fenster OG Bsp.				0.17
Sonnenschutz Bsp.				1.23
IW OG Bsp.				1.97
Decke und Boden OG Bsp.				
übrige OG				1.88
Dach				9.06
Summe				
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.13
Sanitäranlage				0.16

Lüftung				
Geräte				0.30
Lüftungsverteilung				0.20
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.17

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	-
Plan: Grundriss_OG_EBF.pdf					
OG		1850.4	1.0	1.0	1850.4
Plan: Grundriss_EG_EBF.pdf					
EG		1680.7	1.0	1.0	1680.7
EG		11.4	1.0	1.0	11.4
Total					3542.6

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³	-	kg/m ³ a	kg/m ² %
Mittelwert, da Gebäude im Hang	1.0	1692.0	2.5	4230.0	1	0.05	0.06
Total				4230.0		0.05	0.06

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTFa	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² %
F	Fensterzusammenste	Fenster	Aussen	305.23	2.86	0.23	0.02	0.25
DA1	Dach	Dach/Decke	Aussen	1850.44	3.61	1.58	0.30	1.88
BOA1	Boden geg. aussen	Boden	Aussen	158.44	4.04	0.16	0.02	0.18
BOI1	Boden innen	Zwischendeck	Beheizt	1692.00	3.74	1.58	0.21	1.79
BOE1	Boden EG	Boden	Erdreich	1692.00	4.42	1.77	0.34	2.11
WA1	Wand	Wand	Aussen	826.25	1.74	0.39	0.02	0.41
WA2	Opak Fenster	Wand	Aussen	74.15	0.74	0.01	0.00	0.02
WA3	Lüftungsfügel	Wand	Aussen	31.68	1.82	0.01	0.00	0.02
WA4	Fundament	Wand	Erdreich	384.78	4.19	0.40	0.06	0.46
WE1	geg. Erdreich	Wand	Erdreich	219.00	4.48	0.24	0.04	0.28
IW1	IW Leichtbau Dummy	Innenwand	Beheizt	1625.90	0.00	0.00	0.00	0.00
IW3	IW Glas	Innenwand	Beheizt	399.40	9.16	1.03	0.00	1.03
IW2	IW Beton	Innenwand	Beheizt	287.58	1.77	0.13	0.01	0.14

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
	-	-	-	Jahre	kg/m ²	kg/m ² %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	527.0	(m2)	1	0	95.68	0.24
						2.7



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
Luftmenge Gebäude (Mittelwert)	m ³ /hm ²	0.87
Abgelesene THG Diagramm Luftverteilung	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	6.05 b)
Lebensdauer	a	30.00
Ergebnis Luftverteilung (Zu-und Abluft)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.20

Lüftungsgeräte		
Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 1 m ³ /hm ² EBF	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF/a)	15 c)
Geräte (abzüglich Luftverteilung)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.30

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Rohr BKT		
m ² mit BKT	m ²	3543
Rohrlänge	m	20547
Rohr Fussbodenheizung	THG/m	0.9 a)
Rohr	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	5.22
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.17

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.7 FeLue_R1

PE nicht erneuerbar

FeLue_R1				
EBF Bsp.	m2	424.45		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	4		
Hypothetische EBF	m2	1697.8		
Fläche WC Bsp.	m2			
Fläche Fenster Bsp.	m2	276.16		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,		AE
		AE)		
Gebäude				0.06
Aushub				0.67
Baugrubensicherung				1.59
Bodenplatte/Keller				0.25
Gründung				0.22
Wände Keller				0.07
IW Keller				
Wände OG Bsp.				2.22
Fenster OG Bsp.				0.42
Sonnenschutz Bsp.				0.41
IW OG Bsp.				1.12
Decke und Boden OG Bsp.				1.06
übrige OG				
Dach				1.85
Summe				9.94
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.13
Sanitäranlage				0.16

Lüftung				
Geräte				
Lüftungsverteilung				
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.13

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge m	Breite m	Anzahl Stk	Fläche m ²	Zone
UG		58.8	1.0	1.0	58.8
EG		388.6	1.0	1.0	388.6
1. OG		384.5	1.0	1.0	384.5
2. OG		384.5	1.0	1.0	384.5
3. OG		384.5	1.0	1.0	384.5
Plan: Technikgeschoss.pdf					
		10.8	9.0	1.0	96.9
Total					1697.8

