



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Energieforschung



**Stadt Zürich**  
Hochbaudepartement

Schlussbericht 2023

---

# Schwerkraftlüftung – Monitoring Mehrfamilienhaus Eidgenossenweg

---



© M. Hall 2021



Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik

**Diese Studie wird im Auftrag vom BFE und dem AHB Stadt Zürich erstellt.**

**Datum:** 22. Mai 2023

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Gebäude und Städte  
CH-3003 Bern

Amt für Hochbauten Zürich  
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik  
Franz Sprecher  
Lindenhofstrasse 21  
CH-8021 Zürich

BFE-Bereichsleitung:

Andreas Eckmanns,  
andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung:

Nadège Vetterli,  
nadege.vetterli@anex.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502281-01

**Auftragnehmer/in:**

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau INEB  
Hofackerstrasse 30  
CH-4132 Muttenz  
www.fhnw.ch/ineb

**Autor/in:**

Monika Hall, monika.hall@fhnw.ch

**Mitarbeit**

Vincent Gerber  
Asim Kumalic  
Achim Geissler

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



## Zusammenfassung

Aufgrund sehr guter Erfahrungen einer Baugenossenschaft mit einer Schwerkraftlüftung (Schachtlüftung) zur Belüftung von innenliegenden Bädern in bestehenden Mehrfamilienhäusern werden die an derselben Stelle erbauten Ersatzneubauten ebenfalls mit einer Schwerkraftlüftung ausgerüstet. Ziel dieses Projekt ist es, mit einem Monitoring die Möglichkeiten und Grenzen der Schwerkraftlüftung für innenliegenden Bäder an einem der Ersatzneubauten aufzuzeigen.

Bei dem Ersatzneubau ist die manuelle Fensterlüftung die Hauptlüftung der Wohnungen. Zur Belüftung der innenliegenden Bäder wird auf bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren verzichtet und stattdessen die Schwerkraftlüftung vom Typ «Kölner Lüftung» umgesetzt. Hierbei verfügt jedes innenliegende Bad über ein eigenes Zu- und Abluftrohr, so dass keine Verbindung zu Nachbarwohnungen besteht. Da die Badbelüftung bei geschlossener Badtüre über das Zu- und Abluftrohr erfolgen soll, verfügt die Badtüre über kein Lüftungsgitter oder zusätzlichen Luftspalt.

Das Monitoring erfolgt über ein komplettes Jahr, um das Verhalten bzw. die Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung in allen Jahreszeiten zu erfassen. Untersucht werden acht innenliegende Bäder, von denen jeweils vier übereinander liegen. Gemessen werden in allen Zu- und Abluftrohren die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung sowie die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich sind alle Wohnungstüren und Fenster mit Öffnungskontakten versehen. Hiermit kann der Einfluss der Fensteröffnung untersucht werden.

Da die Schwerkraftlüftung zu einem unkontrollierten Luftaustausch führt und keine Wärmerückgewinnung aufweist, wird zusätzlich untersucht, wie sich dies auf den Heizwärmeverbrauch auswirkt. Hierzu wird der Heizwärmeverbrauch des Gebäudes bestimmt und mit dem Heizwärmebedarf gemäss SIA 380/1 verglichen. Die Differenz wird diskutiert und eingeordnet.

Der Neubau wurde Anfang 2022 bezogen. Das Monitoring läuft von März 2022 bis März 2023.

Die Resultate zeigen deutlich, dass verschiedene Parameter einen Einfluss auf die Lüftungseffektivität der Schwerkraftlüftung haben:

- Temperaturdifferenz Bad/Aussenluft
- Badtüre geschlossen bzw. geöffnet mit/ohne Anschluss an Aussenluft (Fenster auf)
- Schaltzustand des Dunstabzugs in der Küche

Es zeigt sich weiter, dass die Strömungsgeschwindigkeit im Abluftrohr fast immer höher ist als im Zuluftrohr. D.h., im Abluftrohr liegen meist höhere Volumen- bzw. Massenströme als im Zuluftrohr vor. Damit enthält die Abluft der Schwerkraftlüftung zusätzlich zu der Luft aus dem Zuluftrohr auch Luft aus dem undichten Installationsschacht (Badtüre zu) und der restlichen Wohnung ohne/mit geöffnetem Fenster (Badtüre offen).

Bei den untersuchten Bädern stehen die Türen zu über 90 % der Zeit offen. Ist die Badtüre geöffnet, steht das Bad im Luftaustausch mit der Wohnung und die relative Feuchtigkeit gleicht sich der restlichen Wohnung an. Der Einfluss der Schwerkraftlüftung auf die Lüftung der gesamten Wohnung ist jedoch nur sehr gering. Ist das Bad über geöffnete Türen und Fenster mit der Aussenluft verbunden, wird das Bad über die normale Wohnungsfensterlüftung belüftet.

Im Winter, wenn die Fenster oft geschlossen sind, führt die Schwerkraftlüftung aufgrund der hohen Temperaturdifferenzen zwischen Bad und Aussenluft zu den grössten Luftwechseln im Bad, d.h. die Feuchtigkeit der innenliegenden Bäder wird bei geschlossener Badtüre rasch abtransportiert.

Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft wird, desto kleiner werden die Luftwechsel und verlängert sich die Dauer, bis die Feuchtigkeit abtransportiert ist. In den



Übergangsjahreszeiten (Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft ca. 8-10 K) kann es rund 3.5 Stunden dauern, bis die relative Luftfeuchtigkeit nach einem Duschvorgang wieder < 60 % beträgt.

Im Sommer sind die Temperaturdifferenzen zwischen Bad und Aussen gering und daher reduziert sich die Luftgeschwindigkeit im Abluftrohr. Dies führt zu einem geringeren Luftwechsel im Bad. Zusätzlich weist die Aussenluft im Sommer eine hohe relative Luftfeuchte auf und dies führt in Kombination mit den geringeren Luftwechseln zu längeren Zeiten für den Abtransport der Feuchte. Zur Einschätzung der Feuchteproblematik muss berücksichtigt werden, dass es sich hier um innenliegende Bäder handelt, welche rundherum von beheizten Räumen umgeben sind. Innenliegenden Bäder haben hohe raumseitige Oberflächentemperaturen die nahe der Raumlufttemperatur liegen. Entsprechend sind hohe Raumluftfeuchten und längere Zeiten für den Feuchteabtransport erlaubt.

Der worst case für die Schwerkraftlüftung sind warme Sommertage, an denen die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Umgebung sehr gering ist und nach einem Duschvorgang die Badtüre mindestens 24 Stunden geschlossen bleibt. In der Realität wird dies jedoch sicherlich die Ausnahme sein. Um diesen Fall auszuschliessen, sollte an entsprechenden Sommertagen mit einer geöffneten Badtüre und über geöffnete Fenster der Luftaustausch und damit das Abtrocknen des innenliegenden Bades unterstützt werden. Solange die Nutzer:innen die Wohnung inkl. geöffneter Badtüre mit der üblichen Sommerlüftungsstrategie bei Fensterlüftung von einer Morgen- und Abendlüftung bzw. einer Nachtlüftung lüften, ist das Schimmelrisiko im innenliegenden Bad minimiert.

Weitere Aussagen können getroffen werden:

- Eine Abhängigkeit des Luftwechsels von der Wohnungslage innerhalb des Gebäudes kann nicht bzw. nur als sehr gering festgestellt werden.
- Der Luftwechsel steigt bei Ostwind an. Bei Ostwind wird das Gebäude frei angeströmt.
- Die Mieter:innen sind generell mit der Schwerkraftlüftung zufrieden. Die Zuluft in Knöchelhöhe stellt keine Störung dar. Drei von fünf Befragten haben das Bedürfnis, die Badtür nach dem Duschen zu öffnen, da sie das Gefühl haben, dass das Badezimmer sonst länger feucht bleibt.
- Der freie Lüftungsquerschnitt des Ventils im Zuluftauslass im Bad vergrössert sich, während der Lichtschalter auf «an» steht. Einen Einfluss des kurzzeitig vergrösserten freien Lüftungsquerschnitts auf den Luftwechsel kann nicht belegt werden.
- Der Vergleich zwischen dem gemessenen Heizwärmeverbrauch und dem berechneten Heizwärmebedarf zeigt, dass es einen leichten Mehrverbrauch von 10 % gibt. Dieser liegt im Rahmen dessen, was gemäss Literatur durch den Einfluss der Nutzer:innen erwartet werden kann. Es ist also davon auszugehen, dass der Mehrverbrauch auf die Mieter:innen zurückzuführen ist und die Schwerkraftlüftung zu keinem erhöhten Heizwärmeverbrauch führt.

Das Monitoring zeigt, dass die Schwerkraftlüftung in innenliegenden Bädern eine gute Ergänzung zur Fensterlüftung (Hauptlüftung der Wohnung) ist. Obwohl es saisonale Unterschiede in der Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung gibt, kann sie zuverlässig die innenliegenden Bäder entfeuchten. Im Sommer sollte sie durch die normale Fensterlüftung der anderen Wohnräume bei geöffneten Bad- und Zimmertüren unterstützt werden. Die Schwerkraftlüftung führt zu keiner erkennbaren Erhöhung des Heizwärmeverbrauchs. Damit ist die Schwerkraftlüftung, eine sogenannte low-tech Lüftung, eine gute Alternative zu anderen Lüftungsformen in innenliegenden Bädern.



## Résumé

Suite aux très bonnes expériences d'une coopérative immobilière avec une ventilation par gravité (ventilation par puit) pour l'aération des salles de bains intérieures dans des immeubles collectifs existants, les bâtiments de remplacement construits au même endroit seront également équipés d'une ventilation par gravité. L'objectif de ce projet est de mettre en évidence les possibilités et les limites de la ventilation par gravité dans l'une de ces nouvelles constructions. Le suivi se déroule sur une année complète afin de mesurer le comportement et l'efficacité de la ventilation par gravité à chaque saison. L'étude porte sur deux groupes de quatre salles de bains superposées. La vitesse, la direction du flux d'air, l'humidité relative ainsi que la température sont mesurées dans tous les tuyaux d'arrivée et d'évacuation d'air. De plus, toutes les portes et fenêtres des appartements sont équipées de contacts d'ouverture. Cela permet d'étudier l'influence de l'ouverture des fenêtres.

Dans le nouveau bâtiment de remplacement, la ventilation manuelle par les fenêtres est la ventilation principale des appartements. Pour l'aération des salles de bains intérieures, on renonce aux ventilateurs d'extraction commandés en fonction des besoins et on met en œuvre à la place une ventilation par gravité de type "Kölner Lüftung". Chaque salle de bain intérieure dispose de son propre tuyau d'arrivée et d'évacuation d'air, de sorte qu'il n'existe aucune liaison avec les appartements voisins. Comme l'aération de la salle de bains doit se faire par le tuyau d'arrivée et d'évacuation d'air lorsque la porte de la salle de bains est fermée, la porte de la salle de bains ne dispose pas de grille d'aération ou de fente d'air supplémentaire.

Étant donné que l'aération par gravité entraîne un échange d'air incontrôlé et qu'elle ne comporte pas de récupération de chaleur, il convient d'étudier son impact sur la consommation d'énergie nécessaire pour le chauffage. Pour ce faire, l'énergie de chauffage du bâtiment est relevée et comparée aux besoins selon la norme SIA 380/1. L'écart entre les deux valeurs sera si nécessaire discuté.

L'occupation du nouveau bâtiment a débuté en mars 2022. Le suivi se déroule de mars 2022 à mars 2023.

Les résultats montrent clairement que l'efficacité de la ventilation par gravité dépend de plusieurs facteurs :

- - Différence de température de l'air entre la salle de bains et l'extérieur
- - Ouverture/fermeture de la porte de la salle de bains avec une ouverture vers l'extérieur ou non
- - Allumage de la hotte d'aspiration dans la cuisine

Il s'avère aussi que la vitesse d'écoulement de l'air dans le tuyau d'évacuation est presque toujours plus élevée que dans le tuyau d'amenée d'air. Il en résulte des débits volumiques ou massiques plus élevés dans le tuyau d'évacuation que dans le tuyau d'arrivée d'air. Ainsi, l'air évacué par la ventilation par gravité contient, en plus de l'air provenant du tuyau d'arrivée d'air, de l'air provenant de la gaine technique non étanche (porte de la salle de bains fermée) et du reste de l'appartement (porte de la salle de bains ouverte).

Dans les salles de bains étudiées, les portes sont ouvertes plus de 90 % du temps. Lorsque la porte de la salle de bains est ouverte, l'humidité relative de l'appartement et de la salle de bains convergent. L'influence de la ventilation par gravité sur la ventilation de l'ensemble du logement est toutefois très faible. Si la salle de bains est reliée à l'air extérieur par des portes et des fenêtres ouvertes, la salle de bains est ventilée par l'aération normale des fenêtres de l'appartement.

En hiver, lorsque les fenêtres sont souvent fermées, la ventilation par gravité entraîne les plus grands échanges d'air dans la salle de bains en raison des différences de température élevées entre la salle



de bains et l'air extérieur, c'est-à-dire que l'humidité des salles de bains intérieures est rapidement évacuée lorsque la porte de la salle de bains est fermée.

Plus la différence de température entre l'air de la salle de bain et l'air extérieur est faible, plus le renouvellement d'air est faible et plus la durée nécessaire à l'évacuation de l'humidité est longue. Pendant les saisons intermédiaires (différence de température entre l'air de la salle de bain et l'air extérieur d'environ 8-10 K), il peut s'écouler environ 3,5 heures avant que l'humidité relative de l'air ne redevienne < 60 % après une douche.

En été, lorsque les différences de température entre la salle de bains et l'extérieur sont faibles, la vitesse de l'air dans le tuyau d'évacuation est réduite, ce qui entraîne un échange d'air plus faible lorsque la porte de la salle de bains est fermée. De plus, l'air extérieur présente une humidité relative élevée en été, ce qui, combiné à des échanges d'air plus faibles, entraîne des temps d'évacuation de l'humidité plus longs. En principe, les salles de bains intérieures dont les températures de surface côté pièce sont proches de la température de l'air ambiant permettent un taux d'humidité élevé. Pour évaluer la problématique de l'humidité, il faut tenir compte du fait qu'il s'agit ici de salles de bains intérieures, entourées de pièces chauffées sur tout leur pourtour. Les salles de bains intérieures ont des températures de surface élevées, proches de la température de l'air ambiant. En conséquence, une humidité élevée de l'air ambiant et des temps plus longs pour l'évacuation de l'humidité sont autorisés.

Le cas le plus défavorable pour la ventilation par gravité est celui des journées chaudes d'été, où la différence de température de l'air entre la salle de bains et l'extérieure est très faible, et où la porte de la salle de bains reste fermée pendant au moins 24 heures après une douche. Ce scénario reste peu probable dans l'utilisation réelle de la salle de bains. Toutefois, afin d'éviter ce cas de figure, il convient, les jours d'été correspondants, de favoriser l'échange d'air et donc la déshumidification de la salle de bains en ouvrant la porte de celle-ci ainsi que les fenêtres. Tant que les utilisateurs aèrent l'appartement, y compris la porte de la salle de bain ouverte, avec la stratégie d'aération habituelle en été avec une aération par les fenêtres, une aération matin et soir ou une aération nocturne, le risque de moisissures dans la salle de bain intérieure est minimisé.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude:

- La position de l'appartement (rez de chaussée ou troisième étage) n'a pas ou peu d'influence sur le renouvellement de l'air dans la salle de bains.
- Le renouvellement de l'air augmente par vent d'est. (Exposition libre du bâtiment coté est).
- Les locataires sont généralement satisfaits de la ventilation par gravité. La bouche d'arrivée d'air à hauteur des chevilles n'est pas considérée comme gênante. Trois personnes interrogées sur cinq ressentent le besoin d'ouvrir la porte de la salle de bains après la douche, car elles ont l'impression que sans la salle de bains reste humide plus longtemps.
- L'influence de l'ouverture de la vanne d'arrivée d'air lors de l'actionnement de l'interrupteur n'a pas pu être prouvée.
- La comparaison entre les besoins énergétiques de chauffage mesurés et calculés montre qu'il y a une légère surconsommation (+ 10 %). Celle-ci se situe, d'après la littérature, dans les tolérances liées à l'influence de l'utilisateur. La ventilation par gravité n'a donc pas d'incidence sur la consommation énergétique de chauffage.

Le suivi montre que la ventilation par gravité dans les salles de bains intérieures est un bon complément à l'aération par les fenêtres (aération principale du logement). Bien qu'il existe des différences saisonnières dans l'efficacité de la ventilation par gravité, celle-ci peut déshumidifier de manière fiable les salles de bains intérieures. En été, elle doit être accompagnée d'une ventilation par



les fenêtres. La ventilation par gravité n'entraîne aucune augmentation de la consommation énergétique de chauffage. La ventilation par gravité est une ventilation low-tech qui est une bonne alternative aux autres formes de ventilation dans les salles de bains intérieures.



## Summary

Based on the very good experience of a building cooperative with gravity ventilation (shaft ventilation) for the ventilation of interior bathrooms in existing apartment buildings, the new replacement buildings constructed on the same site are also equipped with gravity ventilation. The aim of this project is to demonstrate the possibilities and limitations of gravity ventilation for interior bathrooms in one of the new replacement buildings by means of monitoring. The monitoring extends over a complete year to record the behavior and effectiveness of the gravity ventilation in all seasons. Eight indoor bathrooms are studied, four of which are located on top of each other. Flow velocity and direction as well as temperature and relative humidity are measured in all supply and exhaust air pipes. In addition, all apartment doors and windows are equipped with opening contacts. This allows to investigate the influence of open windows.

In the new replacement building, manual window ventilation is the main ventilation of the apartments. For the ventilation of the interior bathrooms, demand-controlled exhaust fans are not used and instead gravity ventilation of the "Cologne ventilation" type is implemented. Here, each interior bathroom has its own supply and exhaust air pipe so that there is no connection to neighboring apartments. Since the bathroom ventilation is to take place via the supply and exhaust air pipe when the bathroom door is closed, the bathroom door has no ventilation grille or additional air gap.

Since gravity ventilation leads to an uncontrolled air exchange and has no heat recovery, the effect on the heating consumption is also investigated. For this purpose, the heating consumption of the building is determined and compared with the heating requirement according to SIA 380/1. The difference is discussed and classified.

The new building was occupied at the beginning of 2022. The monitoring runs from March 2022 to March 2023.

The results clearly show that various parameters have an influence on the ventilation effectiveness of gravity ventilation:

- Bathroom/outdoor air temperature difference
- Bathroom door closed or open with/without connection to outside air (window open)
- Switching state of the kitchen fume hood

It can also be seen that the flow velocity in the exhaust air duct is almost always higher than in the supply air duct. This means that there are usually higher volume or mass flows in the exhaust air duct than in the supply air duct. Thus, in addition to the air from the supply air duct, the exhaust air of gravity ventilation also contains air from the leaky installation shaft (bathroom door closed) and the rest of the apartment without/with open window (bathroom door open).

In the bathrooms studied, the doors are open over 90 % of the time. If the bathroom door is open, the bathroom is in air exchange with the apartment and the rel. humidity equalizes with the rest of the apartment. However, the effect of gravity ventilation on the ventilation of the entire apartment is very small. If the bathroom is connected to the outside air via open doors and windows, the bathroom is ventilated via normal apartment window ventilation.

In winter, when the windows are often closed, gravity ventilation results in the greatest air changes in the bathroom due to the high temperature differences between the bathroom and the outside air, i.e. the humidity of the interior bathrooms is rapidly removed when the bathroom doors are closed.

The smaller the temperature difference between bath and outside air, the smaller the air changes and the longer the time until the moisture is removed. In the transitional seasons (temperature difference



between bath and outside air approx. 8-10 K), it can take around 3.5 hours until the relative humidity is < 60 % again after a shower.

In summer, the temperature differences between bath and outside are small and therefore the air velocity in the exhaust duct is reduced. This leads to a lower air exchange rate when the bathroom door is closed. In addition, the outside air has a high rel. humidity in summer and this, in combination with the lower air changes, leads to longer times for the removal of humidity. In general, interior bathrooms with room-side surface temperatures close to the room air temperature allow high humidity. In order to assess the moisture problem, it must be taken into account that these are interior bathrooms, which are surrounded by heated rooms. Indoor bathrooms have high room-side surface temperatures that are close to the room air temperature. Accordingly, high room air humidity and longer times for moisture removal are permitted.

The worst case for the gravity ventilation are warm summer days, when the temperature difference between the bathroom and outdoor is very small and the bathroom door remains closed for 24 hours after a shower. However, this is certainly a very unlikely scenario in real use. To exclude this case, the air exchange and thus the drying of the interior bathroom should be supported on corresponding summer days with an open bathroom door and open apartment windows. As long as the user ventilates the apartment including the open bathroom door with the usual summer ventilation strategy with window ventilation of a morning and evening ventilation or night ventilation, the risk of mold in the interior bathroom is minimized.

Further statements can be made:

- A dependence of the air exchange on the apartment location within the building cannot be determined or only as very low.
- The air exchange increases with east wind. The building is exposed to the east.
- Tenants are generally satisfied with gravity ventilation. Supply air at ankle height is not a nuisance. Three out of five respondents feel the need to open the bathroom door after showering because they feel that otherwise the bathroom stays damp longer.
- An influence of the additional opening width of the supply air valve when the light switch is operated could not be proven.
- The comparison between the measured heating consumption and the calculated heating demand shows that there is a slight additional consumption about +10 %. This is within the range of what can be expected according to the literature due to the influence of the users. It can therefore be assumed that the additional consumption is due to the tenants and that the gravity ventilation does not lead to increased heating consumption.

The monitoring shows that gravity ventilation in interior bathrooms is a good complement to window ventilation (main ventilation of the apartment). Although there are seasonal differences in the effectiveness of gravity ventilation, it can reliably dehumidify interior bathrooms. In summer, it should be supported by the main window ventilation. The gravity ventilation does not lead to any noticeable increase in heating consumption. Thus, the gravity ventilation as a type of low-tech ventilation is a good alternative to other forms of ventilation in interior bathrooms.



## Take-home messages

- Obwohl es saisonale Unterschiede in der Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung gibt, kann sie zuverlässig innenliegende Bäder entfeuchten. Im Sommer sollte sie durch die Fensterlüftung (Hauptlüftung der Wohnung) in den anderen Wohnräumen und geöffneter Bad- und Zimmertüren unterstützt werden.
- Die Temperaturdifferenz von Bad und Aussenluft hat den grössten Einfluss auf den Luftwechsel. Je grösser diese Differenz ist, desto grösser wird der Luftwechsel. D.h. im Winter treten die grössten Luftwechsel auf.
- Die Schwerkraftlüftung der innenliegenden Bäder führt nicht zu einem erhöhten Heizwärmeverbrauch.
- Eine Abhängigkeit des Luftwechsels von der Wohnungslage innerhalb des Gebäudes kann nicht bzw. nur als sehr gering festgestellt werden.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>Take-home messages</b> .....	<b>10</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>11</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Projektziel</b> .....	<b>16</b>
<b>3 Anforderungen</b> .....	<b>17</b>
3.1 Bemessung für Aussenluft-Volumenströme .....	17
3.2 Feuchteschutz .....	18
3.3 Voraussetzung für Schimmelbildung .....	18
3.4 Heizwärmebedarf .....	19
<b>4 Vorgehen</b> .....	<b>20</b>
4.1 Monitoring .....	20
4.2 Datenbearbeitung .....	21
4.2.1 Absolute Luftfeuchtigkeit .....	21
4.2.2 Luftwechselrate .....	22
4.2.3 Rel. Luftfeuchtigkeit der Aussen- und Badezimmerluft .....	23
4.2.4 Signal für Badtüre und Fensterlüftung.....	24
4.2.5 Akkumulierte Temperaturdifferenzen und Heizgradtage.....	25
<b>5 Resultate</b> .....	<b>26</b>
5.1 Übersicht.....	26
5.1.1 Monatliche Mittelwerte.....	26
5.1.2 Dunstabzug und Duschvorgang .....	29
5.1.3 Temperaturdifferenz Bad/Aussen.....	31
5.2 Detailbetrachtungen .....	32
5.2.1 Duschvorgang mit anschliessend geschlossener Badtüre (März).....	32
5.2.2 Duschvorgang mit anschliessend geöffneter Badtüre (Juni).....	33
5.2.3 Lüftung an kalten Tagen (April).....	34
5.2.4 Lüftung an warmen Tagen (August).....	36
5.2.5 Unbewohnte Wohnungen (August/September).....	37
5.2.6 Windeinfluss .....	39
5.2.7 Volumenströme im Abluftrohr .....	41
5.2.8 Luftwechselrate .....	43
5.2.9 Zulässige Raumlufffeuchte .....	45



5.2.10	Schimmelrisiko .....	47
<b>6</b>	<b>Mieterbefragung .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Vergleich Heizwärmebedarf und Heizwärmeverbrauch .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Diskussion und Fazit.....</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>Publikationen .....</b>	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>54</b>
11.1	Übersicht Wohnungen, Schachtanordnung, Messstellen .....	54
11.2	Klimadaten.....	57
11.3	Resultate – Detailbetrachtungen der Ostbäder .....	59
11.3.1	Rel. Luftfeuchtigkeit über Aussenlufttemperatur .....	59
11.3.2	Abluftvolumenstrom über Temperaturdifferenz Bad/Aussen .....	61
11.3.3	Luftwechsel über Temperaturdifferenz Bad/Aussenluft .....	64



## Abkürzungsverzeichnis

ATD    Akkumulierte Temperaturdifferenz

HGT    Heizgradtage

LIM    Lowest Isoleth for Mould



# 1 Einleitung

Auf Grund der hohen Feuchte- bzw. Geruchsbelastung von Bädern und WCs muss dort auf den Luftaustausch ein besonderes Augenmerk gelegt werden. Ist keine mechanische Lüftung vorhanden, ist in innenliegenden Räumen dieser Kategorien anderweitig der Luftaustausch sicherzustellen. Häufig werden dezentrale Abluftventilatoren eingesetzt, die die Luft bedarfsgesteuert aktiv aus dem Bad/WC abziehen. Eine andere Möglichkeit ist die sogenannte Schacht- bzw. Schwerkraftlüftung. Hierbei erfolgt der Luftaustausch ohne mechanische Unterstützung. Weil bei der Schwerkraftlüftung der Luftaustausch auf Grund von Druckunterschieden infolge von Dichteunterschieden (Wind/Temperatur) erfolgt, ist er nicht bzw. kaum steuerbar und saisonal unterschiedlich. Die Schwerkraftlüftung ist eine low-tech Lüftungsvariante, die keine oder nur wenige technische Komponenten benötigt (z.B. steuerbares Zuluftventil).

Es gibt die sogenannte «Kölner», «Dortmunder» und «Berliner» Schachtlüftung [1]. Das Prinzip ist bei allen drei Formen die Schwerkraftlüftung. Bei allen drei Formen wird die Abluft vom jeweiligen innenliegenden Raum direkt über einen eigenen Abluftschacht über das Dach angeführt. Die Formen unterscheiden sich in der Zuluftführung (Bild 1). Bei der «Kölner» und «Dortmunder» Lüftung wird die Frischluft auf Kellerhöhe gefasst (Bild 1 links/Mitte). Ein horizontaler Schacht führt im Keller bis zu der Stelle, an der die einzelnen Schächte die Luft vertikal nach oben führen. Während bei der «Kölner» Lüftung jeder zu belüftende Raum direkt mit einem eigenen Schacht verbunden ist, wird bei der «Dortmunder» Lüftung der Schacht in den Flur geführt und von dort strömt die Luft über eine Überströmöffnung in den zu lüftenden Raum. Bei der «Berliner» Lüftung strömt die entsprechende Frischluft aus Öffnungen in den Nachbarräumen (z.B. spezielle Zuluftöffnungen, undichte Aussenhülle, Anbindungen zu Installationsschächten und Treppenhäusern) nach. bei der «Berliner» Lüftung sind keine definierten Zuluftschächte vorhanden (Bild 1 rechts).

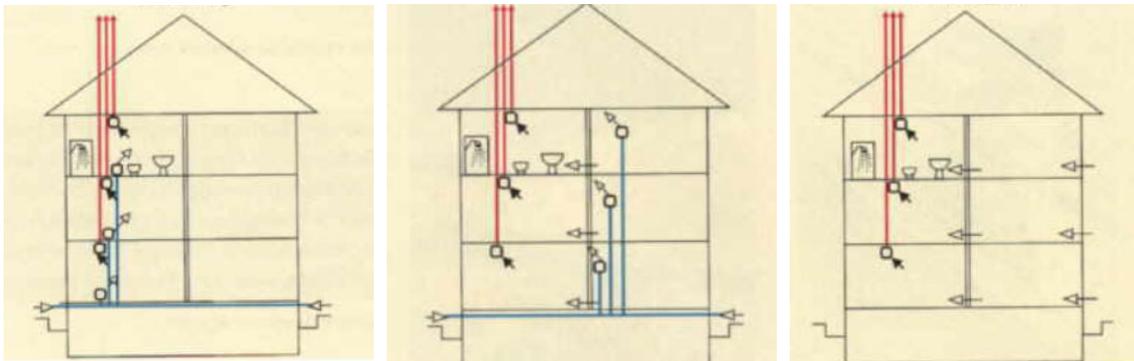


Bild 1 Prinzipskizze für die «Kölner» (rechts), «Dortmunder» (Mitte) und «Berliner» (links) Schachtlüftung (Bilder aus [2]).

Schwerkraftlüftungen wurden in der Schweiz in den 50er und 60er Jahren immer wieder eingebaut. D.h., es gibt Gebäude, bei denen im Fall der energetischen Sanierung das Thema relevant wird und überlegt werden muss, ob diese Lüftungsform auch nach der Sanierung beibehalten wird. Da es zusätzlich im Bauwesen einen gewissen Trend in Richtung low-tech gibt, stellt sich die Frage, ob diese Lüftungsform auch für Neubauten interessant ist.



In Basel wurden bestehende Gebäude mit Schwerkraftlüftung mit dem Typ «Kölner» Lüftung (Bild 2 links) abgerissen und, weil diese lt. Bauherren gut funktioniert hat, werden die Ersatzneubauten ebenfalls mit Schwerkraftlüftung erstellt. Der erste Neubau wurde Anfang 2021, der zweite Anfang 2022 bezogen. An diesem zweiten Neubau erfolgt das Monitoring.

Der vierstöckige Neubau hat 16 Wohnungen, mit vier Wohnungen pro Geschoss (Bild 2 Mitte). Die Wohnungen haben ein innenliegendes Bad oder WC. Jedes innenliegende Bad/WC hat einen eigenen Rohrstrang für die Schwerkraftlüftung (Bild 2 rechts). Vom Grundprinzip ist die sogenannte «Kölner» Lüftung umgesetzt. Als Erweiterung der «Kölner» Lüftung ist bei dem untersuchten Gebäude die Öffnungsweitenaktivierung der Zuluftventile mit dem Lichtschalter gekoppelt.

Die generelle Wohnungslüftung erfolgt über die manuelle Fensterlüftung, nur die innenliegenden Bäder und WCs werden über die Schwerkraftlüftung belüftet.



Bild 2 Links: Prinzipskizze der «Kölner» Lüftung, angewendet auf die Belüftung der innenliegenden Bäder/WC. Mitte: Mehrfamilienhaus mit Monitoring der Schwerkraftlüftung in den innenliegenden Bädern, Neubau Bezug 2022 (© INEB). Rechts: Lüftungsrohre im Erdgeschoss für die Schwerkraftlüftung (© Ferrara Architekten). Jedes innenliegende Bad ist mit einem eigenen Rohrstrang versehen.

Prinzip der hier verwendeten Zu- und Abluftventile:

- Zuluft

Das Zulufttellerventil (Bild 3) ist mit dem Lichtschalter gekoppelt. Brennt das Licht, erwärmt sich der elektrothermische Antrieb und das Ventil öffnet sich innerhalb 2-4 min. Solange der Stromkreis geschlossen ist, bleibt das Tellerventil maximal offen. Wird das Licht gelöscht, d.h. der Stromkreis unterbrochen, bleibt das Tellerventil noch 5-8 min offen, bevor es langsam in die Minimaleinstellung zurückkehrt [3].

Im «geschlossenen» Zustand weist das Ventil eine Minimalöffnung auf. Diese ist vom Bauherrn eingestellt, kann aber vom Mieter bzw. der Mieterin verstellt werden.

- Abluft

Das Abluftventil ist immer zu 100 % offen.

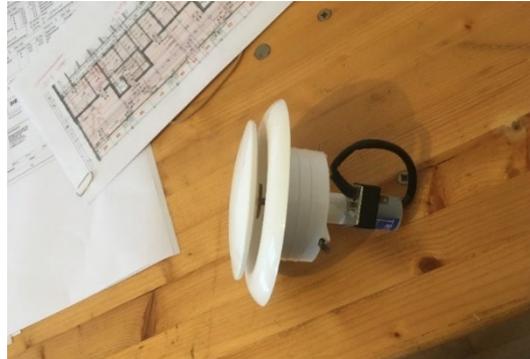


Bild 3 Zulufttellerventil mit elektrothermischem Antrieb (© INEB).

## 2 Projektziel

Ziel dieses Projektes ist es, die Möglichkeiten und Grenzen der Schwerkraftlüftung für innenliegende Bäder aufzuzeigen. Es wird erwartet, dass der Feuchteaustrag aus den innenliegenden Bädern im Winter grösser ist als im Sommer. Zum einen ist im Winter die Aussenlufttemperatur deutlich geringer als die Raumlufttemperaturen, was zu grossen Temperaturdifferenzen führt und damit zu höheren Luftwechseln. Im Sommer sind die Raumlufttemperaturen in den meisten Tagesstunden tiefer als die Aussenlufttemperaturen und die Temperaturdifferenzen sind insgesamt geringer als im Winter. Der Luftwechsel wird sich daher reduzieren.

Über ein detailliertes Monitoring wird die Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung für innenliegende Bäder bestimmt. Das Monitoring erfolgt über fast ein komplettes Jahr, um das Verhalten in allen Jahreszeiten zu erfassen. Untersucht werden acht innenliegende Bäder, von denen jeweils vier übereinander liegen (s. Anhang). Gemessen werden in allen Zu- und Abluftrohren (je acht) die Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und rel. Feuchtigkeit. Die Strömungsgeschwindigkeiten werden an jeder Stelle in beide Richtungen gemessen, so dass überprüft werden kann, in welche Richtung die Luft strömt. Zusätzlich werden alle Türen und Fenster mit Öffnungskontakten versehen. Hiermit kann der Einfluss der Fensteröffnung untersucht werden.

Da die Schwerkraftlüftung zu einem unkontrollierten Luftaustausch führt und keine Wärmerückgewinnung aufweist, wird angenommen, dass dies den Heizwärmebedarf erhöht. Aus diesem Grund soll der gemessene Wärmeverbrauch über die Mieterabrechnung bestimmt und dem Heizwärmebedarf gemäss SIA 380/1:2016 Nachweis gegenübergestellt und diskutiert werden.



### 3 Anforderungen

#### 3.1 Bemessung für Aussenluft-Volumenströme

Bemessungswerte für Aussenluft-Volumenströme für Räume mit Dusche sind in SIA 382/1 [4], SIA 382/5 [5] und SIA 2024 [6] genannt (Tabelle 1). Die Werte gelten jedoch für mechanische Lüftungen und nicht für eine natürliche Lüftung, zu der auch die Schwerkraftlüftung (Schachtlüftung) gehört.

Das untersuchte Gebäude weist durch die Kombination von Fensterlüftung (Hauptlüftung der Wohnung), Schwerkraftlüftung (Lüftung im Bad) und ergänzend eine Kochstellenentlüftung (kurzzeitig in Betrieb) gemäss [7] im weitesten Sinne ein hybrides Lüftungssystem auf. Wobei die Fenster- und Schwerkraftlüftung zur Kategorie der natürlichen (freien) Lüftung gehören und die bedarfsgesteuerte Kochstellenentlüftung als mechanische Lüftung gilt. Für natürliche und hybride Lüftung existiert bislang keine Planungshilfe oder Norm.

Das Thema natürliche und hybride Lüftungen wird voraussichtlich in zwei neuen Normen SIA 382/3 mit dem Arbeitstitel *Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen* und SIA 382/4 *Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Leistungs- und Energiebedarf* formuliert [7]. Es ist vorgesehen, dass die Schacht-/Schwerkraftlüftung dort ebenfalls berücksichtigt wird.

Tabelle 1 Übersicht der Bemessungswerte für den Aussenluft-Volumenstrom von Räumen mit Duschen in verschiedenen Normen für Gebäude mit mechanischer Lüftung.

	SIA 382/1:2014 (pr SIA 382/1:2022-11 Vernehmlassungsentwurf)		SIA 2024:2021	SIA 382/5:2021
	Kontinuierlicher Betrieb	Bedarfs-gesteuerter Betrieb	Hygiene-bedingter Aussenluft-Volumenstrom	kontinuierlicher/ bedarfsgesteuerter Betrieb
Raum mit Dusche (Bad/WC/Dusche)	4 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) immer ≥ 40 m <sup>3</sup> /h (40 m <sup>3</sup> /h)	8 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) immer ≥ 50 m <sup>3</sup> /h (60 m <sup>3</sup> /h)	8 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )	30/50 m <sup>3</sup> /h
Hygienischer Grundluftwechsel bei schwach/wenig genutzten Räumen	---	---	---	0.1 h <sup>-1</sup>
Entspricht bei einer Grundfläche von 5 m <sup>2</sup> und einem Volumen von 12.5 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup> /h, 1.6 h <sup>-1</sup> immer ≥ 3.2 h <sup>-1</sup> (3.2 h <sup>-1</sup> )	40 m <sup>3</sup> /h, 3.2 h <sup>-1</sup> immer ≥ 4.0 h <sup>-1</sup> (4.8 h <sup>-1</sup> )	40 m <sup>3</sup> /h, 3.2 h <sup>-1</sup>	2.4/4.0 h <sup>-1</sup>



### 3.2 Feuchteschutz

In SIA 180:2014 [8] werden die generellen Anforderungen für den Feuchteschutz genannt. Im Tagesmittel dürfen in Räumen mit Personenbelegung die Grenzen der rel. Raumlufffeuchte von Bild 4 nicht überschritten werden.

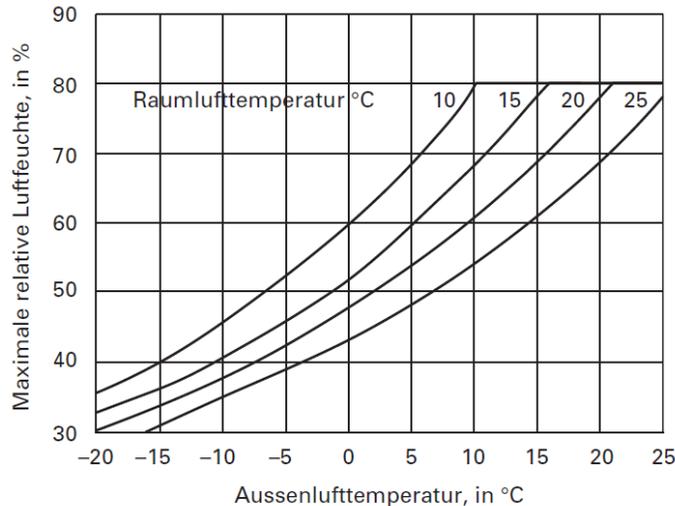


Bild 4 Maximalzulässige relative Raumlufffeuchte in Abhängigkeit von der Raum- und Aussenlufttemperatur (Tagesmittelwerte) [8].

### 3.3 Voraussetzung für Schimmelbildung

Für die Bildung von Schimmel an raumseitigen Bauteiloberflächen ist die relative Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche sowie die Oberflächentemperatur massgeblich. Um eine Sporenauskeimung bzw. anschliessend ein Myzelwachstum zu provozieren, muss eine bestimmte Kombination aus Oberflächentemperatur und Oberflächenfeuchte über eine bestimmte Zeitdauer vorherrschen. Für die Sporenauskeimung und das Myzelwachstum gibt es eine absolute Untergrenze der biologischen Aktivität, die sogenannte 'Lowest Isoleth for Mould' (LIM). Die LIM-Kurve gibt für eine bestimmte Substratgruppe an, unterhalb welcher Oberflächentemperatur und -feuchte nicht mit einer Sporenauskeimung bzw. weiterem Myzelwachstum zu rechnen ist. Die Vorhersage zu Sporenauskeimungszeiten wird in einem Isolethensystem dargestellt Bild 5, [16]).

Für eine zusätzliche Einordnung der in vorangegangenem Abschnitt gezeigten Ergebnisse werden exemplarisch einige Fälle auf Grundlage der LIM-Kurven diskutiert. Dabei werden als Anhaltspunkt die Fliesenfugen und die gestrichene Decke in Substratgruppe I – biologisch verwertbare Substrate – eingeordnet.

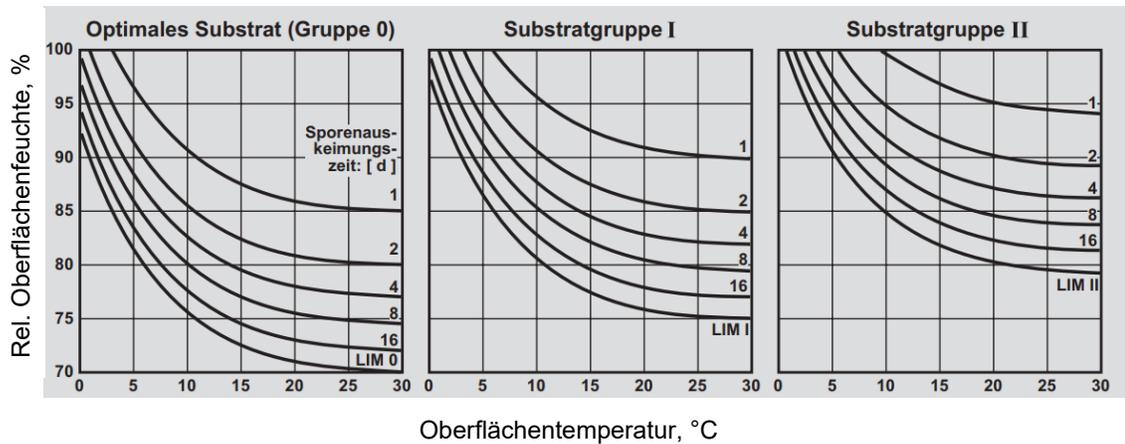


Bild 5 Verallgemeinertes Isoplethensystem für die Sporenauskeimung bei verschiedenen Substratgruppen [16]. Die angegebenen Werte geben die Zeitdauer an, nach der eine Sporenauskeimung abgeschlossen ist. Ablesebeispiel für Substratgruppe I: bei einer Oberflächentemperatur von 25 °C liegt die mögliche Untergrenze der Pilzaktivität bei ca. 75 % rel. Oberflächenfeuchte.

Substratgruppe 0:	optimaler Nährboden
Substratgruppe I	biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, starke Verschmutzung
Substratgruppe II	poröse Baustoffe, z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen

### 3.4 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf des Gebäudes gemäss SIA 380/1:2016 [9] beträgt  $Q_H = 30.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  und entspricht 85 % des Grenzwertes. Der Nachweis ist mit dem Standardwert für natürlich belüftete Gebäude für den thermisch wirksamen Aussenluft-Volumenstrom von  $0.7 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  geführt.

Die Hauptlüftung der Wohnung ist die Fensterlüftung. Die Schwerkraftlüftung ist für die Belüftung der innenliegenden Bäder vorgesehen, da keine Fenster vorhanden sind. Sie ist auch eine Form der natürlichen Lüftung.



## 4 Vorgehen

### 4.1 Monitoring

Untersucht werden acht innenliegende Bäder, von denen jeweils vier Ostwohnungen bzw. vier Westwohnungen übereinander liegen. Gemessen werden in allen Zu- und Abluffrohren (je acht) und im Sammelschacht der gemeinsamen Frischluftfassung die Strömungsgeschwindigkeit  $v$ , die Lufttemperatur  $\theta$  und die rel. Luftfeuchtigkeit rel. F. Die Strömungsrichtung wird erfasst, so dass überprüft werden kann, in welche Richtung die Luft strömt (Bild 6). Die Lufttemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Bädern werden mit Datenloggern protokolliert. Die Logger befinden sich in Kopfhöhe einer stehenden Person auf ca. 1.7 m neben der Badtüre an der Wand. Zusätzlich sind alle Türen und Fenster der Wohnungen mit Öffnungskontakten versehen, die ebenfalls via Datenloggern protokolliert werden. Hiermit kann der Einfluss der Tür- und Fensteröffnung untersucht werden.

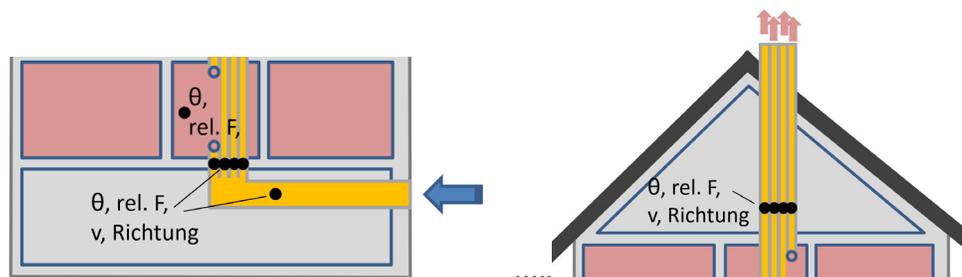


Bild 6 Layout Messtechnik im Keller und Estrich.

Die Messdaten aus den Rohren und dem Frischluftsammlerschacht werden über eine SPS automatisch erfasst. Die Datenlogger werden ca. alle zwei Monate ausgelesen. Alle Messwerte werden im zwei Sekundentakt geloggt. Die Tür- und Fensterkontakte geben den Status «zu» bzw. «offen» an. Bei «offen» liegt keine Auskunft darüber vor, wie weit die Türe bzw. das Fenster geöffnet ist. Die Öffnungsweite liegt zwischen angelehnt und 100 % offen.

Für das Aussenklima werden die Wetterdaten der Messstation Basel-Binningen von Meteoschweiz berücksichtigt (s. Anhang 11.2).

Die Resultate beziehen sich auf den Messzeitraum vom 08.03.2022 - 06.01.2023.