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge m	Breite m	Tiefe m	Volumen m ³	Zone	spez. gr. Ener. kg/m ³ a	Total kg/m ² %
None	26.0	20.0	4.0	2080.0	-	0.05	0.06
Total				2080.0			0.05

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche m ²	je Bauteilfläche kg/m ² BTfA	Herstellung kg/m ² a	Entsorgung kg/m ² a	Total kg/m ² %
F	Fensterzusammenstellu	Fenster	Aussen	276.16	2.59	0.38	0.04	0.42
BE_01	Fundament			144.37	2.95	0.23	0.02	0.25
BE_02	031 Bodenplatte UG	Boden	Erdreich	629.26	4.29	1.31	0.28	1.59
DA_01	041	Dach/Decke	Aussen	420.70	5.01	0.96	0.28	1.24
BU_02	032 UG, iso	Boden	Unbeheizt	388.63	2.08	0.44	0.04	0.48
BA_01	033 geg. Aussenluft	Boden	Aussen	68.31	6.02	0.22	0.02	0.24
DU_01	034 Decke Garage	Dach/Decke	Aussen	174.13	3.63	0.30	0.07	0.37
DU_02	035 3 OG, uniso	Dach/Decke	Unbeheizt	51.72	1.77	0.05	0.00	0.05
DI_01	036 Decke EG, 1, 2	Dach/Decke	Beheizt	384.52	2.34	0.48	0.05	0.53
IW_01	025 UG, iso	Wand	Unbeheizt	53.67	2.18	0.06	0.01	0.07
IW_02	026 UG, unisoliert	Wand	Unbeheizt	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00
IW_03	027 UG Backstein, iso	Wand	Unbeheizt	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00
IW_04	Glas	Wand	Beheizt	77.40	9.16	0.42	0.00	0.42
IW_05	Beton			807.58	1.47	0.64	0.06	0.70
IW_06	Dummy			571.55	0.07	0.02	0.00	0.02
WA_01	021 Sandwich	Wand	Aussen	397.68	1.85	0.35	0.08	0.43
WE_01	022 UG, iso	Wand	Erdreich	166.36	2.22	0.18	0.04	0.22
WA_02	023 Fassadenplatte	Wand	Aussen	762.41	3.98	1.57	0.22	1.79

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort. Jahre	spez. gr. kg/m ²	Total kg/m ² %
Baugrubensicherung, Rühlwand, gespriesst	368.0	(m2)	-	1	0	186.26
						0.67
						7.0



Details Gebäudetechnik

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Rohr BKT		
m ² mit BKT	m ²	1273
Rohrlänge	m	7385
Rohr Fussbodenheizung	THG/m	0.9 a)
Rohr	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	3.92
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.13

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.8 NL_man_I1

PE nicht erneuerbar

		NL_man_I1		
EBF Bsp.	m2	2175		
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk	4		
Hypothetische EBF	m2	8700		
Fläche WC Bsp.	m2			
Fläche Fenster Bsp.	m2	655.63		
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red, AE)		AE
Gebäude				
Aushub		0.28	609.00	0.07
Baugrubensicherung		0.69	1500.75	0.17
Bodenplatte/Keller		6.80	14790.00	1.70
Gründung		0.98	2131.50	0.25
Wände Keller		0.84	1827.00	0.21
IW Keller		0.91	1979.25	0.23
Wände OG Bsp.		0.03	65.25	
Fenster OG Bsp.		0.64	1392.00	
Sonnenschutz Bsp.		0.75	1632.52	
IW OG Bsp.		1.53	3327.75	
Decke und Boden OG Bsp.		5.98	13006.50	
übrige OG				5.19
Dach		3.34	7264.50	0.84
Summe				8.65
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.13
Sanitäranlage				0.16

Lüftung				
Geräte				0.37
Lüftungsverteilung				0.30
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.17

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m2	-
Plan: 2.OG-2006_EBF.pdf					
		776.1	1.0	1.0	776.1
		584.3	1.0	1.0	584.3
		583.4	1.0	1.0	583.4
		29.8	7.8	1.0	231.8
Total					2175.7