## 4.2 Datenbearbeitung

### 4.2.1 Absolute Luftfeuchtigkeit

Die absolute Luftfeuchtigkeit berechnet sich aus der gemessenen Lufttemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit über die ideale Gasgleichung (Gl. 1):

$$v_D = \frac{m_D}{V} = \frac{p_D}{R_D \cdot T} \quad \text{kg/m}^3 \quad \text{Gl. 1}$$

mit

$v_D$	absolute Luftfeuchtigkeit (volumenbezogen), kg/m <sup>3</sup>
$m_D$	Masse Dampf, kg
$V$	Volumen (Luft), m <sup>3</sup>
$p_D$	Wasserdampfpartialdruck, Pa
$R_D$	spez. Gaskonstante Wasserdampf, 461.5 J/(kg K)
$T$	absolute Temperatur, K

Der Wasserdampfpartialdruck wird über den Sättigungsdampfdruck und die rel. Luftfeuchtigkeit berechnet (Gl. 2):

$$p_D = p_s \cdot \varphi \quad \text{Pa} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

$p_s$	Sättigungsdampfdruck, Pa
$\varphi$	rel. Luftfeuchtigkeit, -

Der Sättigungsdampfdruck ist temperaturabhängig und berechnet sich gemäss Gl. 3 ([10], für Lufttemperaturen > 0°C):

$$p_s = 610.5 \cdot \exp\left(\frac{17.269 \cdot \theta}{237.3 + \theta}\right) \quad \text{Pa} \quad \text{Gl. 3}$$

mit

$\theta$	Lufttemperatur, °C
----------	--------------------

Da sich die abs. Luftfeuchtigkeit  $v_D$  aus zwei unabhängigen Grössen zusammensetzt, berechnet sich die Unsicherheit von  $v_D$  auf Grundlage der Fehlerfortpflanzung vereinfacht wie folgt (Gl. 4, [11]):

$$\delta v_D = v_D \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta \varphi}{\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\delta \theta}{\theta}\right)^2} \quad \text{kg/m}^3 \quad \text{Gl. 4}$$

mit

$\delta v_D$	Unsicherheit abs. Feuchtigkeit, kg/m <sup>3</sup>
$\delta \varphi$	Unsicherheit der rel. Luftfeuchtigkeit, -
$\delta \theta$	Unsicherheit der Lufttemperatur, °C

Die einfachen Standardabweichungen der Monatsmittelwerte für  $\theta$ ,  $\varphi$  werden hierzu als Unsicherheit der Mittelwerte betrachtet.



#### 4.2.2 Luftwechselrate

Die Luftwechselrate beschreibt, wie oft das Luftvolumen eines Raumes/Bereiches pro Stunde ausgetauscht wird. Sie wird wie folgt berechnet (Gl. 5):

$$n = \frac{\dot{V}}{V} \quad \text{h}^{-1} \quad \text{Gl. 5}$$

mit

- n Luftwechselrate, h<sup>-1</sup>
- $\dot{V}$  Volumenstrom, m<sup>3</sup>/h
- V Volumen des betrachteten Bereiches, m<sup>3</sup>

Bei der Bestimmung der Luftwechselrate variiert das Bezugsvolumen je nach Betrachtungsbereich. Hierzu werden drei Fälle unterschieden (Bild 7):

- Fall "Badtüre zu": Badtüre ist geschlossen, Zustand Zimmertüren und Fenster unberücksichtigt. Der Luftwechsel bezieht sich auf das Badvolumen.
- Fall "Fenster zu": Badtüre ist geöffnet, Zimmertüren offen/geschlossen, Fenster geschlossen. Der Luftwechsel bezieht sich auf das Volumen vom Flur, der Küche sowie den Zimmervolumen, welche über geöffnete Türen mit dem Bad in Verbindung stehen. Die Volumina des Flurs und der Küche werden immer berücksichtigt, da der Flur an alle Räume grenzt und die Glasschiebetüre zur Küche nicht dicht ist.
- Fall "alle Zustände": Badtüre, Raumentüren und Fenster offen/geschlossen. Der Luftwechsel bezieht sich auf das Badvolumen.

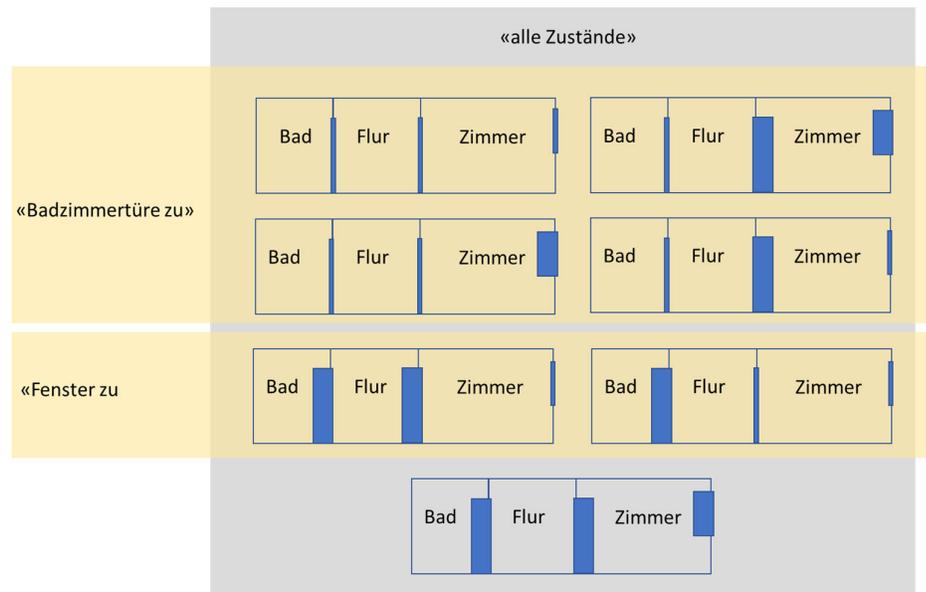


Bild 7 Schematische Darstellung der verschiedenen Fälle für den Luftwechsel.



Für die Berechnung des Luftwechsels wird der Volumenstrom im Abluftrohr verwendet. Der Volumenstrom wird über die gemessene Luftgeschwindigkeit (m/s) im Abluftrohr und mit Hilfe der vom Hersteller des Strömungsgeschwindigkeitssensors gegebenen Umrechnungstabelle berechnet.

Die angegebene Luftwechselrate beinhaltet keinen Luftaustausch, der über die restliche Wohnung im Bad zusätzlich initiiert wird (Leckagen, offene Türen). Da gemäss Bild 7 das betrachtete Bezugsvolumen kleiner ist, ist die Luftwechselrate bei geschlossener Badtüre damit grösser als bei geöffneter Türe.

Tabelle 2 Übersicht von Strömungsgeschwindigkeit und Volumenstrom im Abluftrohr (Umrechnung gemäss [12]) und der daraus auf das Badvolumen (12.5 m<sup>3</sup>) bezogenen resultierenden Luftwechselrate.

Strömungsgeschwindigkeit	Volumenstrom	Luftwechselrate
m/s	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>
0.1	1.8	0.1
0.2	3.9	0.3
0.3	6.1	0.5
0.4	8.2	0.7
0.5	10.3	0.8
0.6	12.5	1.0
0.7	14.6	1.2
0.8	16.7	1.3
0.9	18.9	1.5
1.0	21.0	1.7
1.1	23.1	1.8
1.2	25.3	2.0
1.3	27.4	2.2
1.4	29.5	2.4
1.5	31.7	2.5
1.6	33.8	2.7
1.7	35.9	2.9
1.8	38.0	3.0
1.9	40.2	3.2
2.0	42.3	3.4

#### 4.2.3 Rel. Luftfeuchtigkeit der Aussen- und Badezimmerluft

Um die Trocknungswirkung der Zuluft zu demonstrieren, wird für manche Auswertungen die relative Luftfeuchtigkeit der Aussenluft über den Zwischenschritt der absoluten Feuchte auf die relative Luftfeuchtigkeit bei der entsprechenden Badtemperatur umgerechnet. Hierfür werden die Gleichungen 1-3 aus Kapitel 4.2.1 verwendet.



#### 4.2.4 Signal für Badtüre und Fensterlüftung

Für die Darstellung, ob die Badtüre geöffnet bzw. geschlossen ist und ob das Bad im Luftverbund/Luftaustausch mit der Wohnung steht bzw. zusätzlich eine Verbindung zur Aussenluft über geöffnete Fenster hat, werden zwei Signale verwendet:

- «Badtüre (BZ Türe)»: nur Badtüre: 0 (auf), 1 (zu)
- «Fensterlüftung (Fensterlüftung)»: Kombination aus Zimmertüre und Fenster desselben Raumes und der Badtüre (Bild 8)
  - 0 (auf), wenn (Zimmertüre und Fenster) = 0 (auf) und BZ Türe = 0 (auf)
  - 1 (zu), wenn (Zimmertüre und Fenster) = 0 (auf) und BZ Türe = 1 (zu)
  - 1 (zu), wenn (Zimmertüre und/oder Fenster) = 1 (zu) und BZ Türe = 0 (auf)

Nur wenn die Badtüre geschlossen ist, wird das Bad rein über die Schwerkraftlüftung belüftet und die angegebene Luftwechselrate entspricht dem von der Schwerkraftlüftung induzierten Luftaustausch.

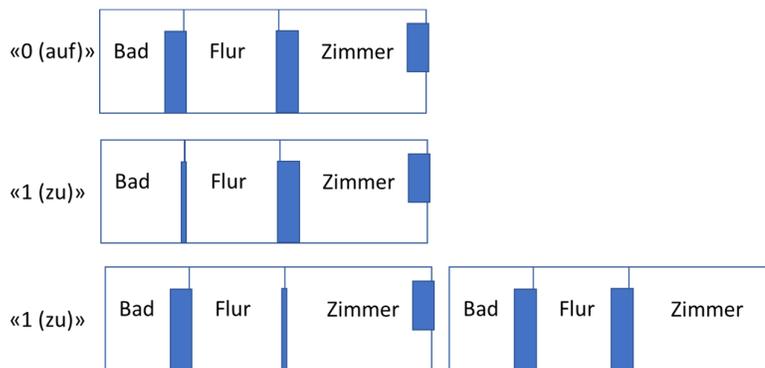


Bild 8 Schematische Darstellung des Signals für die Fensterlüftung. «0 (auf)»: das Bad hat über die geöffneten Türen und Fenster einen Anschluss an die Aussenluft. «1 (zu)»: das Bad hat keinen Anschluss an die Aussenluft.



#### 4.2.5 Akkumulierte Temperaturdifferenzen und Heizgradtage

Um den gemessenen Heizwärmeverbrauch mit dem berechneten Heizwärmebedarf vergleichen zu können, muss zuerst der Verbrauch, der nur für die Monate September '22 bis Februar '23 vorliegt, auf einen Jahreswert hochgerechnet und auf das Standardklima umgerechnet werden. Dies erfolgt gemäss SIA 380:2022 [13] mit den akkumulierten Temperaturdifferenzen (ATD). Die akkumulierte Temperaturdifferenz ist die Summe aus der positiven Differenz der Basistemperatur und dem Tagesmittel der Aussenlufttemperatur. Die akkumulierten Temperaturdifferenzen werden vom HEV Schweiz [14] monatlich bereitgestellt und hier für die Klimastation Basel-Binningen verwendet. Es wird 12 °C als Basistemperatur verwendet. Als Grundlage für das Standardklima wird der langjährige Mittelwert aus der Periode 2017-2022 verwendet.

Mit den akkumulierten Temperaturdifferenzen wird der gemessene Heizwärmeverbrauch (sechs Monate) auf ein Jahr hochgerechnet (Gl. 6) und anschliessend auf das Standardklima umgerechnet (Gl. 7). Wird Gl. 6 in Gl. 7 integriert, kann die Umrechnung von einer gemessenen Periode auf ein Jahr mit Standardklima in einem Schritt erfolgen (Gl. 8).

Die Umrechnung auf ein komplettes Jahr erfolgt mit Gl. 6

$$Q_{H,an,Verbr} = \frac{\theta_{\Sigma,per,an}}{\theta_{\Sigma,per}} \cdot Q_{H,per,Verbr} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \quad \text{Gl. 6}$$

mit

$Q_{H,per,Verbr}$	Heizwärmeverbrauch für eine gemessene Periode < 1 Jahr, kWh/m <sup>2</sup>
$Q_{H,an,Verbr}$	Heizwärmeverbrauch für ein Jahr hochgerechnet, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$\theta_{\Sigma,per}$	Akkumulierte Temperaturdifferenz für eine gemessene Periode < 1 Jahr, K/d
$\theta_{\Sigma,per,an}$	Akkumulierte Temperaturdifferenz für ein Jahr, K/d

Die Umrechnung auf das Standardklima ist wie folgt:

$$Q_{H,std,Verbr} = \frac{\theta_{\Sigma,std,an}}{\theta_{\Sigma,per,an}} \cdot Q_{H,an,Verbr} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \quad \text{Gl. 7}$$

mit

$Q_{H,std,Verbr}$	Heizwärmeverbrauch bei Standardklima, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$\theta_{\Sigma,std,an}$	Standardwert der akkumulierte Temperaturdifferenz für eine Jahr, K/d

Die Umrechnung von einer gemessenen Periode auf ein Jahr mit Standardklima:

$$Q_{H,std,Verbr} = \frac{\theta_{\Sigma,std,an}}{\theta_{\Sigma,per}} \cdot Q_{H,per,Verbr} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \quad \text{Gl. 8}$$

Dasselbe Verfahren wird vergleichend für die Heizgradtage (HGT) angewendet. Sie bilden sich aus der Summe der Differenzen der Rumlufttemperatur von 20 °C und der Aussenlufttemperatur, wenn diese tiefer als die Basistemperatur ist. Die Heizgradtage werden ebenfalls von [14] zur Verfügung gestellt.



## 5 Resultate

### 5.1 Übersicht

#### 5.1.1 Monatliche Mittelwerte

##### Relative Luftfeuchtigkeit (Bild 9 a)

Die Schwerkraftlüftung wird eingesetzt, um die innenliegenden Bäder zu entfeuchten. Aus diesem Grund interessiert die rel. Luftfeuchtigkeit der einzelnen Bäder. Als Übersicht sind diese als monatliche Mittelwerte in Bild 9 oben dargestellt. Die mittlere rel. Luftfeuchtigkeit der meisten Bäder liegt in dem Bereich von 45-65 %. Nur die Bäder 1 OG-O und EG-W weisen z.T. Werte über 65 % auf. Wobei das Bad 1 OG-O mit über 70 % rel. Luftfeuchtigkeit von Mai bis August (unbewohnt) deutlich heraussticht. Insgesamt weisen die Ostbäder im Mittel eine höhere rel. Luftfeuchtigkeit als die Westbäder auf. Die Standardabweichungen der rel. Feuchtigkeit zeigt an, dass die rel. Luftfeuchtigkeit in den Bädern z.T. sehr stark schwankt. Grundsätzlich muss berücksichtigt werden, dass der frisch bezogene Neubau in Massivbauweise erstellt wurde und daher Bauaustrocknung während des Monitorings stattgefunden hat. Diese führt zu höheren Raumlufffeuchten.

##### Raumlufftemperatur (Bild 9 b)

Die Raumlufftemperaturen der einzelnen Bäder weisen eine Differenz von ca. 2-6 K auf. Ausser im März und April liegen die meisten Raumlufftemperaturen sehr nahe zusammen. Im Juli und August werden die höchsten Werte erreicht. Die Monatsmittelwerte der Raumlufftemperaturen der Bäder steigen im Mittel von ca. 20 °C auf knapp 27 °C von März bis August an. Im Mittel liegen die Badtemperaturen in dem Bereich von 21 – 23 °C. Die Standardabweichungen der Raumlufftemperaturen in den Bädern sind sehr gering. Dies weist auf recht konstante Raumlufftemperaturen hin.

##### Absolute Luftfeuchtigkeit (Bild 9 c)

Die mittlere absolute Luftfeuchtigkeit der Aussenluft ist immer tiefer als in den Bädern, so dass die Bäder i.d.R. über das Lüften entfeuchtet werden können. In den Sommermonaten steigt die absolute Luftfeuchtigkeit der Aussenluft jahreszeitlich bedingt an, so dass es mit dem Abtrocknen jahreszeitlich bedingt zu gewissen Zeiten schwierig werden kann. Die absolute Luftfeuchtigkeit schwankt stark.

##### Luftwechselrate (Bild 9 d)

(Luftwechselrate hier: Abluftvolumenstrom bezogen auf das Badvolumen, «alle Zustände»)

Die mittlere Luftwechselrate nimmt in den warmen Sommermonaten ab. In allen Bädern ist die mittlere Luftwechselrate im Juli am geringsten. Sie nimmt von März bis Juli von rund 1.0 h<sup>-1</sup> auf rund 0.5 h<sup>-1</sup> ab und steigt dann bis November/Dezember auf knapp 1.2 h<sup>-1</sup> an. Die grossen Standardabweichungen zeigen an, dass die Luftwechselraten stark schwanken.

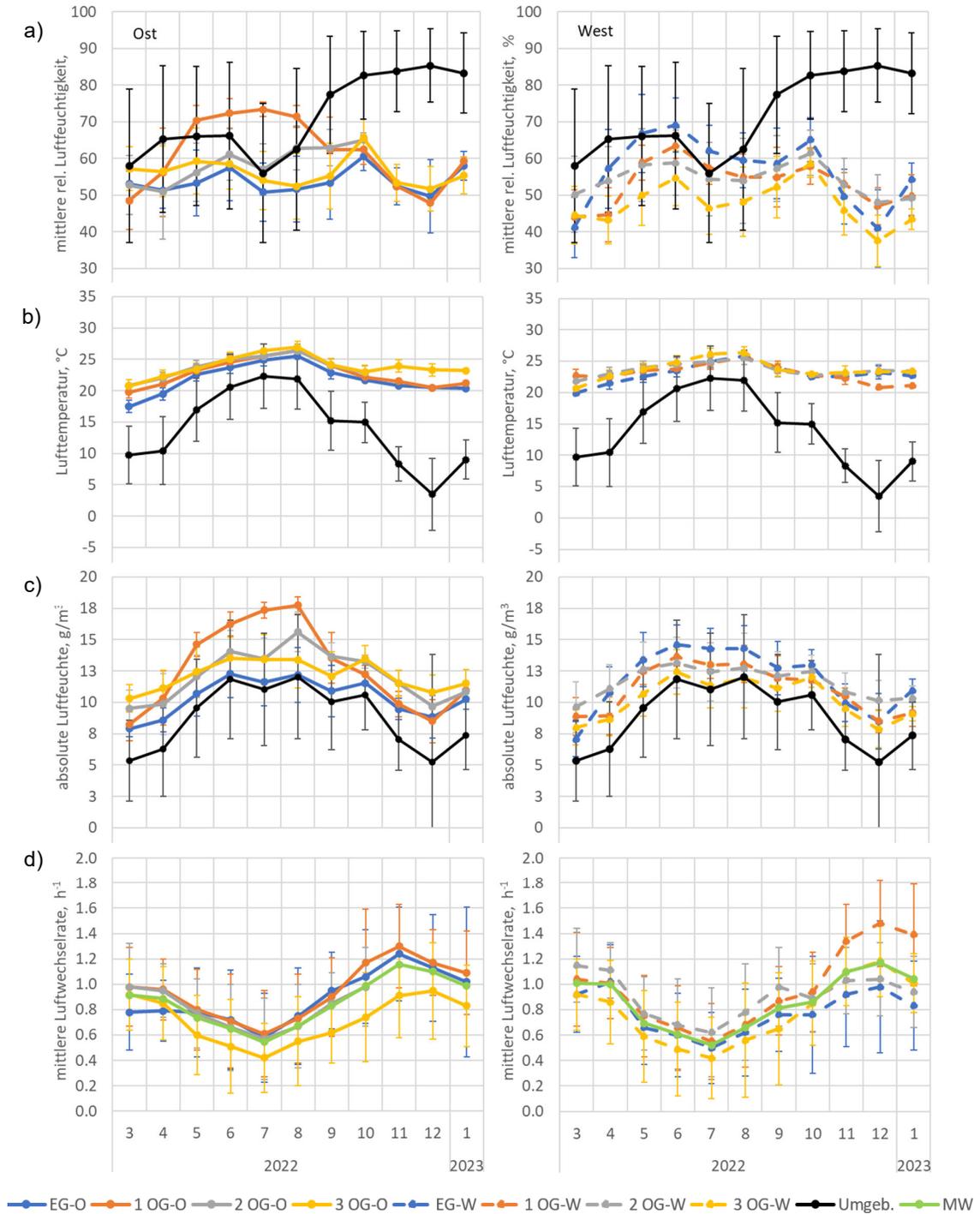


Bild 9 Monatliche Mittelwerte und einfache Standardabweichung der rel. Luftfeuchtigkeit (a), Lufttemperaturen (b), absoluten Feuchte (c, berechnet aus den Monatswerten) und Luftwechsel (d) in den Ost- und Westbädern («alle Zustände», bezogen auf das Badvolumen). Zum Vergleich ist die Aussenluft ebenfalls dargestellt.



Bild 10 zeigt oben für den Fall «alle Zustände» die mittleren Luftwechselraten der Bäder für jeden Monat im direkten Vergleich.

- Die mittleren Luftwechselraten sind im Sommer ausgeglichener als in den Übergangsjahreszeiten und im Winter. Im Juli beträgt die Differenz zwischen der tiefsten und höchsten Luftwechselrate ca.  $0.2 \text{ h}^{-1}$ , während sie Dezember bis zu knapp  $0.6 \text{ h}^{-1}$  erreicht. Wobei der Luftwechsel im 1. OG-W Von Nov-Jan deutlich von seinem normalen Profil abweicht. Die Wohnung war von Oktober bis Dezember unbewohnt.
- Auf der Westseite weist das 3. OG immer die tiefsten Luftwechselraten auf. Während dies für das 3. OG auf der Ostseite nur bis Oktober gilt. Dies sind die Bäder mit den kürzesten Abluftrohren.
- Die Luftwechsel von EG-W bis 2 OG-W liegen i.d.R. recht nahe beisammen. Die Bäder der Wohnungen auf der Westseite weisen grössere Differenzen auf.
- Im Mittel beträgt die Luftwechselrate in den Bädern auf der Ost- und Westseite  $0.9 \pm 0.3 / \text{h}^{-1}$  bzw.  $0.8 \pm 0.7 \text{ h}^{-1}$ . Im Mittel sind die Luftwechsel sehr ähnlich, aber auf der Westseite weist er eine grössere Schwankung auf.
- Die monatliche Luftwechselraten für den Fall «Bad zu» ist unten in Bild 10 dargestellt. Die Luftwechselraten sind sehr ähnlich wie für den Fall «alle Zustände». Wobei angenommen wird, dass im Fall «alle Zustände» der reale Luftwechsel im Bad höher ist, da auch über die offene Badtüre und geöffnete Fenster ein Luftaustausch stattfindet, der hier nicht abgebildet werden kann. Eine Abhängigkeit des Luftwechsels mit der Lage der Bäder im Gebäude ist in dieser Zusammenstellung nicht zu erkennen.

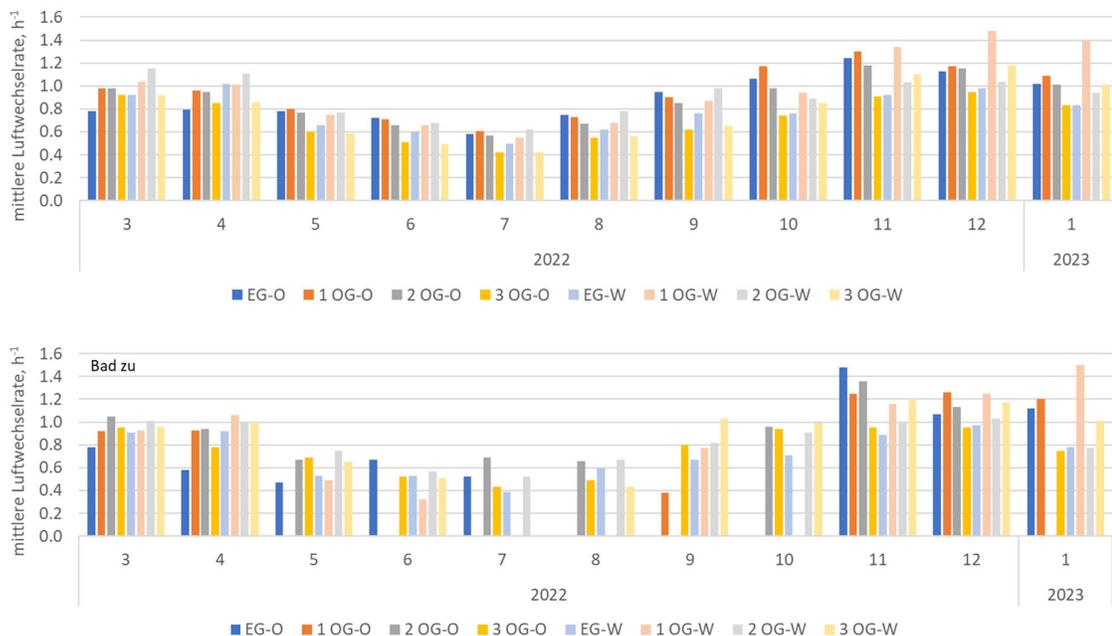


Bild 10 Monatliche Mittelwerte der Luftwechselrate in den Ost- und Westbädern (oben: alle Zustände, unten: Badtüre geschlossen, Abluftvolumenstrom wird in beiden Fällen auf das Badvolumen bezogen).



Es wurde erwartet, dass die Lage der Bäder im Gebäude einen deutlichen Einfluss auf die Luftwechselrate hat. Es wurde angenommen, dass je höher die Wohnung im Gebäude liegt, d.h. je kürzer das Abluftrohr ist, desto geringer ist der Luftwechsel im Bad. Während das 3. OG auf der Westseite immer der Erwartung entspricht, kann für das 3. OG auf der Ostseite die erwartete Reihenfolge nur von März bis September, also im wärmeren Halbjahr festgestellt werden.

Der dargestellte Luftwechsel stellt nur den über die Abluftrohre erfolgten Luftwechsel dar. Bei geöffneter Badtüre findet gleichzeitig ein Luftaustausch mit der restlichen Wohnungsluft und z.T. über geöffnete Fenster mit Aussen statt (Fall «alle Zustände»). Dieser zusätzlich Luftaustausch im Bad hat einen Einfluss auf die gezeigte Luftwechselrate, kann aber aus den verfügbaren Messdaten nicht getrennt ermittelt werden. Da in den meisten Wohnungen die Badtüre über 90 % der Zeit geöffnet ist, wird davon ausgegangen, dass die Luftwechselrate in den Bädern in der Realität höher ist, als hier dargestellt. Insbesondere in den Sommermonaten sind die Fenster sehr oft geöffnet, was zusätzlich zu höheren Luftwechselraten in den Bädern führt, in den hier gezeigten Luftwechselraten aber nicht berücksichtigt ist.

#### 5.1.2 Dunstabzug und Duschvorgang

Eine generelle Übersicht des Zu- und Abluftverhaltens eines innenliegenden Bads im dritten Obergeschoss zeigt Bild 11. Die Geschwindigkeit im Zuluftrohr beträgt ca. 0.2 m/s und im Abluftrohr ca. 0.6 m/s (oben). 0.6 m/s entsprechen einem Luftwechsel im Bad von ca. 1 h<sup>-1</sup> (Tabelle 2). Da Fenster und Türen geschlossen sind, muss die Differenz des Volumen- bzw. Massenstroms zwischen Zu- und Abluft aus anderen Verbindungen im Bad kommen. Bei einem Blower-Door Test kann festgestellt werden, dass die Revisionsklappe zum Installationsschacht im Bad undicht ist. Zusätzlich besteht über den Installationsschacht eine Verbindung zum Sicherungskasten zum Flur. Es wird daher angenommen, dass sich die Abluft der Schwerkraftlüftung aus einem Teil, der durch das Zuluftrohr der Schwerkraftlüftung kommt und zu einem Teil, der aus dem Installationsschacht stammt, zusammensetzt.

Der Betrieb der Dunstabzugshaube in der Küche (ca. 19:10-19:25 Uhr) und ein Duschvorgang (ca. 20:20 Uhr) sind deutlich an den Messwerten zu erkennen. Während die Dunstabzugshaube läuft, treten erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 1.6 m/s im Zu- und Abluftrohr auf. Es ist zu erkennen, dass sich die Strömungsrichtung der Abluft umdreht (negative Werte bei der Luftgeschwindigkeit (rot), Bild 11 oben), so dass ein zusätzlicher Zuluftvolumenstrom entsteht. Eine Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s entspricht pro Rohr einem Luftwechsel von 2.7 h<sup>-1</sup>, d.h. insgesamt liegt ein gut fünffacher Luftwechsel im Bad vor, solange der Dunstabzug läuft. Gleichzeitig sinken die Temperaturen der einströmenden Luft (Mitte) und die rel. Luftfeuchtigkeit in der Zuluft steigt entsprechend an (unten). Bei der Abluft kommt es kurzfristig zu einem Abfall der rel. Luftfeuchtigkeit (trockene Frischluft) bevor sie ansteigt, nachdem sich das Rohr entsprechend abgekühlt hat (kalte Frischluft). Insgesamt sinkt die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad leicht ab. D.h., wenn der Dunstabzug (bei geschlossenen Fenstern) läuft, strömt die Luft durch das Bad nach.

Hinweis: die Küchentüre ist eine Glasschiebetüre, die nicht dicht mit dem Rahmen abschliesst und zusätzlich ein kreisrundes Loch (Ø ca. 4 cm) als Türgriff aufweist.

Während des Duschvorgangs steigt die rel. Luftfeuchtigkeit im Abluftrohr auf ca. 93 %, sinkt danach in rund 15 min auf rund 62 % ab (unten). Während des Duschvorgangs ist eine leichte Erhöhung der Bad- und Ablufttemperatur zu verzeichnen (Mitte).

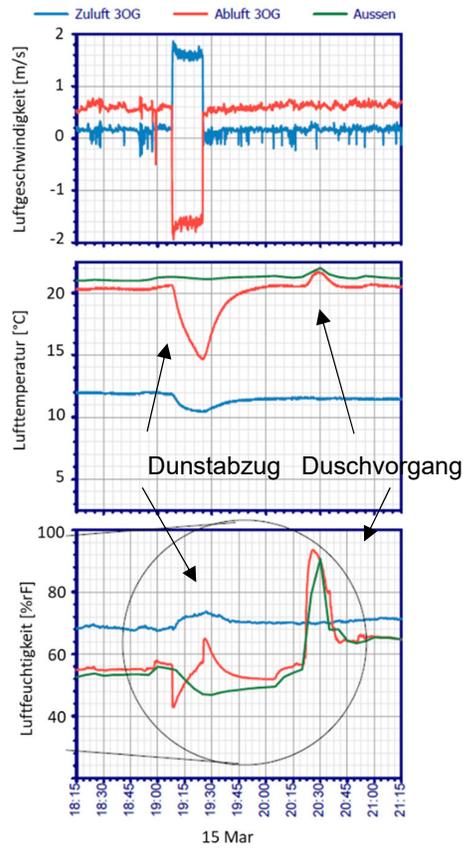


Bild 11 Generelles Verhalten in Zu- und Abluftrohr, wenn der Dunstabzug in der Küche läuft und ein Duschvorgang stattfindet. Detailansicht 15. März 2022, Abendstunden.



### 5.1.3 Temperaturdifferenz Bad/Aussen

Bei der Schwerkraftlüftung spielen Druckdifferenzen am Gebäude und damit auch Temperaturdifferenzen zwischen Bad und Aussen eine grosse Rolle. Liegt die Temperatur der Aussen über bzw. bis zu höchstens ca. 1.5 K unter der Badtemperatur, wird die Luftgeschwindigkeit in dem Abluftrohr nahezu null und es wird kein Abluftvolumenstrom induziert (Bild 12, 15.06./16.06. ca. 10:00 bis 00:00 Uhr, Abluft «aus»). Da nichts strömt, stellen sich nahezu Aussenluftbedingungen im Abluftrohr ein. Erst wenn die Aussentemperatur mehr als ca. 1.5 K unter die Badtemperatur sinkt, ergibt sich eine definierte Luftgeschwindigkeit und Strömungsrichtung im Abluftrohr. Eine Luftgeschwindigkeit von 0.5 m/s im Abluftrohr entspricht einem Luftwechsel im Bad von  $0.8 \text{ h}^{-1}$  (Bild 12, 15.06./16.06. ca. 00:00 bis 10:00 Uhr, Abluft «an»). Am 15.06. und 16.06. wird das Bad nur in der ersten Tageshälfte belüftet. Die rel. Luftfeuchtigkeit erreicht im Bad am 16.06. um ca. 10 Uhr mit rund 72 % das Maximum.

Am 14.06. ist in der zweiten Tageshälfte die Aussentemperatur im Maximum um ca. 5 K wärmer als die Temperatur im Bad. Dies hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit und die Richtung des Luftstroms im Abluftrohr stark hin und her schwanken.

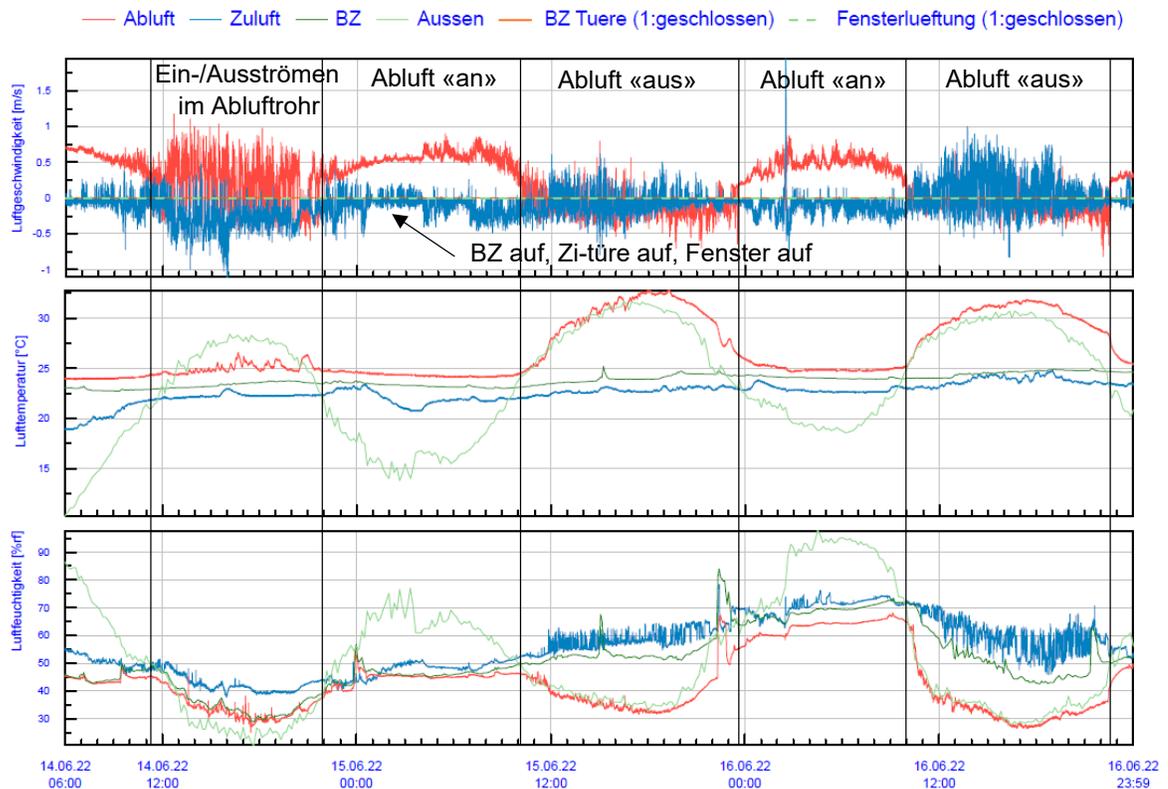


Bild 12 Generelles Lüftungsverhalten in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Bad und Aussen. Während der gesamten Zeit ist die Badtüre (BZ Tuere) geöffnet und mindestens in einem Zimmer sind das Fenster und die entsprechende Zimmertüre auf (Fensterlüftung). Damit weist das Bad eine Verbindung zur Aussenluft auf.



## 5.2 Detailbetrachtungen

### 5.2.1 Duschvorgang mit anschliessend geschlossener Badtüre (März)

Am 28.03.22 sind ab 21:30 Uhr zwei aufeinanderfolgende Duschvorgänge erkennbar. Bei jedem Duschvorgang steigt die rel. Luftfeuchtigkeit auf ca. 96 % im Bad an (Bild 13 unten, grüne Linie). Vor dem ersten Duschvorgang ist die Badtüre ab ca. 18:45 Uhr geöffnet, sowie mindestens in einem Raum ein Fenster und die entsprechende Zimmertüre (Bild 13 oben, grüne Linie). Die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad schwankt zwischen 40-65 % (Bild 13 unten, rote/grüne Linie). Während des ersten Duschvorgangs wird entweder die Zimmertüre oder das Fenster bzw. beides geschlossen. Die Badtüre bleibt geöffnet und die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad sinkt schnell auf rund 68 % ab. Es findet ein Luftaustausch mit der restlichen Wohnung statt.

Die Badtüre wird zum zweiten Duschvorgang geschlossen und steht anschliessend ca. 15 min offen, bevor sie wieder geschlossen wird (Bild 13 oben, orange Linie). Von ca. 22:30 bis 02:50 Uhr ist die Badtüre, bis auf einen kurzen Moment, geschlossen. Während die Türe geöffnet ist, sinkt die rel. Luftfeuchtigkeit von 100 % auf ca. 80 % ab, steigt bei geschlossener Türe aber wieder auf rund 88 % an

Gemäss Logger hat sich die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad nach rund 2.5 Stunden auf ca. 62 % reduziert, während der Sensor in der Abluft noch 84 % rel. Luftfeuchtigkeit anzeigt. Nach rund vier Stunden wird die Badtüre wieder geöffnet und beide Sensoren zeigen dann recht konstant ca. 66 % rel. Luftfeuchtigkeit an. Es ist unklar, warum die rel. Luftfeuchtigkeit der Abluft und des Loggers im Bad im genannten Intervall eine solch grosse Differenz aufweisen, da sie i.d.R. immer sehr ähnliche Werte anzeigen. Evtl. dauert es länger, bis die Restfeuchte auf der Rohroberfläche verdunstet, während die Badluft schon trockener ist. Die Strömungsgeschwindigkeit zwischen rund 0.55-0.75 m/s im Abluftrohr entspricht einer Luftwechselrate im Bad von ca. 0.9-1.3 h<sup>-1</sup>.

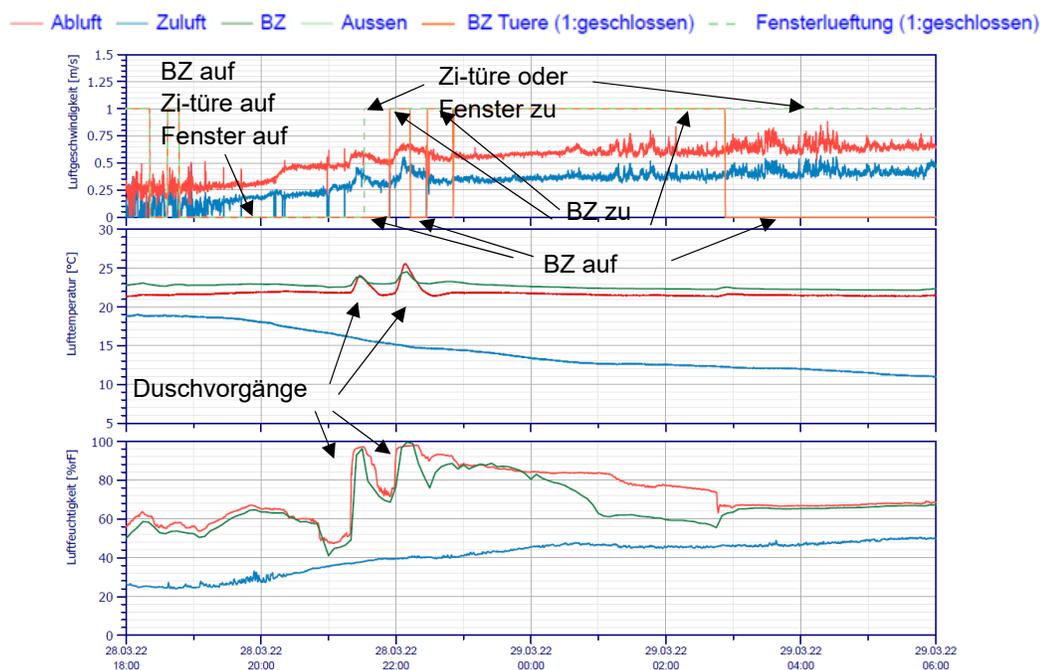


Bild 13 Duschvorgänge und Badtüre geschlossen (BZ Tuere: Badtür, Fensterlueftung: Zimmertüren und Fenster).



### 5.2.2 Duschvorgang mit anschliessend geöffneter Badtüre (Juni)

In folgendem Beispiel ist die Badtüre nur während des Duschvorgangs geschlossen, ansonsten immer geöffnet (Bild 14). Bis 10:15 Uhr ist zusätzlich mindestens ein Fenster sowie die zugehörige Zimmertüre geöffnet. Ab 10:15 Uhr wird entweder das Fenster oder die Zimmertüre geschlossen, so dass das Bad nicht mehr mit der Aussenluft in Verbindung steht.

Die rel. Luftfeuchtigkeit steigt während des Duschvorgangs schnell auf ca. 96 % an, sinkt aber innerhalb 30 min auf 56 % ab. Im Vergleich zum Fall mit geschlossenen Badtüre in Kapitel 5.2 sinkt hier, durch die Austrocknung infolge der Durchmischung mit der Wohnungsluft, die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad deutlich schneller.

Bis 10:15 Uhr weist das Bad im Mittel einen Luftwechsel von ca.  $0.8 \text{ h}^{-1}$ , bei einer mittlere Luftgeschwindigkeit im Abluftrohr von ca.  $0.5 \text{ m/s}$ , auf. Anschliessend reduziert sich die mittlere Luftwechselrate auf ca.  $0.3 \text{ h}^{-1}$ , bei einer mittlere Luftgeschwindigkeit von ca.  $0.2 \text{ m/s}$  im Abluftrohr. Ab ca. 11:00 Uhr ist die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Aussen so gering, dass keine Lüftung mehr über das Abluftrohr stattfindet.

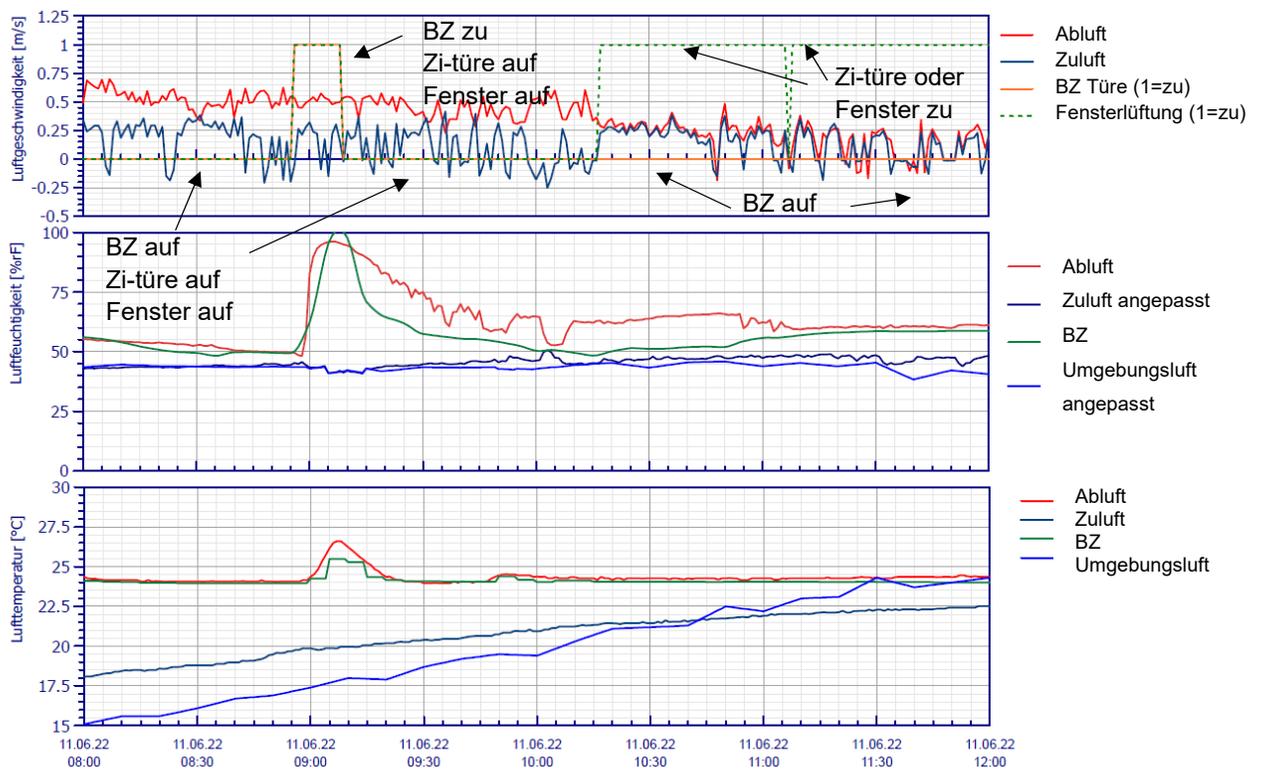


Bild 14 Duschvorgang und Badtüre geöffnet.



### 5.2.3 Lüftung an kalten Tagen (April)

Um ca. 8:00 Uhr am 31.03. wird die Badtüre geöffnet. Die rel. Luftfeuchte des Bads steigt von ca. 55 % sprunghaft auf 65 % an. Das Bad steht im Luftaustausch mit der restlichen Wohnung und ein Feuchteausgleich findet statt. In den folgenden rund 48 Stunden sinkt die rel. Feuchte im Bad auf rund 60 % ab. Es ist anzunehmen, dass dies auf die rel. Feuchte der gesamten Wohnung zutrifft. Die Feuchtereduktion erfolgt sehr langsam, da keine Anbindung zu Aussen besteht und der Feuchteabtransport für die gesamte Wohnung durch das Abluffrohr erfolgt. Gemäss [15] kann man davon ausgehen, dass ab einer Türöffnungsweite über 10 cm eine gute Wirkung des Luftaustausches zwischen Bad und Wohnung stattfindet.

Am 02.04. ist die Badtüre von rund 9:00-17:00 Uhr geschlossen. Es ist deutlich zu erkennen, dass nach einer Stunde die rel. Luftfeuchte im Bad von 60 % auf 45 % gesunken ist und nach sechs Stunden auf 35 %.

Während der gesamten Zeit nimmt die Strömungsgeschwindigkeit in Zu- und Abluffrohr leicht zu, da die Aussentemperatur von ca. 10 °C auf 0 °C sinkt. Ist die Badtüre geschlossen, wirkt die Schwerkraftlüftung nur auf das Badezimmerluftvolumen und eine rasche Reduktion der rel. Feuchte im Bad ist möglich. Ist die Badtüre geöffnet, wirkt die Schwerkraftlüftung auf das Luftvolumen der gesamten Wohnung und die rel. Luftfeuchte reduziert sich nur sehr langsam.