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m3	-	kg/m ³ a	kg/m ² %
Aushub	2463.0	1.0	5.0	12315.0	1	0.05	0.28
Total				12315.0		0.05	0.28

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTfA	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m ² %
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	Aussen	655.63	2.14	0.59	0.06	0.64
DA1	Dach	Dach/Decke	Aussen	2175.00	3.34	2.88	0.46	3.34
BOU1	Boden gegen Keller	Dach/Decke	Unbeheizt	2463.65	3.66	3.50	0.65	4.15
BOI1	Boden innen	Zwischendecke	Beheizt	2175.00	2.99	2.72	0.27	2.99
BOE	Boden KG	Boden	Erdreich	2269.67	2.54	2.40	0.26	2.65
WAE1	Wand Erdreich	Wand	Erdreich	936.06	1.95	0.77	0.07	0.84
WAA1	Wand aussen	Wand	Aussen	139.16	0.44	0.02	0.00	0.03
WAI1	Wand BSH 10 cm	Innenwand	Beheizt	770.87	0.52	0.16	0.03	0.19
WAI2	Wand BSH 30 cm	Innenwand	Beheizt	146.39	0.86	0.05	0.01	0.06
WAI3	Wand Bet. KG	Innenwand	Beheizt	614.41	1.47	0.38	0.04	0.42
WAI6	Wand Bet.	Innenwand	Beheizt	449.81	1.47	0.28	0.03	0.30
WAI4	Schrank	Innenwand	Beheizt	583.00	0.49	0.11	0.02	0.13
WAI5	KS KG	Innenwand	Beheizt	1321.87	0.81	0.45	0.04	0.49
WAI7	KS	Innenwand	Beheizt	37.09	0.81	0.01	0.00	0.01
BOE2	Fundament	Boden	Erdreich	900.00	2.36	0.89	0.08	0.98
WAI8	Glas und Rahmen			177.86	9.16	0.75	0.00	0.75
WAI9	Glas			134.31	1.50	0.09	0.00	0.09

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
				Jahre	kg/m ²	kg/m ² %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	936.0	(m2)	1	0	95.68	0.69



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
Luftmenge Gebäude (Mittelwert)	m ³ /hm ²	2.21
Abgelesene THG Diagramm Luftverteilung	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	9.04 b)
Lebensdauer	a	30.00
Ergebnis Luftverteilung (Zu-und Abluft)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.30

Lüftungsgeräte		
Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 2 m ³ /hm ² EBF	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF/a)	20.2 c)
Geräte (abzüglich Luftverteilung)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.37

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Rohr BKT		
m ² mit BKT	m ²	8700
Rohrlänge	m	50460
Rohr Fussbodenheizung	THG/m	0.9 a)
Rohr	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	5.22
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.17

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]



12.9.9 ML_NL_man_B1

PE nicht erneuerbar

ML_NL_man_B1				
EBF Bsp.	m2			
Stockwerke inkl. EG und DG	Stk			
Hypothetische EBF	m2	9972		
Fläche WC Bsp.	m2			
Fläche Fenster Bsp.	m2			
		Total THE	Total THE	Total THE
		kg/m2 a	kg	kg/m2 a
		AE (red,		AE
		AE)		
Gebäude				0.02
Aushub				0.07
Baugrubensicherung				0.26
Bodenplatte/Keller				0.07
Gründung		1.63	709.05	0.19
Wände Keller				0.06
IW Keller				
Wände OG Bsp.				0.70
Fenster OG Bsp.				0.62
Sonnenschutz Bsp.				0.86
IW OG Bsp.				0.38
Decke und Boden OG Bsp.				
übrige OG				0.46
Dach				
Summe				3.69
Gebäudetechnik				
Elektroanlage				0.80
Heizung				0.43
Sanitäranlage				0.16

Lüftung				
Geräte				0.59
Lüftungsverteilung				0.43
Abluft WC				0.12
Kühlung				0.03

4. Eingabe-Details

4.1 Energiebezugsfläche EBF (A_e)

Etage/Zone/Raum	Länge	Breite	Anzahl	Fläche	Zone
	m	m	Stk	m ²	
Verwaltung 1969 (Umb)		1.0	5326.0	1.0	5326.0
Verwaltung (NB)		1.0	3776.0	1.0	3776.0
Archiv		1.0	870.0	1.0	870.0
Total					9972.0