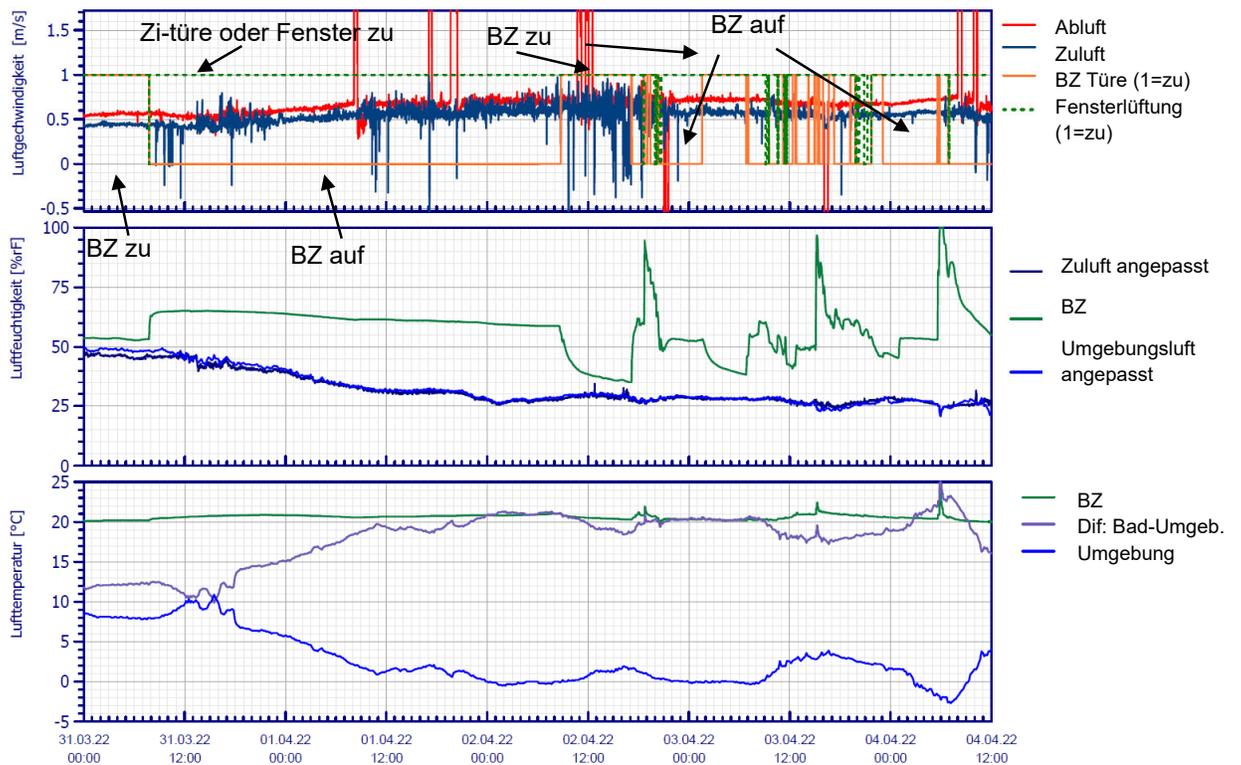


Bild 15 Kalte Periode: Badtüre geöffnet und anschliessend geschlossen.



Bei der grossen Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft ist die Wirkungsweise der Schwerkraftlüftung sehr gut zu sehen. Ist die Badtüre geschlossen, sinkt die rel. Luftfeuchte im Bad sehr rasch in der ersten Stunde ab und nimmt in den folgenden Stunden einen asymptotischen Verlauf an. Wenn die Badtüre geöffnet ist, trocknet das Bad sehr langsam ab, da es im Verbund mit der übrigen Wohnungsluft steht und der Luftaustausch über die Schwerkraftlüftung nur gering ist.

Bei tiefen Aussentemperaturen kann die Schwerkraftlüftung bei geschlossener Türe ein Abtrocknen des Bads sicherstellen. Ist die Türe geöffnet, hat die Schwerkraftlüftung kaum einen Einfluss auf die Wohnungslüftung.



### 5.2.4 Lüftung an warmen Tagen (August)

Bild 16 zeigt einen Ausschnitt für den 21.08.2022. Zwischen 15:00-19:00 Uhr gibt es keinen Unterschied zwischen Bad- und Aussenlufttemperatur (beide ca. 25 °C). Anschliessen sinkt die Aussenlufttemperatur innerhalb zwei Stunden von ca. 25 °C auf ca. 18 °C ab. Während die Badtemperatur weiterhin bei ca. 25 °C bleibt. Mindestens eine Zimmertüre und ein Fenster im selben Raum ist immer geöffnet, so dass bei geöffneter Badtüre das Bad Anbindung an Aussen hat.

Die Badtüre ist bis ca. 16:50 Uhr geöffnet. Die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad liegt vor dem ersten Duschvorgang bei 50 % und danach trotz Fensterlüftung recht konstant bei 70 %. Nach dem zweiten Duschvorgang ist zuerst die Badtüre geöffnet und das Bad trocknet auf von 100 % auf 75 % über die Fensterlüftung ab. Anschliessen wird die Badtüre geschlossen und die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad erhöht sich auf ca. 85 %. Da die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Aussen nur langsam zu nimmt, nimmt auch die Luftgeschwindigkeit in der Abluft nur langsam zu. Somit bleibt die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad sehr hoch. Erst nach dem Öffnen der Badtüre (ca. 21:00 Uhr), sinkt die rel. Luftfeuchte innerhalb 15 min auf 55 % durch die Fensterlüftung ab.

Es zeigt sich, dass wenn die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Aussenluft sehr gering ist, über die Schwerkraftlüftung nicht gelüftet werden kann.

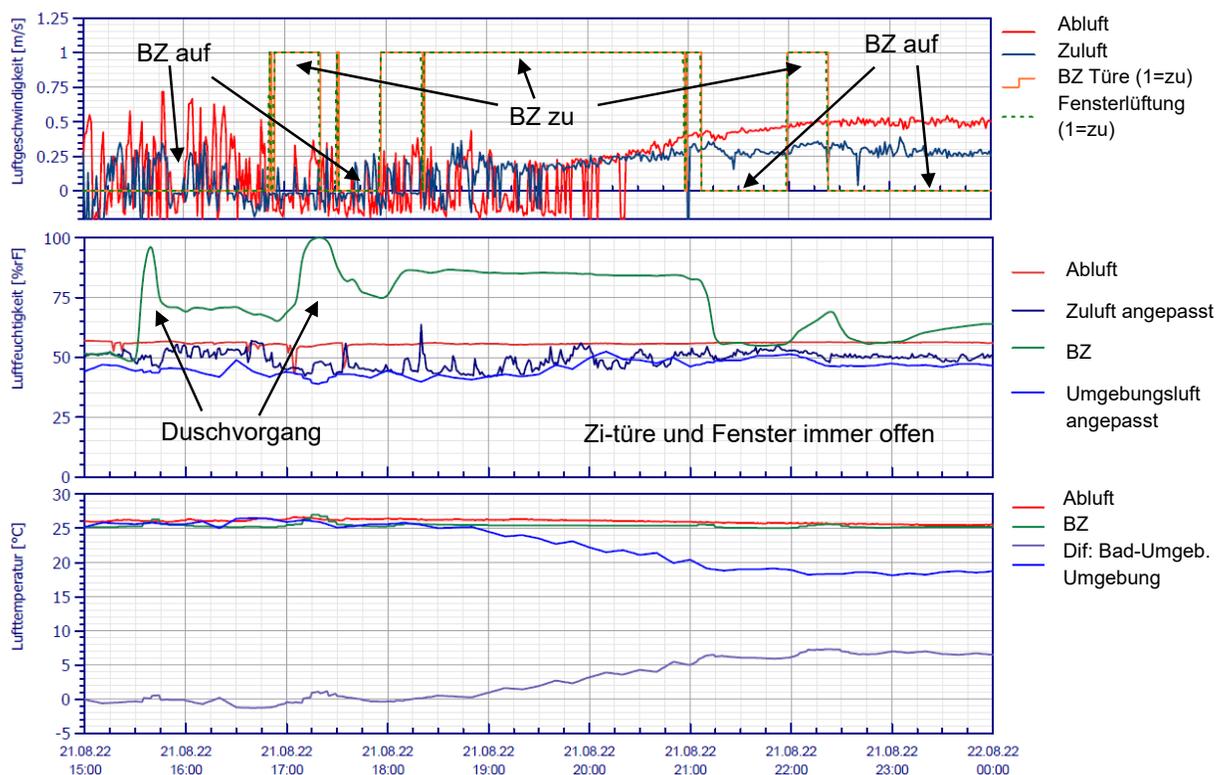


Bild 16 Warme Periode: zwei Duschvorgänge mit Badtüre erst geöffnet und dann geschlossen (BZ Türe Badtür, Fensterlüftung: Türen und Fenster). Während der gesamten Zeit ist immer mindestens eine Zimmertüre und ein Fenster im selben Raum geöffnet).



### 5.2.5 Unbewohnte Wohnungen (August/September)

Die Wohnungen 1. OG-O und 1. OG-W sind in August/September unbewohnt. In beiden Wohnungen steht zwischen Mitte August und Mitte September die Badtüre immer offen. In Wohnung 1. OG-O sind die Fenster/Zimmertüren geschlossen, während in 1. OG-W die meiste Zeit mindestens ein Fenster und die entsprechende Zimmertüre geöffnet ist (Bild 17).

- Bad 1. OG-O ist über die geöffnete Badtüre an die Wohnungsluft angeschlossen. Es hat aber keinen Anschluss an Aussen (Bild 17 a). Die rel. Luftfeuchtigkeit bleibt recht konstant auf 70 % (Bild 17 c). Deutlich ist zu erkennen, dass um die Mittagszeit bei den hohen Temperaturen der Aussenluft die Strömungsgeschwindigkeiten um 0 m/s schwanken (Bild 17 a). Die Luft bewegt sich in den Rohren hin und her. In der Nacht, wenn die Aussenlufttemperatur fällt, stellt sich wieder eine eindeutige Strömungsrichtung ein. Der Abluftvolumenstrom in der Nacht reicht jedoch nicht aus, um die rel. Luftfeuchtigkeit der gesamten Wohnung zu senken (vergl. Kap. 5.2.3).
- Bad 1. OG-W ist über geöffnete Türen und Fenster an Aussen angeschlossen. Die gemessene rel. Luftfeuchtigkeit in Bad 1. OG-W folgt der rel. Luftfeuchtigkeit der Aussenluft, bis das Fenster bzw. die Badtüren am 08.09.22 mittags geschlossen wird. D.h. das Bad wird über die normale Wohnungsfensterlüftung belüftet (Bild 17 c). Die Luftgeschwindigkeit der Zuluft weist die meiste Zeit negative Werte auf (max. > -1.5 m/s). Dies bedeutet, dass sich die Strömungsrichtung im Zuluftrohr umkehrt. Das Zuluftrohr wird zum Abluftrohr. Die Badluft strömt auch über das Zuluftrohr nach aussen. Nur in wenigen Nachtstunden kommt Zuluft aus dem Zuluftrohr (Bild 17 b). Der Einfluss der Wohnungsfensterlüftung auf die Abluft ist deutlich geringer als auf die Zuluft. In der Abluft werden nur leicht geringere Strömungsgeschwindigkeiten gemessen als in Bad 1. OG-O. Bis auf wenige Tagesstunden mit hohen Aussenlufttemperaturen strömt die Abluft durch das Abluftrohr über das Dach ab.
- Die Badlufttemperaturen sind sehr ähnlich, wobei das Bad 1. OG-O ca. 1 K wärmer ist als das Bad 1. OG-W (Bild 17 d).

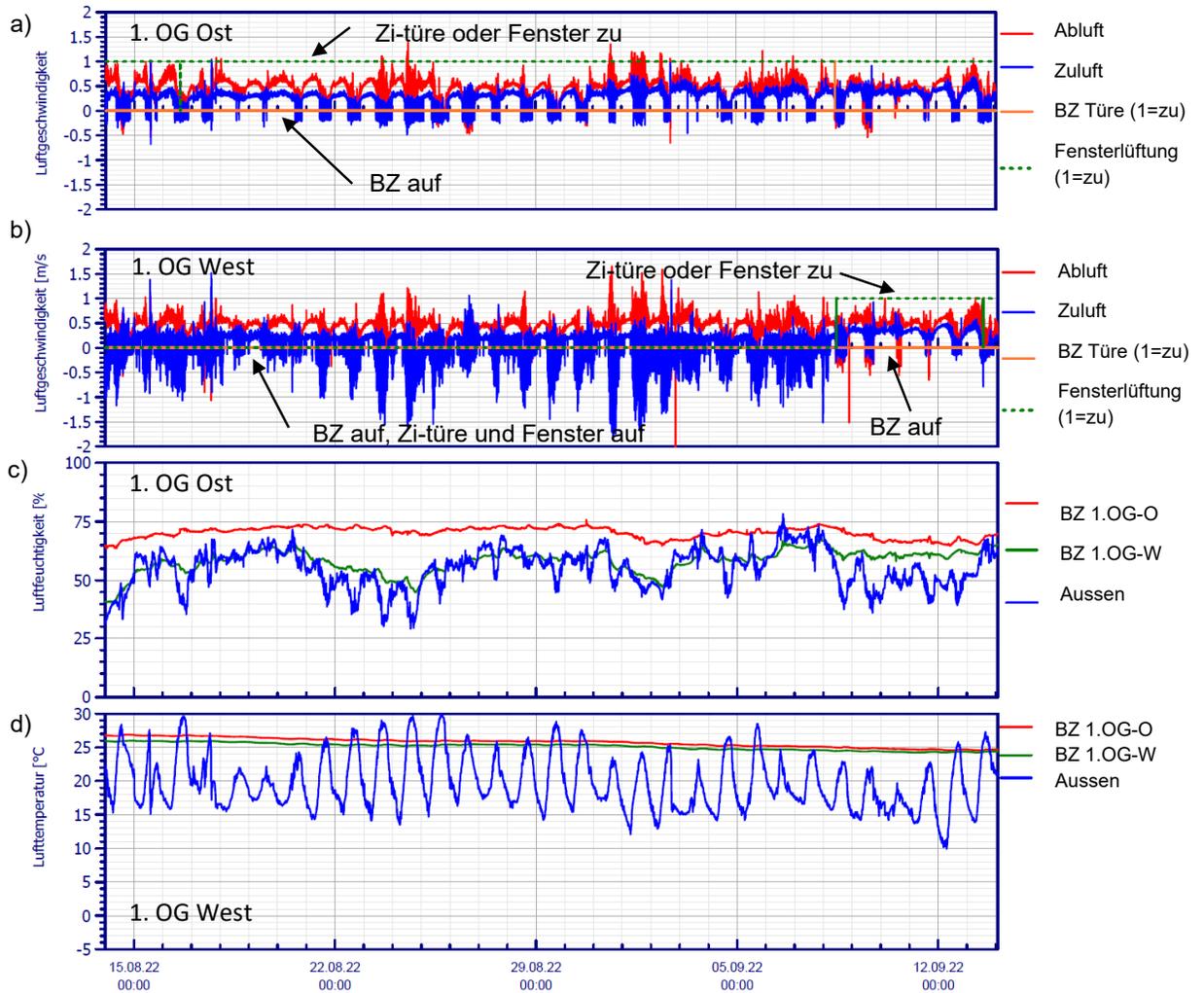


Bild 17 Vergleich der Bäder der unbewohnten Wohnungen 1. OG-O und 1. OG-W.



### 5.2.6 Windeinfluss

Das untersuchte Gebäude ist ca. 30° Nordost/Südwest ausgerichtet (Bild 18, links, Bezug längere Fassaden). Es liegt an einem Hang, der von Osten nach Westen ansteigt, d.h. südwestlich von dem Gebäude geht es noch leicht eine Böschung hoch, bevor das Plateau mit den nächsten Gebäuden kommt. Von Südwesten ist das Haus daher leicht windgeschützt. Auf der Nordostseite stehen Bäume vor dem Haus, die jedoch nur bis ca. zum 3. Stock reichen. Die Zuluft wird auf Bodenebene auf der Südwestseite gefasst. Die Fortluft wird über das Dach abgegeben. Die Öffnungen des Schachts sind Nordost-Südwest, parallel zu den Stirnseiten des Gebäudes, ausgerichtet.



Bild 18 Das untersuchte Gebäude ist mit dem roten Symbol gekennzeichnet und Fortluftschacht auf dem Dach (Quelle: google.com; INEB)

Der Windeinfluss ist am 24.10.22 um ca. 18 Uhr gut zu erkennen (Bild 19). Es liegt eine Windgeschwindigkeit von rund 40 m/s (144 km/h) aus Südwest vor (Anzeige an der Messstation Basel-Binningen). Obwohl das Gebäude bei dieser Windrichtung im Lee der höhergelegenen Nachbargebäude liegt, scheint sich ein Teil des Windes zwischen Gebäude und Hang zu kanalisieren und somit einen Einfluss auf die Zuluft zu haben. Deutlich ist zu erkennen, dass die Zuluftgeschwindigkeit (blau) zu nimmt. Die Abluft erhöht sich leicht (rot), jedoch liegt sie im Rahmen ihrer normalen Schwankungen. Es wird daher davon ausgegangen, dass in diesem Fall der Wind nur einen Einfluss auf die Zuluft, aber nicht auf die Abluft hat.

Die Luftwechselrate der Westbäder in Abhängigkeit von der Windrichtung ist in Bild 20 dargestellt. Bis auf die Ostwindrichtung zeigen alle Luftwechselraten dieselbe Schwankungsbreite 0 - ca. 1 h<sup>-1</sup>. Für die Ostrichtung ergibt sich ein Maximum von ca. 2 h<sup>-1</sup>. Es ist zu vermuten, dass dies an der recht freien Anströmung der Gebäude von Osten liegt. Die grössten Windgeschwindigkeiten treten bei Ost- und Westrichtung auf. In Westrichtung steht das Gebäude im Lee der höher gelegenen Nachbargebäude und daher kann kein erhöhter Luftwechsel verzeichnet werden.

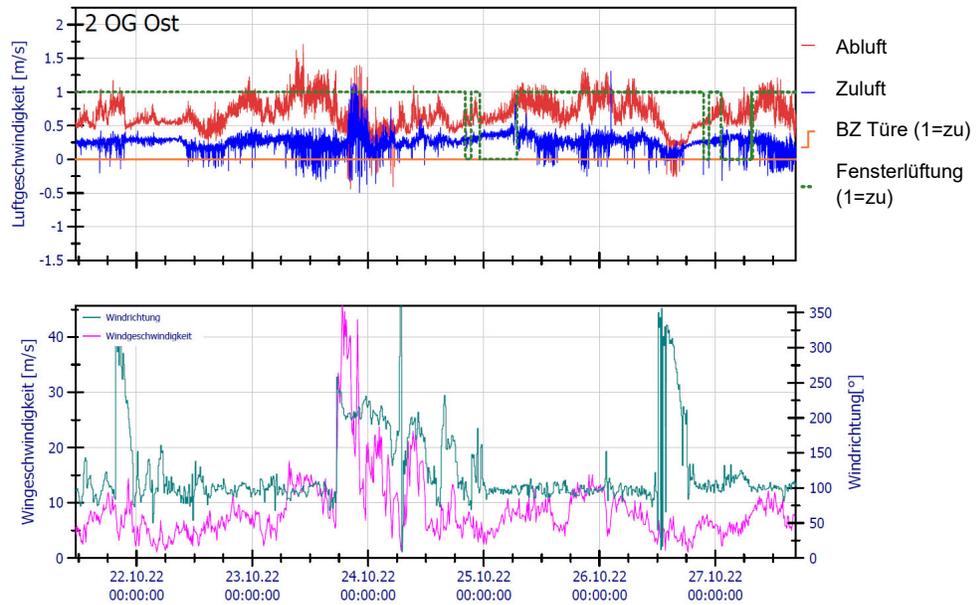


Bild 19 Windeinfluss 2. OG-O. Bild oben: Luftgeschwindigkeit im Zu- bzw. Abluftrohr (blau bzw. rot), Bild unten Windgeschwindigkeit (magenta) und -richtung (olivgrün).

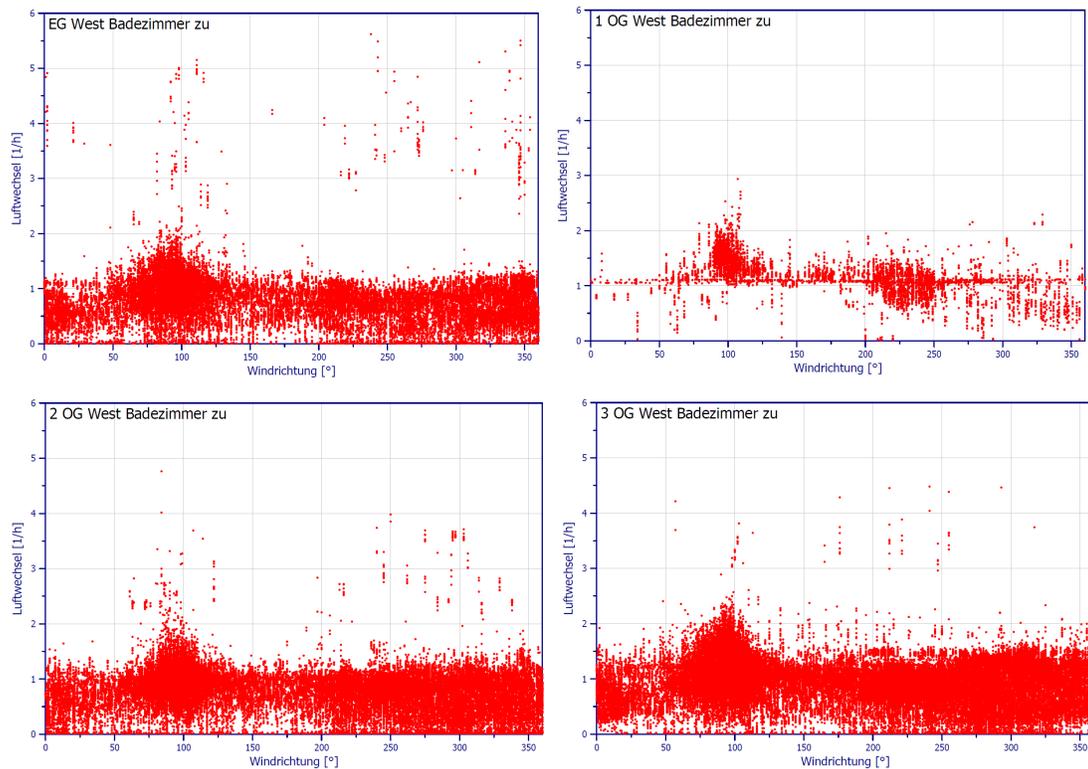


Bild 20 Einfluss der Windrichtung auf die Luftwechselrate für die Westbäder.



### 5.2.7 Volumenströme im Abluftrohr

Die Abhängigkeit des Abluftvolumenstroms von der Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft zeigt Bild 21 für alle Westbäder, Fall «Badtüre zu». Negative Temperaturdifferenzen bedeuten, dass die Aussenluft wärmer ist als die Luft im Bad (warme Sommertage). Eine starke Streuung der Abluftvolumenströme tritt bei jeder Temperaturdifferenz auf. Tendenziell nimmt bei grösseren Temperaturdifferenzen (ca. > 20 K) die Streuung ab. Bei Temperaturdifferenzen kleiner 5 K treten vermehrt auch negative Volumenströme auf. Dies bedeutet, dass sich die Strömungsrichtung im Abluftrohr umdreht. Volumenströme zwischen 10 - 20 m<sup>3</sup>/h treten sehr häufig auf, was einer Luftwechselrate zwischen 0.8 - 1.6 h<sup>-1</sup> bei geschlossener Badtüre entspricht.

Bild 22 zeigt die Fälle «Fenster zu» und «alle Zustände». Die Streuung der Abluftvolumenströme wird grösser. Vermehrt werden auch Werte zwischen 20 - 30 m<sup>3</sup>/h erreicht. Dies entspricht einer Luftwechselrate im Bad von 1.6 - 2.4 h<sup>-1</sup>. Es ist gut zu sehen, dass geöffnete Fenster im Fall «alle Zustände» bei kleinen Temperaturdifferenzen zu höheren Abluftvolumenströmen führen.

Die Volumenströme sind geringer als die für eine mechanische Bedarfslüftung normativ geforderten (Tabelle 1).

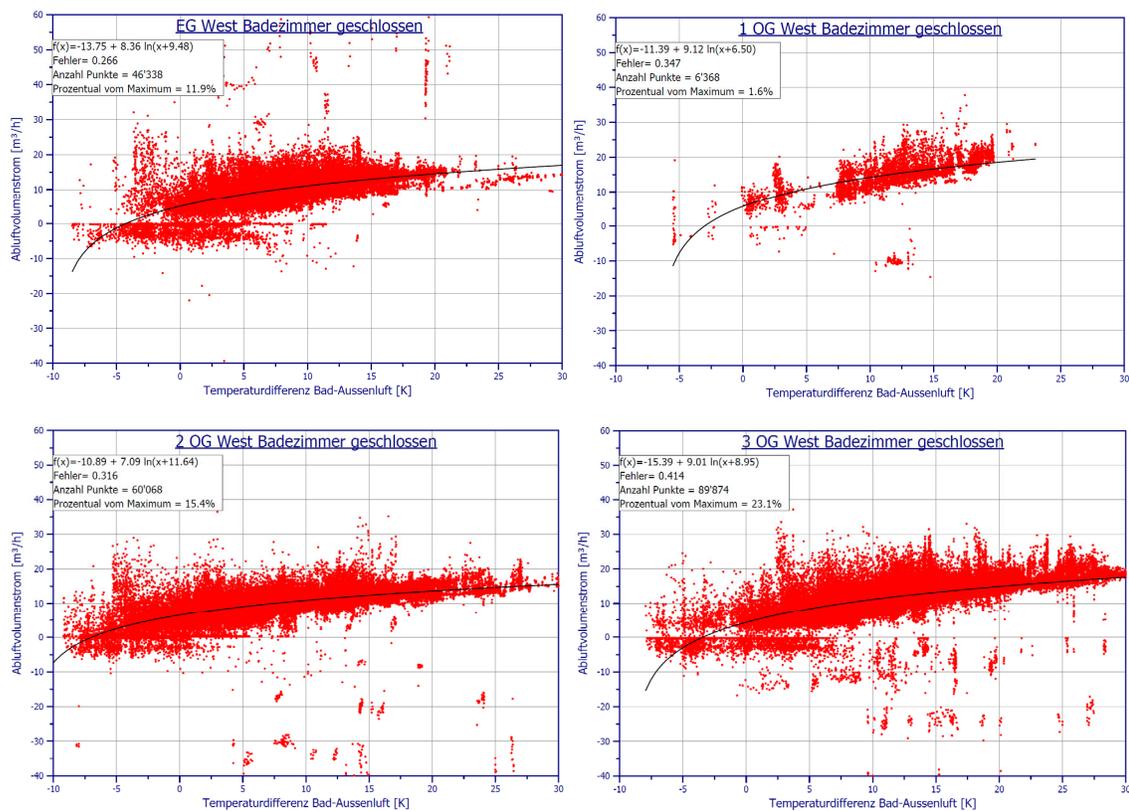


Bild 21 Fall «Badtüre zu»: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Westbäder (Anhaltswerte: 10 m<sup>3</sup>/h -> 0.8 h<sup>-1</sup>, 20 m<sup>3</sup>/h -> 1.6 h<sup>-1</sup>). Periode 08.03.22 – 06.01.2023. Die Anzahl der dargestellten Messpunkte und deren prozentualer Anteil an den Gesamtmesspunkten ist angegeben.

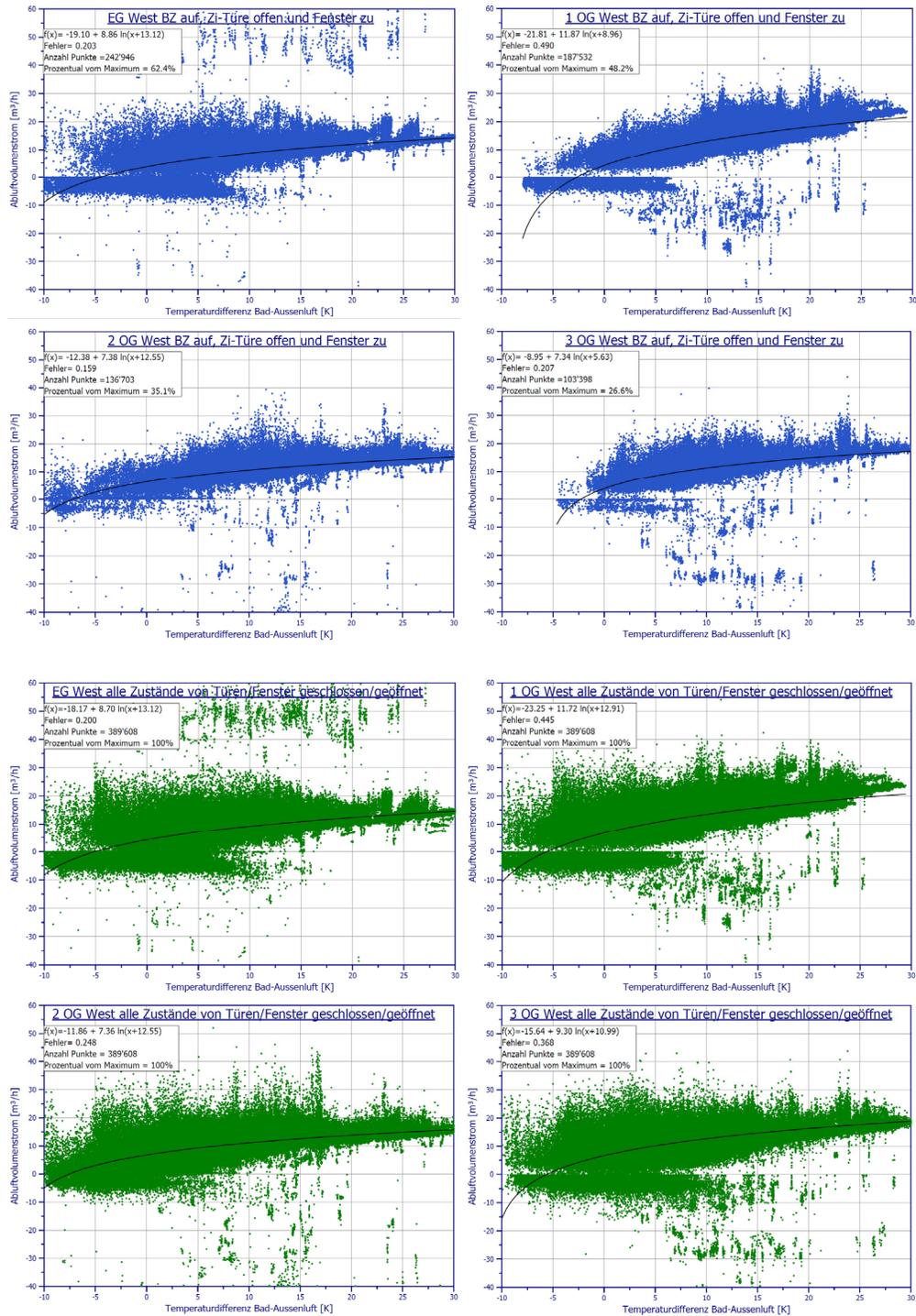


Bild 22 Fälle «Fenster zu» (blau) und «alle Zustände» (grün): Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Westbäder (Anhaltswerte:  $10 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0.8 \text{ h}^{-1}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 1.6 \text{ h}^{-1}$ ). Periode 08.03.22 – 06.01.2023. Die Anzahl der dargestellten Messpunkte und deren prozentualer Anteil an den Gesamtmesspunkten ist angegeben.



### 5.2.8 Luftwechselrate

Für die Westbäder zeigt Bild 23 die Luftwechselrate in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft. Deutlich ist zu sehen, dass die Luftwechselrate mit steigender Temperaturdifferenz grösser wird (rot: «Badtüre zu», grün «alle Zustände»). Der Anstieg ist asymptotisch und ab ca. 15 K Differenz (EG, 2. OG) tritt kaum eine weitere Änderung ein.

Bei EG, 2. OG und 3. OG ist zu erkennen, dass der Luftwechsel mit der Höhenlage der Wohnung leicht zu nimmt. Es ist unklar, warum die Luftwechsel im 1. OG so hoch sind.

Der Luftwechsel im Bad ist bei geschlossene Badtüre i.d.R. deutlich höher (rot), als wenn die Badtüre geöffnet ist und die Fenster geschlossen sind (blau). Bei «Fenster zu» steigt zwar der Abluftvolumenstrom leicht an (Bild 22), aber das Bezugsvolumen wird viel grösser, so dass der Luftwechsel sehr klein wird. D.h. die Schwerkraftlüftung hat keinen Einfluss auf die allgemeine Wohnungslüftung. In 2. OG und 3. OG scheint es viele Stunden zu geben, in denen zwar die Badtüre offen ist, aber die Zimmertüren zu.

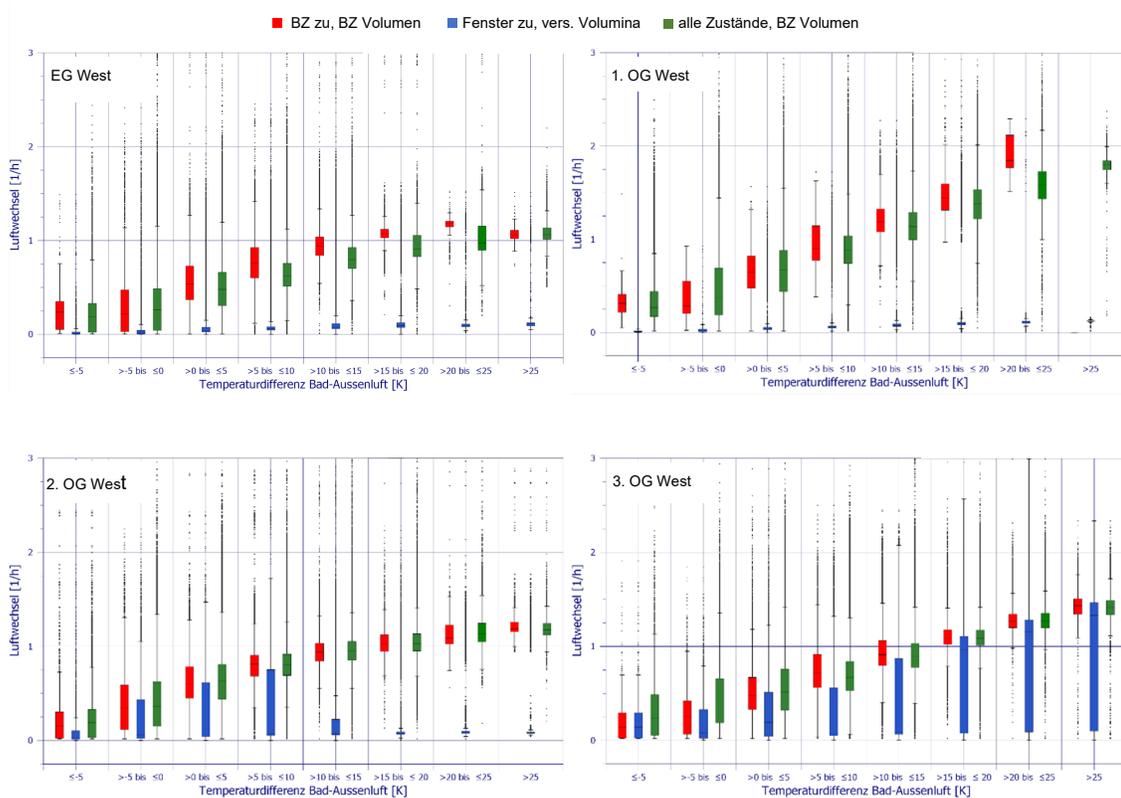


Bild 23 Boxplots der Luftwechselrate in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Westbäder. Periode 08.03.22 – 06.01.2023. Rot: «Badtüre zu», blau «Fenster zu», grün «alle Zustände».



Alle Bäder zeigen in den Sommermonaten tiefere Luftwechsel als in den Wintermonaten (Bild 24). Dies liegt an den kleiner werdenden Abluftvolumenströmen im Sommer, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft abnimmt. Im Winter ergibt sich eine mittlere Luftwechselrate im Bad von rund 1 - 1.2 h<sup>-1</sup>, für «Badtüre zu» bzw. für «alle Zustände». Im Sommer liegt die mittlere Luftwechselrate bei rund 0.4 h<sup>-1</sup>, wobei die Einzelwerte stark schwanken. Diese Werte stimmen mit den Aussagen aus Kap. 5.1.1. gut überein.

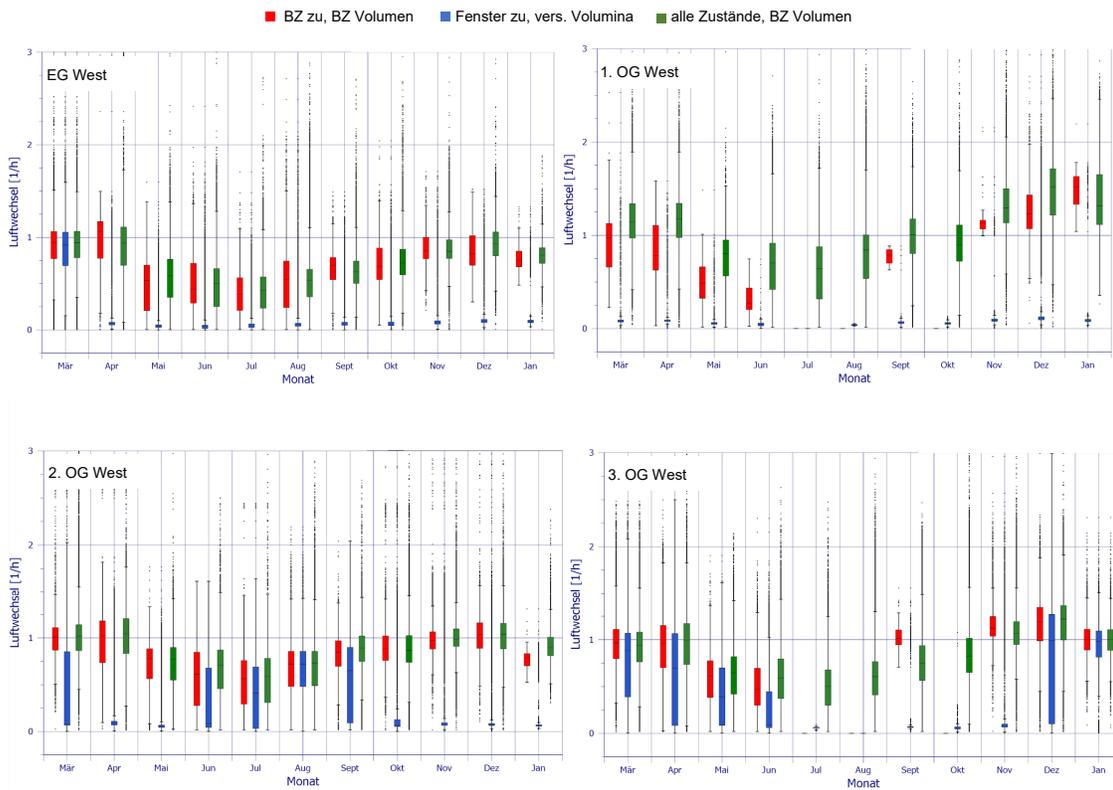


Bild 24 Boxplots der monatlichen Luftwechselrate aller Westbäder. Periode 08.03.22 – 06.01.2023. Rot: «Badtüre zu», blau «Fenster zu», grün «alle Zustände».



### 5.2.9 Zulässige Raumlufffeuchte

Um Feuchteschäden zu vermeiden, darf gemäss SIA 180 [10] die relative Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur gewisse Grenzen im Tagesmittel nicht überschreiten. Bild 25 zeigt dies für die Westbäder für den Fall «Badtüre zu». Da die Lufttemperaturen im Bad i.d.R. zwischen 20 – 25 °C liegen, sind die maximal zulässigen Tagesmittelwerte der rel. Raumlufffeuchtigkeit für die Raumlufftemperaturen 20 °C und 25 °C gegeben. Es ist gut zu erkennen, dass an den meisten Tagen die maximal zulässigen Tagesmittelwerte, selbst bei geschlossener Badtüre, unterschritten werden. Da die Badtüre hauptsächlich geschlossen ist, wenn geduscht wird und eine kurze Zeitspanne danach, d.h. hohe Belastungen vorliegen, ist dies der schlechteste Fall. Anzumerken ist, dass die dargestellten Tageswerte nicht auf Norm-Konformen 24-h Mittelwerten beruhen, sondern auf Mittelwerten über die Schliessungsdauer der Badtüre. Dies können z.B. auch nur 30 min an einem Tag sein.

Da die meiste Zeit des Tages jedoch die Badtüren offenstehen, sind für eine Gesamtbetrachtung auch die Fälle «Fenster zu» (Bild 26 oben, «echte» Tagesmittelwerte und kürzer Zeitspannen) und «alle Zustände» (Bild 26 unten, «echte» Tagesmittelwerte) interessant. Bei diesen Fällen verschiebt sich erwartungsgemäss die rel. Feuchte zu niedrigeren Werten, da das Bad im Luftaustausch mit der Wohnung bzw. auch über geöffnete Fenster mit der Aussenluft steht. Der Grenzwert für die rel. Raumlufffeuchtigkeit wird an fast allen Tagen eingehalten. Warum das EG die meisten Überschreitungen aufweist, ist unbekannt.

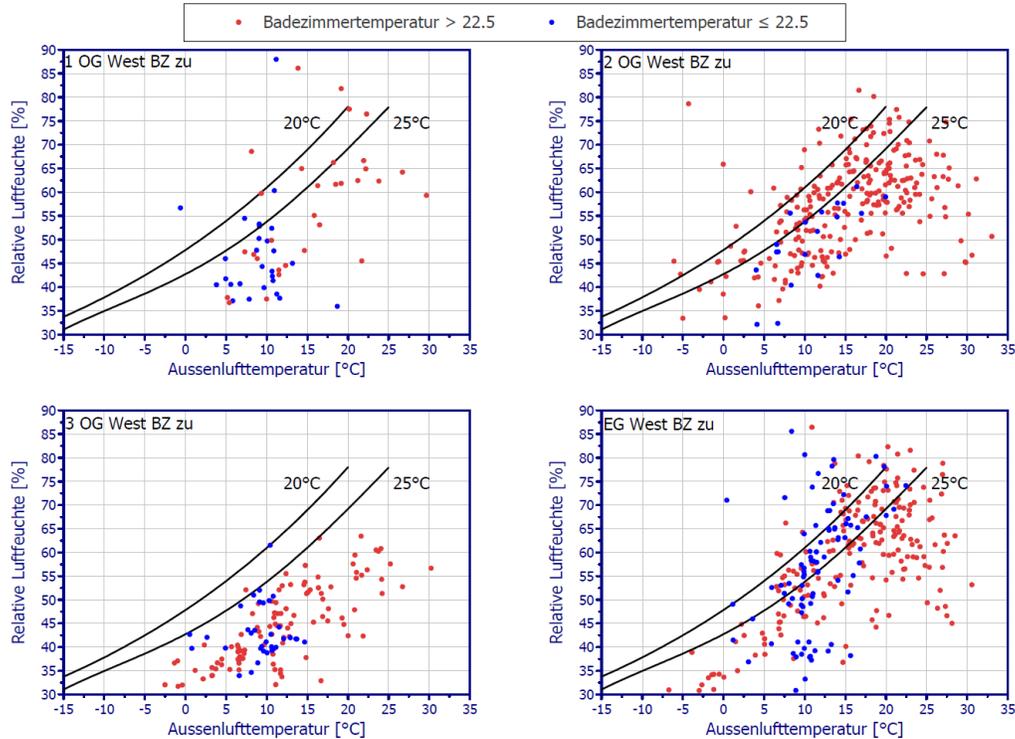


Bild 25 Fall «Bad zu»: maximal zulässige Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchtigkeit aller Westbäder in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur für Raumlufftemperaturen von 20 ° und 25 °C gemäss SIA 180. Anmerkung: Die hier gezeigten Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchtigkeit beziehen sich nur auf die kurzen Zeiten, in denen pro Tag die Badtüre geschlossen ist. Periode 08.03.22 – 06.01.2023.

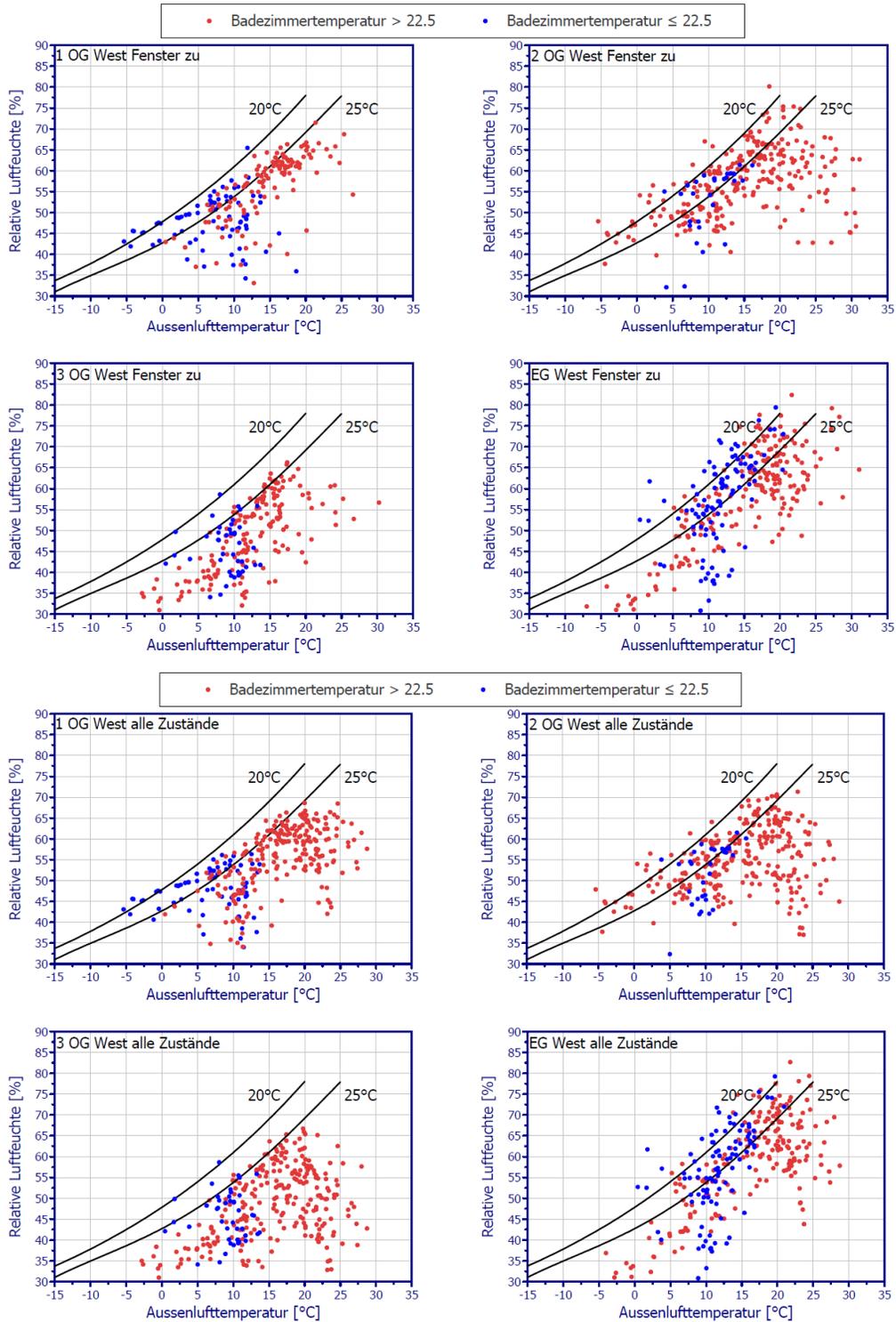


Bild 26 Maximal zulässige Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchtigkeit aller Westbäder in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur für Raumlufttemperaturen von 20 ° und 25 °C gemäss SIA 180. (oben: «Fenster zu», unten: «alle Zustände»). Periode 08.03.22 - 06.01.2023.