Total Zone 1: 5326.0 m² Total Zone 2: 3776.0 m² Total Zone 3: 870.0 m²

4.3 Aushub

Bezeichnung	Länge	Breite	Tiefe	Volumen	Zone	spez. gr. Ener.	Total
	m	m	m	m ³		kg/m ³ a	kg/m %
Archiv	1.0	435.0	10.0	4350.0	3	0.05	0.02
Total				4350.0		0.05	0.02

Total Zone 3: 4350.0 m³

4.4 Bauteile

Nr	Bezeichnung	Art	Typ	Fläche	je Bauteilfläche	Herstellung	Entsorgung	Total
				m ²	kg/m ² BTFa	kg/m ² a	kg/m ² a	kg/m %
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	Aussen	2772.00	2.52	0.65	0.05	0.70
DAU_1	Du1	Dach/Decke	Unbeheizt	1025.00	0.50	0.05	0.01	0.05
DA1	Da2/5	Dach/Decke	Aussen	1022.00	2.59	0.21	0.06	0.27
DA2	Da3	Dach/Decke	Unbeheizt	220.00	1.95	0.04	0.01	0.04
DA3	Da4	Dach/Decke	Unbeheizt	435.00	2.36	0.08	0.02	0.10
WU1	Wu1	Wand	Unbeheizt	100.00	0.77	0.01	0.00	0.01
WE1	We1	Wand	Aussen	498.00	2.27	0.09	0.03	0.11
WE2	We2	Wand	Aussen	126.00	2.59	0.02	0.01	0.03
WE3	We3	Wand	Erdreich	119.70	3.05	0.03	0.00	0.04
BU1	Bu1	Boden	Unbeheizt	424.00	0.71	0.02	0.01	0.03
BE1	Be1	Boden	Erdreich	0.00	3.42	0.00	0.00	0.00
BE2	Be2	Boden	Erdreich	435.00	2.32	0.09	0.01	0.10
BE3	Be3	Boden	Erdreich	282.00	3.57	0.07	0.03	0.10
BE4	Be4	Boden	Erdreich	215.00	1.54	0.03	0.00	0.03
IW1	Stuetze	Wand	Beheizt	119.97	2.65	0.03	0.00	0.03
IW2	Beton	Wand	Beheizt	466.71	1.25	0.05	0.01	0.06
IW3	KS	Wand	Beheizt	404.47	1.04	0.04	0.00	0.04
IW4	Ausbau (Dummy)	Wand	Beheizt	2150.89	0.04	0.01	0.00	0.01
BOI	Boden Innen	Boden	Beheizt	1334.31	2.84	0.35	0.03	0.38

4.6 Gebäudetechnik Extras

Bauteil	Eingabe/Wert	Grösse/Bezug	Zone	Amort.	spez. gr.	Total
				Jahre	kg/m ²	kg/m %
Baugrubensicherung, Spundwand, gespriesst	435.0	(m2)	-	1	0	95.68



Details Gebäudetechnik

Luftverteilung		
Luftmenge Gebäude (Mittelwert)	(m ³ /hm ²)	4.01
Abgelesene THG Diagramm Luftverteilung	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	13.04 b)
Lebensdauer	a	30
Ergebnis Luftverteilung (Zu-und Abluft)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.43

Lüftungsgeräte		
Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 8 m ³ /hm ² EBF	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF/a)	30.60 c)
Geräte (abzüglich Luftverteilung)	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.59

Lüftung WC		
Einfache Abluftanlage Küche/Bad	THG /EBF	3.64
Lebensdauer Anlage	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.12

Kühlung		
Rohr BKT		
m ² mit BKT (2* Neubau)	m ²	1662
Rohrlänge	m	9639.6
Rohr Fussbodenheizung	THG/m	0.9 a)
Rohr	THG (kgCO ₂ -eq/m ² EBF)	0.87
Lebensdauer	a	30
Ergebnis	THG (kgCO₂-eq/m²EBF/a)	0.03

Quellen:

a) [21]

b) [22]

c) [18]