### 5.2.10 Schimmelrisiko

Um das Sporenauskeimungsrisiko auf Grundlage der LIM-Kurven (Kap. 3.3) zu bestimmen, müssen die Oberflächentemperaturen und -feuchten der innenliegenden Bäder geschätzt werden.

In den innenliegenden Bädern liegen die Raumlufttemperaturen immer über 20 °C. Die Raumlufttemperaturen der Wohnräume, die die innenliegenden Bäder umschliessen sind unbekannt, jedoch wird angenommen, dass diese ebenfalls mindestens 20 °C Lufttemperatur aufweisen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Oberflächentemperaturen der innenliegenden Bäder ebenfalls mindestens 20 °C beträgt und ungefähr der Badlufttemperatur entspricht.

Eine Oberflächentemperatur von 20 °C führt im Isoplethensystem bei Substratgruppe I zu einer dauerhaft zulässigen rel. Oberflächenfeuchte von knapp 76 %. Gemäss [17] kommt es bei einer Oberflächentemperatur von 20 °C nicht zur Sporenbildung, wenn täglich sechs Stunden 85 % rel. Feuchte und 16 Stunden 60 % rel. Oberflächenfeuchte vorliegen. Erst wenn täglich während acht Stunden eine rel. Oberflächenfeuchte von 85 % vorliegt, setzt nach 20 Tagen Pilzbildung ein.

Oberflächenwerte von 20 °C und 76% entsprechen bei 21 °C Lufttemperatur 72 % rel. Luftfeuchte. Dieser Wert wird bei Fall «Badtüre zu» nur an manchen Tagen kurzzeitig (Bild 25) und für Fall «alle Zustände» nur an sehr wenigen Tagen als Tagesmittelwerte überschritten (Bild 26, unten). D.h. mehrere Tage hintereinander mit kontinuierlich hohen Luftfeuchten treten im bewohnten Zustand nicht auf, so dass gemäss LIM-Methode kein Sporenauskeimungsrisiko besteht.

Im Sommer stellt sich bei einer unbewohnten Wohnung mit geöffneter Badtüre und geschlossenen Fenstern eine Badlufttemperatur von ca. 25 °C und eine rel. Luftfeuchte von ca. 70 % über rund vier Wochen ein (Bild 17). Bei einer angenommenen Oberflächentemperatur von 24 °C ergibt dies 74 % rel. Oberflächenfeuchte. Gemäss LIM-Methode ist bei diesen Bedingungen für eine Oberfläche in Substratgruppe I nicht mit Sporenauskeimung zu rechnen.

Kritische könnte es an Sommertagen werden, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Umgebung sehr klein bzw. null ist, da kein Luftaustausch über die Schwerkraftlüftung erfolgt. Bleibt nach einem Duschvorgang die Badtüre mehrere Stunden geschlossen, trocknet das Bad nur sehr langsam ab (Bild 16). Bei den Bedingungen aus Bild 16 (Badlufttemperatur 25 °C und rel. Raumluftfeuchte 85 %) ergibt sich für eine angenommene Oberflächentemperatur von 24 °C eine Oberflächenfeuchte von 90 %. Würde die Badtüre über 24 Stunden geschlossen bleiben und sich dabei die Temperaturen und Feuchten nicht stark ändern, muss gemäss Substratgruppe I in Bild 5 nach 24 Stunden mit Sporenauskeimung gerechnet werden. Wäre die Oberflächentemperatur ebenfalls 25 °C, dann müsste die Badtüre zwei Tage bei gleichen Temperaturen und Feuchten geschlossen sein, um eine Sporenauskeimung zu ermöglichen. Im realen Gebrauch ist dies sehr unwahrscheinlich.

Daraus folgt, dass im (Hoch-)Sommer die Badtüre nicht 24 h am Tag geschlossen bleiben sollte und dass das innenliegende Bad über die normale Wohnungslüftung, d.h. über geöffnete Fenster belüftet werden sollte.



## 6 Mieterbefragung

Im Rahmen der Ablesung der Messdatenlogger Anfang Januar 2023 werden die Mieter:innen zu ihrem Eindruck zu der Schwerkraftlüftung befragt. Alle acht Wohnungen sind zum Zeitpunkt der Befragung belegt, es können aber nur in fünf Wohnungen die Mieter:innen befragt werden.

Folgende Aussagen können zusammengestellt werden:

- Die Zuluft, in Höhe des Knöchels neben dem WC, wird entweder gar nicht oder nur schwach wahrgenommen und nicht als störend empfunden.
- Zwei Befragte haben beobachtet, dass die Lüftung stärker wird, wenn der Küchenabzug eingeschaltet ist, jedoch wird dies nicht als störend empfunden.
- Eine Person hat bemerkt, dass die Zuluft noch stärker wird, wenn es sehr windig ist und dieser Effekt verstärkt sich, wenn ein Fenster offen ist.
- Eine Person hat erwähnt, dass sie Gerüche aus anderen Wohnungen bemerkt.
- Drei von fünf Befragten haben das Bedürfnis, die Badtüre nach dem Duschen zu öffnen, da sie das Gefühl haben, dass das Badezimmer sonst länger feucht bleibt.
- Vier von fünf Befragten würden die Badtüre ganz offenlassen, falls die Tür einmal geöffnet wäre.
- Im Sommer lassen viele der Befragten Fenster während einer längeren Zeit gekippt offen.
- Im Winter lüften drei von fünf der Befragten die Wohnung für ein paar Minuten vollständig durch und schliessen dann die Fenster wieder.
- Zwei Befragte haben angegeben, dass sie Fenster auch im Winter über einen längeren Zeitraum gekippt offenlassen.



## 7 Vergleich Heizwärmebedarf und Heizwärmeverbrauch

Der Heizwärmebedarf wird gemäss SIA 380/1:2016 zu  $Q_H = 30.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  bestimmt. Der Heizwärmeverbrauch für den Zeitraum September 2022 bis Februar 2023 wird mittels der Wohnungswärmemengenzähler zu  $Q_{H,\text{Verbr.}} = 21.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$  für alle 16 Wohnungen bestimmt. Zwischen September '22 und Februar '23 stehen drei Wohnungen z.T. leer, was sich insgesamt auf 10 Monate Leerstand von 96 Monaten Vollbelegung summiert. Um dies zu berücksichtigen, wird der Verbrauch linear hochgerechnet und es ergibt sich ein theoretischer Verbrauch für alle 16 Wohnungen von  $Q_{H,\text{Verbr.}} = 23.7 \text{ kWh}/\text{m}^2$  bei Vollbelegung für die sechs Monate. Dieser bildet die Basis für den Vergleich.

Vor dem Vergleich muss der Verbrauch gemäss Gl. 8 auf ein Jahr mit Standardklima umgerechnet werden. Für die akkumulierte Temperaturdifferenz wird das langjährige Mittel der Periode 2017-2020 herangezogen und für die Heizgradtage die Periode 2011-2020. Mit den beiden langjährigen Mittelwerten ergeben sich folgende Werte für den standardisierten Heizwärmeverbrauch:

- $Q_{H,\text{std,Verbr}} = 33.6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  mit akkumulierten Temperaturdifferenzen
- $Q_{H,\text{std,Verbr}} = 35.3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  mit Heizgradtagen

Es zeigt sich, dass der standardisierte Heizwärmeverbrauch je nach Verfahren um 10 % (akkumulierte Temperaturdifferenzen) bzw. 16 % (Heizgradtagen) höher liegt als der berechnete Heizwärmebedarf. Lt. [18] haben die Nutzer:innen einen Einfluss auf den Wärmeverbrauch von  $\pm 50 \%$ . Eine weitere Studie belegt einen mittleren Mehrverbrauch durch die Nutzer:innen von 44 % [19]. Damit liegt der Mehrverbrauch im Rahmen dessen, was in der Literatur durch den Einfluss der Nutzer:innen erwartet wird. Zusätzlich ist es der erste Winter nach der Erstellung des Neubaus in Massivbauweise. Infolge der Bauaustrocknung kann es zu mehr Lüftungsaktivitäten kommen, was den Heizwärmeverbrauch erhöht. Aufgrund der durchweg hohen Badtemperaturen ist anzunehmen, dass auch die Wohnungen höher als die normative Temperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  beheizt werden. Dies erhöht ebenfalls den Heizwärmeverbrauch. Es ist davon auszugehen, dass der Mehrverbrauch auf die Mieter:innen zurückzuführen ist und die Schwerkraftlüftung zu keinem erhöhten Heizwärmeverbrauch führt.

Gemäss Rücksprache mit dem Vermieter sind die Wohnungen immer angenehm warm. Es ist also davon auszugehen, dass trotz der hohen Energiepreise die Raumtemperaturen nicht reduziert werden. Obwohl ein Mehrverbrauch vorhanden ist, wird der Grenzwert gemäss SIA 380/1:2016 von  $Q_{H,\text{li}} = 35.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  unterschritten.



## 8 Diskussion und Fazit

Nur wenn die Badtüre geschlossen ist, kann man davon ausgehen, dass der Luftwechsel im Bad (weitestgehend) durch die Schwerkraftlüftung induziert wird. Sobald die Badtüre geöffnet ist, ist das Bad an das Luftvolumen der Wohnung angeschlossen und ein Luftaustausch zwischen Bad und Wohnung findet statt. Undichtheiten in der Gebäudehülle sowie geöffnete Fenster haben dann einen zusätzlichen Einfluss auf den Luftaustausch im Bad bzw. der Wohnung, der mit dem Monitoring nicht quantifiziert werden kann. Es wird angenommen, dass in diesen Fällen der Luftwechsel im Bad grösser als hier dargestellt ist. Es wird versucht, diese verschiedenen Zustände mit den drei Fällen «Bad zu», «Fenster geschlossen» und «alle Zustände» abzudecken.

Das Monitoring zeigt, dass in den untersuchten Wohnungen die Badtüren fast immer geöffnet sind. D.h. der Luftwechsel im Bad wird ausser durch die Schwerkraftlüftung fast immer auch über die Wohnung und Fensteröffnung beeinflusst. Trotzdem kann der saisonale Einfluss der Schwerkraftlüftung nur auf das Badvolumen (Fall «Bad zu») bestimmt werden. Die zugrundeliegenden Zeitspannen sind jedoch sehr kurz.

Der Einfluss des Öffnens und Schliessens des Zuluftventils mit der Lichtschaltung des Bads kann nicht quantifiziert werden. Da die Bäder an einen undichten Installationsschacht angeschlossen sind, wird die Zuluft ersatzmässig über diesen Installationsschacht gezogen. Die erweiterte Öffnungsstellung des Zuluftventils bei «Licht an» wird dadurch irrelevant, da es auch schon im «geschlossenen» Zustand eine leichte Öffnung aufweist.

Der Vergleich des berechneten Heizwärmebedarfs und des gemessenen Heizwärmeverbrauchs zeigt, dass der Verbrauch leicht höher ist als der Bedarf. Der Mehrverbrauch liegt aber im Rahmen dessen, was gemäss Literatur durch den Einfluss der Mieter:innen zu erwarten ist. Zusätzlich weist die Schwerkraftlüftung Luftwechsel in den innenliegenden Bädern mit deutlich unter  $2 \text{ h}^{-1}$  auf. Dies führt gemäss [20] nicht zu einem Mehrverbrauch gegenüber natürlich belüfteten Räumen, da es bei einer Fensterlüftung auch keine Wärmerückgewinnung gibt. Somit hat die Schwerkraftlüftung keinen signifikanten Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch.

Die Messtechnik und Datenerfassung laufen über den gesamten Zeitraum stabil. Es gab nur zwei kurzzeitige Ausfälle: März 22 Datenaufnahme in den Abluftrohren im Dach und Januar 23 Datenaufnahme in den Zuluftrohren im Keller. Infolge der vielen Messpunkte und der unterschiedlichen Tür- und Fensteröffnungsstellungen ist die Auswertung sehr zeitintensiv.

Grundsätzlich zeigt es sich, dass im Winter die Schwerkraftlüftung die innenliegenden Bäder bei geschlossener Tür ausreichend belüftet. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft wird, desto geringer werden die Luftwechselraten bei geschlossener Badtüre. D.h. im Sommer dauert das Abtrocknen deutlich länger. Dies liegt jedoch nicht nur an der geringen Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Aussenluft, sondern auch daran, dass im Sommer die absolute Luftfeuchtigkeit der Aussenluft deutlich ansteigt.

Die Einordnung der Messwerte in die LIM-Kurven zeigt, dass infolge der Schwerkraftlüftung generell kein erhöhtes Schimmelrisiko besteht. Die einzige Ausnahme bilden warme Sommertage, an denen die Temperaturdifferenz zwischen Bad und Umgebung sehr gering ist und nach einem Duschvorgang die Badtüre 24 Stunden geschlossen bleibt. Obwohl dieser Fall im realen Betrieb sehr unwahrscheinlich ist, sollte er ausgeschlossen werden. Hierzu sollte im Sommer, wenn kein Temperaturunterschied zwischen Bad und Aussenluft herrscht, mit einer geöffneten Badtüre und geöffneten Fenstern der Luftaustausch und das Abtrocknen im innenliegenden Bad unterstützt werden. Solange die Nutzer:innen die Wohnung inkl. geöffneten Badtüre mit der üblichen Sommerlüftungsstrategie bei



Fensterlüftung von einer Morgen- und Abendlüftung bzw. einer Nachtlüftung lüften, ist das Schimmelrisiko im innenliegenden Bad minimiert.

Ein zusätzlicher Lüftungsspalt in der Badtüre würde die Situation bei einer geschlossenen Badtüre nicht verbessern. Im Sommer weist die Wohnungsluft ebenfalls eine sehr hohe Luftfeuchte auf, was das Abtrocknen des Bades erschwert. Im Winter und den Übergangsjahreszeiten ist der zusätzliche Lüftungsspalt überflüssig, da genügend Zuluft im Bad vorhanden ist, um das Bad zu entfeuchten.



## 9 Publikationen

M. Hall, V. Gerber and A. Geissler, “Schwerkraftlüftung - Low-tech Lüftung für innenliegende Bäder in einem Mehrfamilienhaus” in *22. Status-Seminar, brenet, 8./9.Sep. Aarau, 2022*  
doi: 10.5281/zenodo.6798164.

M. Hall, V. Gerber and A. Geissler, “Gravity ventilation for interior bathrooms”. Poster und Paper bei der CISBAT 13.-15.09.2023, Lausanne



## 10 Literaturverzeichnis

- [1] Schachtlüftung, "<https://www.creoven.de/berliner-koelner-dortmunder-lueftung>, [https://de.wikipedia.org/wiki/Lüftung#Schachtlüftung\\_\(ohne\\_Ventilator\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lüftung#Schachtlüftung_(ohne_Ventilator))." 2021.
- [2] B. Bosy, "Raumluftechnik." <http://www.bosy-online.de/Raumluftechnik/Seite197.jpg> (accessed Nov. 18, 2022).
- [3] Trox Hesco Schweiz AG, "Automatisches Tellerventil - Typ A\_TV-C-100." 8630 Rüti, L-07-2-05d, [www.troxhesco.ch](http://www.troxhesco.ch), 2017.
- [4] SIA 382/1, "Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2014.
- [5] SIA 382/5, "Mechanische Lüftung in Wohngebäuden." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021.
- [6] Merkblatt SIA 2024, "Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik (Merkblatt SIA 2024:2021)." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021.
- [7] C. Hoffmann, V. Dorer, C. Hauri, A. Primas, and H. Huber, "Hybride Lüftung - ein guter Kompromiss?," in *brenet 22. Status-Seminar*, 2022, pp. 28–43, [Online]. Available: DOI 10.5281/zenodo.6798164.
- [8] SIA 180, "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (SIA 180:2014)." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2014.
- [9] SIA 380/1, "Heizwärmebedarf." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2016.
- [10] SIA 180, "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden." 2014.
- [11] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis*, 2nd ed. University Science Books, 1997.
- [12] Schmidt Technology GmbH, "Gebrauchsanweisung - Strömungssensor SS 20.250, Ausgabe: 529070.01D." St. Georgen (D), 2021.
- [13] SIA 380, "Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden." Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2022.
- [14] HEV Schweiz, "Akkumulierte Temperaturdifferenzen." [www.hev-schweiz.ch](http://www.hev-schweiz.ch) (accessed Mar. 14, 2023).
- [15] M.-T. Moser, A. Primas, and A. Zakovorotnyi, "Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte," 2022, doi: 10.5281/zenodo.6798164.
- [16] K. Sedlbauer, W. Zillig, and M. Krus, "Isoplethensysteme ermöglichen eine Abschätzung von Schimmelpilzbildung," *IBP-Mitteilungen*, vol. 388, no. 28, 2001.
- [17] K. Sedlbauer, "Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen." Dissertation, Universität Stuttgart, 2001.
- [18] T. Loga, M. Grossklos, and J. Knissel, "Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung," IWU Darmstadt im Auftrag von Viterra Energy Service AG, Essen, 2003. [Online]. Available: [www.iwu.de](http://www.iwu.de).
- [19] I. Mojic, M. Luzzato, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, and S. van Velsen, "ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern," SPF Institut für Solartechnik, HSR Rapperswil, BFE Schlussbericht SI/501469-01, 208AD. [Online]. Available: [www.spf.ch](http://www.spf.ch).
- [20] Konferenz kantonaler Energiedirektoren EnDK, "Vollzugshilfe EN-105 - Lüftungstechnische Anlagen." 2018, [Online]. Available: [www.endk.ch](http://www.endk.ch).



# 11 Anhang

## 11.1 Übersicht Wohnungen, Schachtanordnung, Messstellen

Der vierstöckige Neubau verfügt pro Etage über vier Wohnungen (Bild 27):

- Aussen: 4.5 Zimmer Whg mit innenliegendem WC (nicht betrachtet)
- innen: 3.5 Zimmer Whg mit innenliegendem Bad (lila, pink)

Es sollen jeweils die innenliegenden Bäder gemessen werden (lila, pink). In den Bädern befindet sich auch der Installationsschacht mit Heizungs- und Wasserversorgung (Bild 28). Es gibt auch eine Anbindung an den Sicherungskasten.

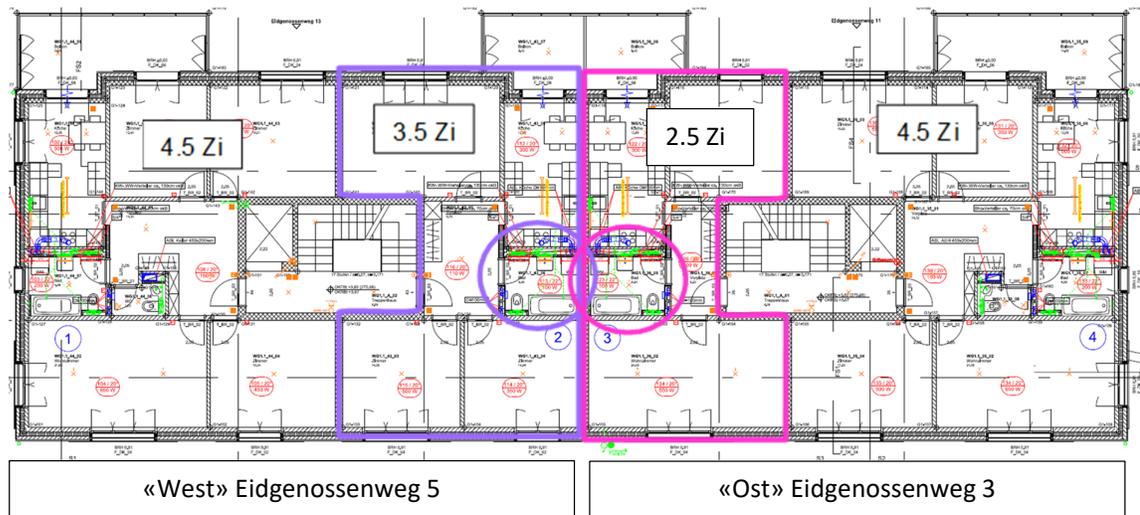


Bild 27 Layout 1 OG (Eidgenossenweg 3/5, Basel)

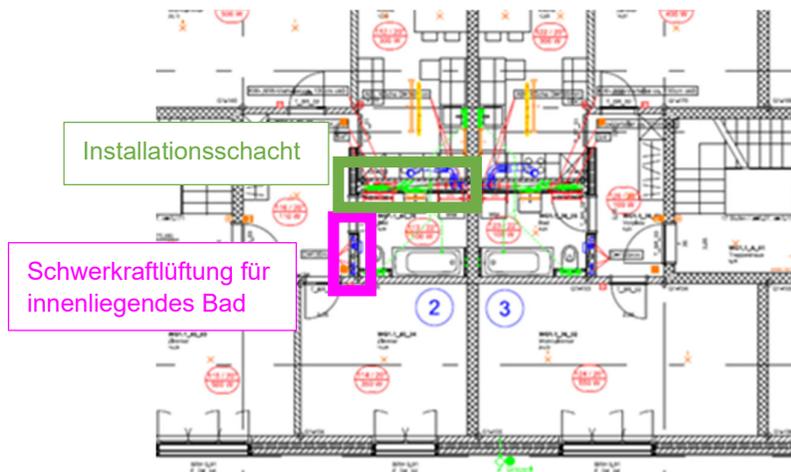


Bild 28 Detailansicht 1 OG: Lage der Schächte für die Schwerkraftlüftung und Installationen.

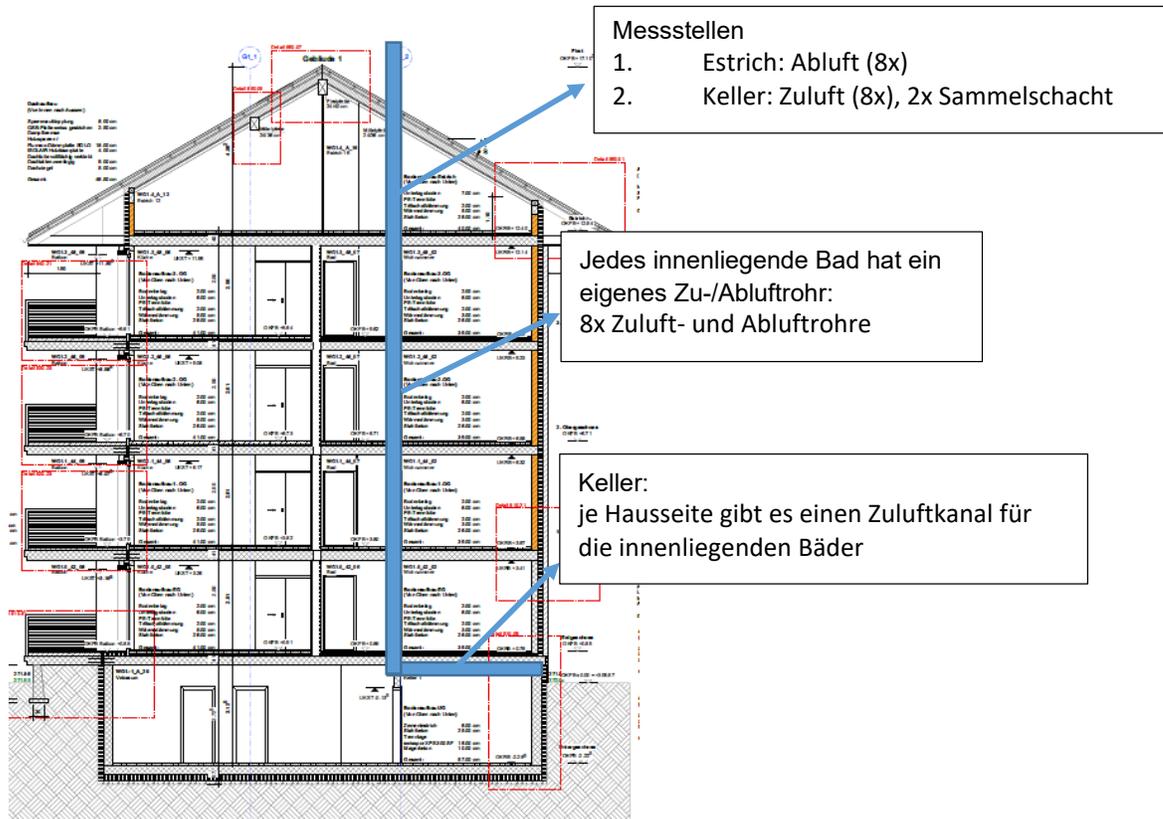


Bild 29 Schematische Darstellung der Schachtanordnung.

Tabelle 3 Anzahl Messstellen in den Lüftungsrohren/-kanälen.

Position	Volumenstrom	Strömungsrichtung	Temperatur	Rel. Feuchte
Zuluft- / Abluftrohr je Bad	8/8	8/8	8/8	8/8
Zuluftkanal	2	-	2	2
Total	18	16	18	18

Weitere Messstellen:

- Jedes Bad wird mit einem Datenlogger versehen, der Temperatur und rel. Feuchte misst
- Alle Fenster und Türen werden mit einem Kontakt versehen, der den Zustand offen/geschlossen angibt (HOBO UX90-001 Status Datenlogger, [www.bakronazuerich.ch](http://www.bakronazuerich.ch)).



Tabelle 4 Techn. Daten der eingesetzten Messsensoren (MW: Messwert, MB; Messbereich).

Messgrösse	Sensor	Bereich	Messgenauigkeit
Temperatur Luftkanal <a href="http://www.sauter.controls.com">www.sauter.controls.com</a>	EGH112	-20...+80 °C	± 0.5°C (typ bei 25°C)
Rel. Feuchte Luftkanal <a href="http://www.sauter.controls.com">www.sauter.controls.com</a>	EGH112	0...100 % rF	± 2 % (10...90 % rF)
Strömungsgeschwindigkeit Luftkanal <a href="http://www.schmidtechnology.ch">www.schmidtechnology.ch</a>	SS20.250	0...5 m/s	± (5% vMW+0.4 %vMB) min 0.02 m/s
Strömungsrichtung Luftkanal <a href="http://www.schmidtechnology.ch">www.schmidtechnology.ch</a>	SS20.420	-1...1 m/s	± (5%vMW+1%vMB) min 0.05 m/s
Temperatur Badezimmer <a href="http://www.bakronazuerich.ch">www.bakronazuerich.ch</a>	UX100-003	-20...70 °C	± 0.21°C im Bereich 0 bis 50°C
Rel. Feuchte Badezimmer <a href="http://www.bakronazuerich.ch">www.bakronazuerich.ch</a>	UX100-003	15...95 % rF	± 3.5 % im Bereich 25 bis 85 % rF, sonst ± 5%



## 11.2 Klimadaten

Tabelle 5 Übersicht der Klimadaten Basel-Binningen erstellt aus Daten von Meteoschweiz (10 min, 01.03.2022 - 06.01.2023). Summe der Globalstrahlung: 1'298 kWh/m<sup>2</sup>.

März 22 - Jan 23	Diffus W/m <sup>2</sup>	Glob. hor W/m <sup>2</sup>	Temp °C	rel. F. %	Windgeschw. m/s	Windricht. °
Mittelwert	67	173	14.1	70.5	6.4	183
stabw	94	264	7.8	20.2	4.1	95
Median	11	9	14.3	74.3	5.4	185
min	0	0	-9.1	14.7	0.0	0
max	619	1128	36.7	100	53.3	360

Monatsmittelwerte	2022											23
	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
Temp., °C	7.9	10.4	17.0	20.6	22.3	21.9	15.2	15.0	8.3	3.5	9.0	
rel. F, %	57	65	66	66	56	63	77	83	84	85	83	
Glob. hor., W/m2	166	198	252	264	306	239	149	101	52	32	33	
Windrichtung, °	172	201	199	185	216	175	182	151	163	195	161	
Windgeschw., m/s	6.6	7.6	5.7	6.0	6.1	5.4	5.7	6.0	7.0	7.4	6.8	
max. Windgeschw., m/s	23.8	53.3	26.3	33.1	46.4	33.1	30.2	45.7	27.0	33.1	22.0	

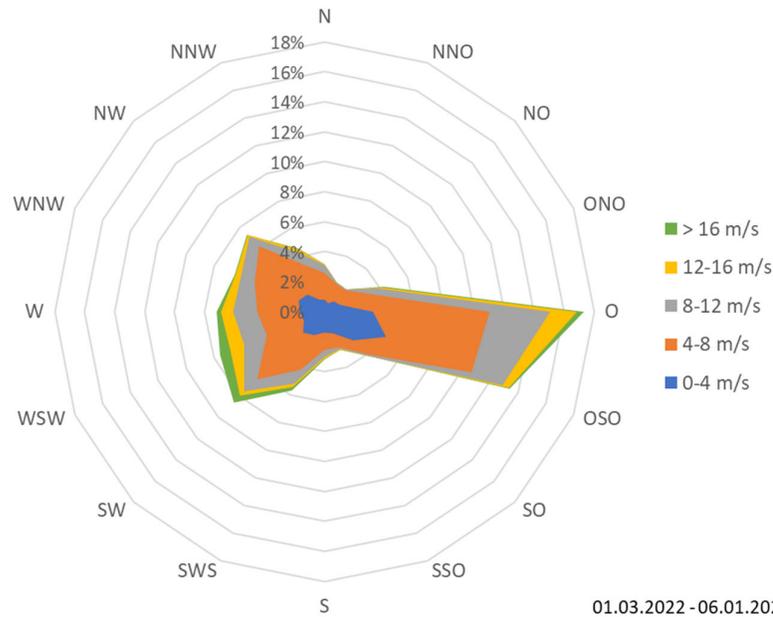


Bild 30 Windrose Basel-Binningen erstellt aus Daten von Meteoschweiz (10 min, 01.03.2022 - 06.01.2023).

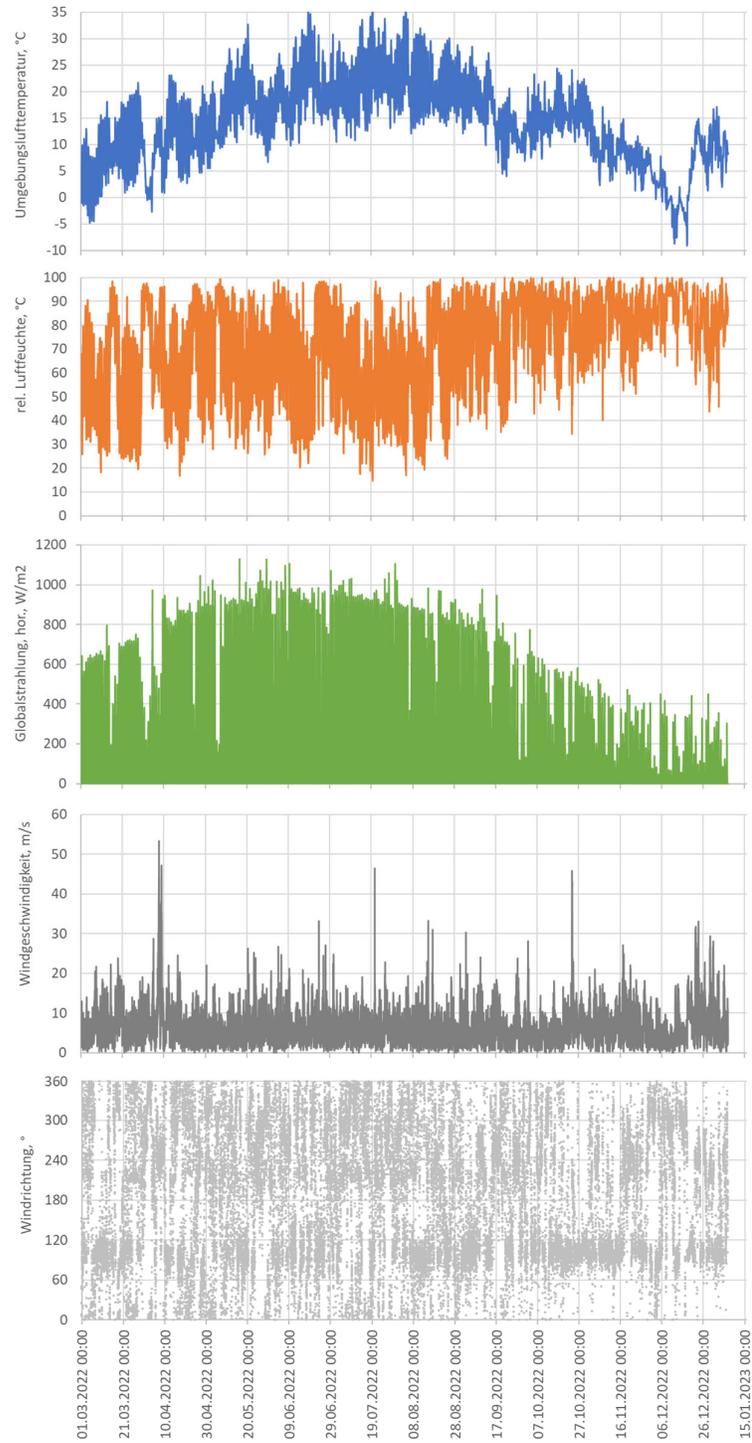


Bild 31 Klimadaten Basel-Binningen erstellt aus Daten von Meteoschweiz (10 min, 01.03.2022 - 06.01.2023).



## 11.3 Resultate – Detailbetrachtungen der Ostbäder

### 11.3.1 Rel. Luftfeuchtigkeit über Aussenlufttemperatur

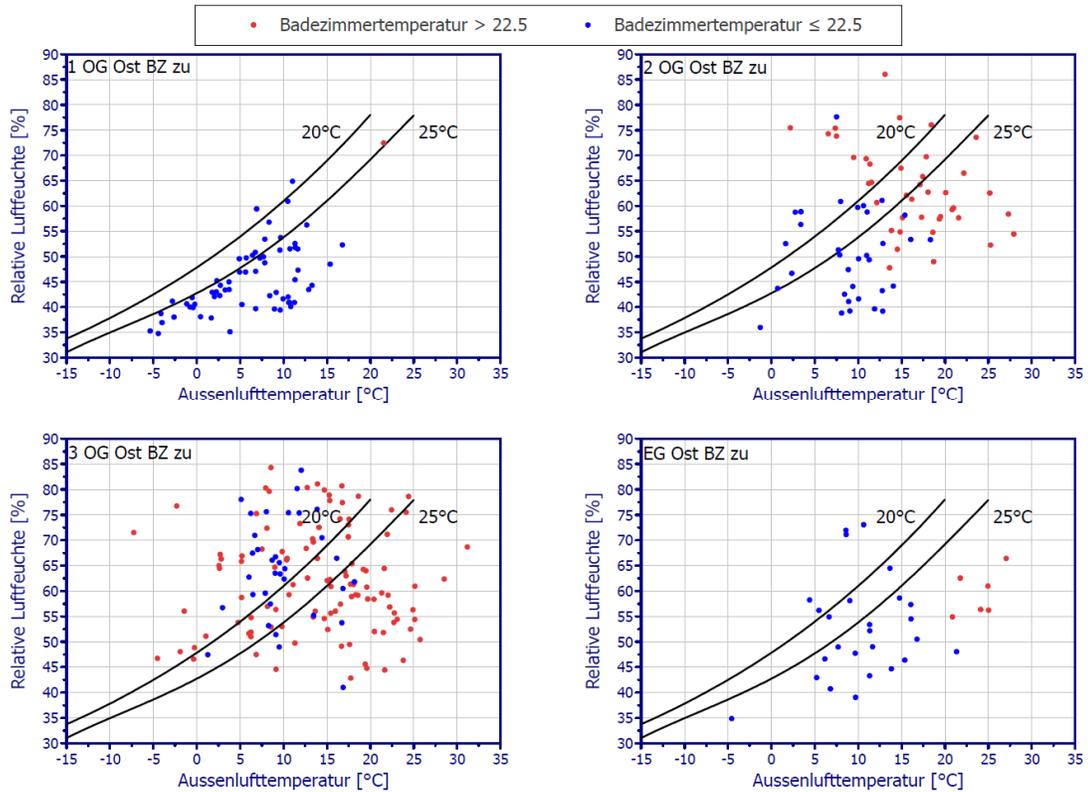


Bild 32 Fall «Badtüre zu»: maximal zulässige Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchte aller Ostbäder in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur für Raumlufttemperaturen von 20 ° und 25 °C gemäss SIA 180. Anmerkung: Die hier gezeigten Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchtigkeit beziehen sich nur auf die kurzen Zeiten, in denen pro Tag die Badtüre geschlossen ist. Periode 08.03.2022 – 06.01.2023.

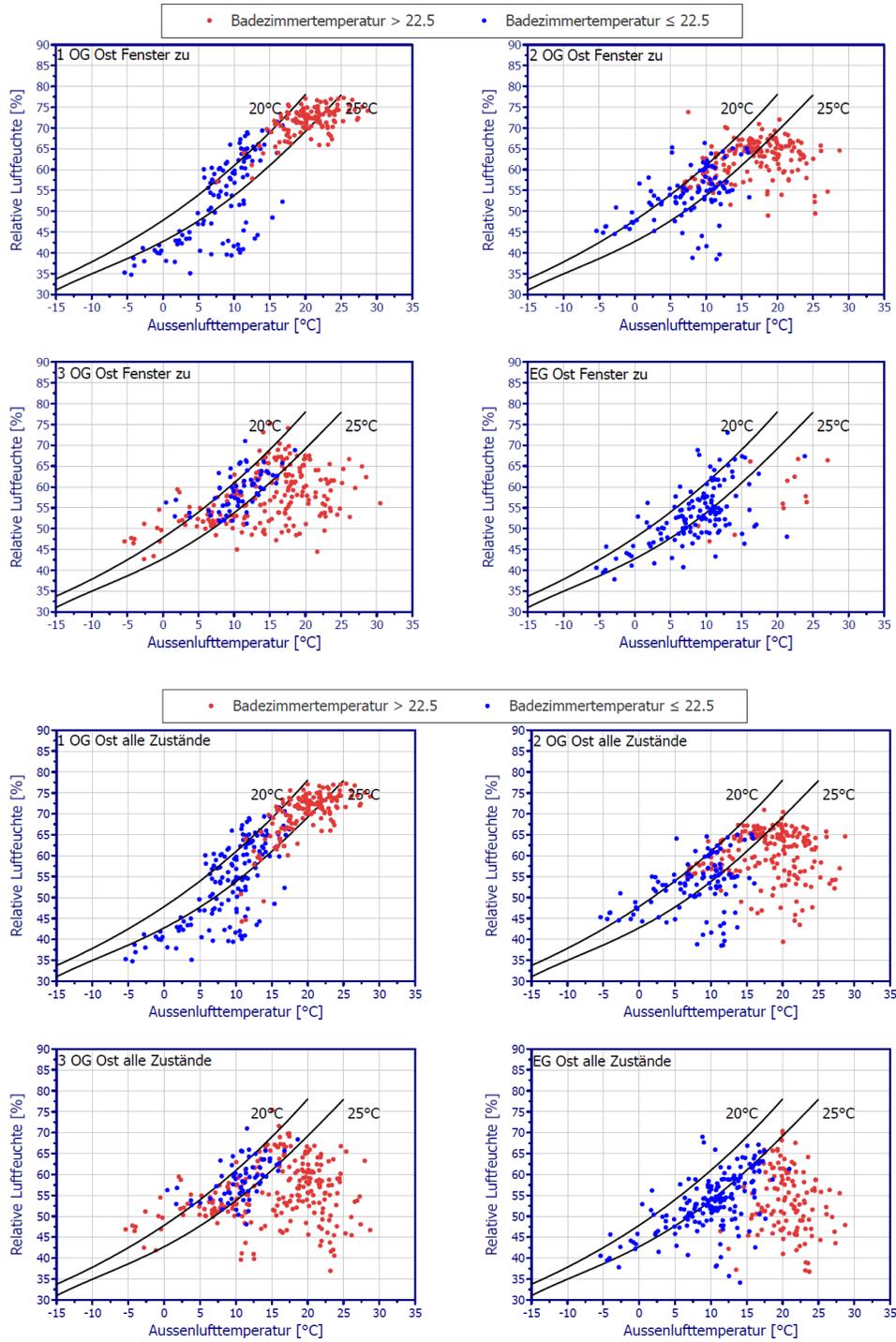


Bild 33 Maximal zulässige Tagesmittelwerte der rel. Luftfeuchtigkeit aller Ostbäder in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur für Raumlufttemperaturen von 20 ° und 25 °C gemäss SIA 180 (oben: «Fenster zu», unten: «alle Zustände»). Periode 08.03.2022 - 06.01.2023.



### 11.3.2 Abluftvolumenstrom über Temperaturdifferenz Bad/Aussen

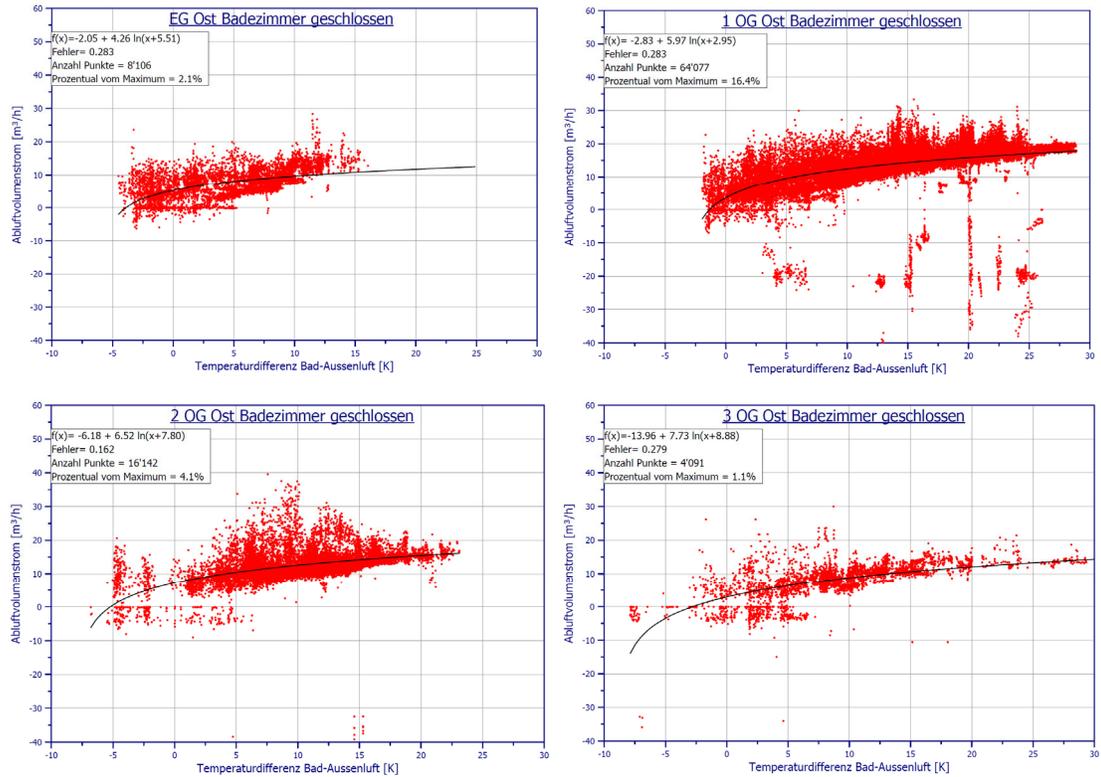


Bild 34 Fall «Badtüre zu»: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Ostbäder (Anhaltswert:  $10 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0.8 \text{ h}^{-1}$ ). Periode 08.03.2022 – 06.01.2023. Die Anzahl der dargestellten Messpunkte und deren prozentualer Anteil an den Gesamtmesspunkten ist angegeben.

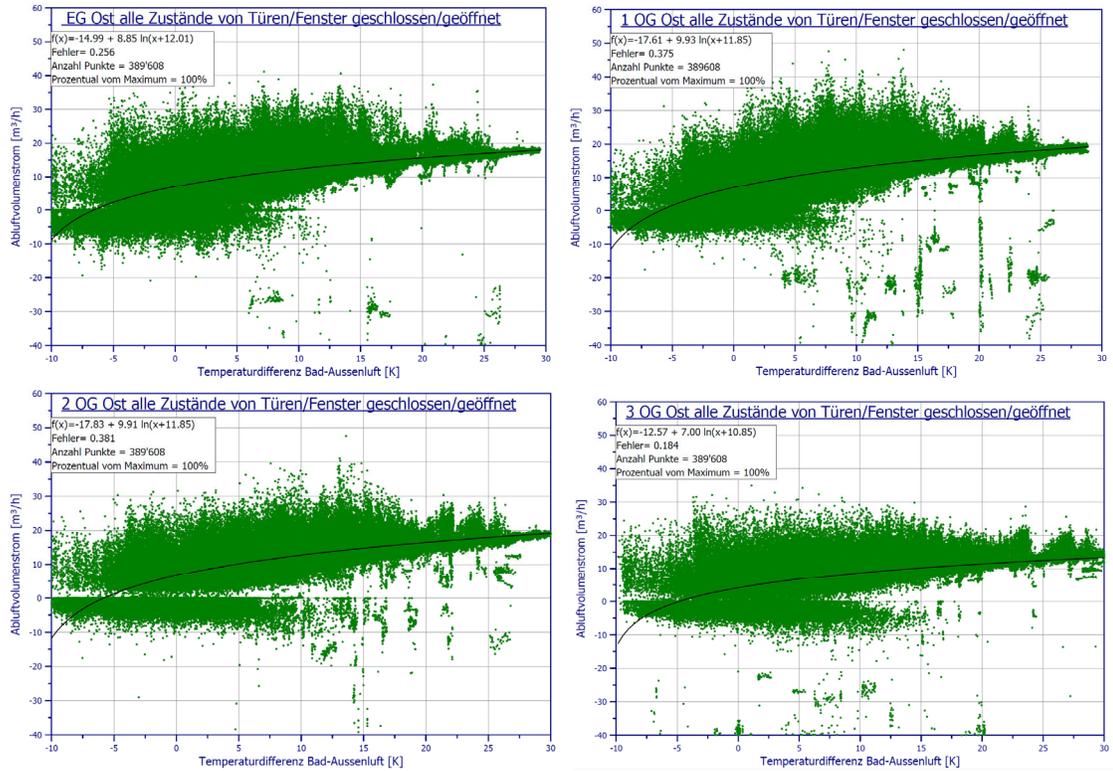


Bild 35 Fall «alle Zustände»: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Ostbäder (Anhaltswert:  $10 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0.8 \text{ h}^{-1}$ ). Periode 08.03.2022 – 06.01.2023. Die Anzahl der dargestellten Messpunkte und deren prozentualer Anteil an den Gesamtmesspunkten ist angegeben.

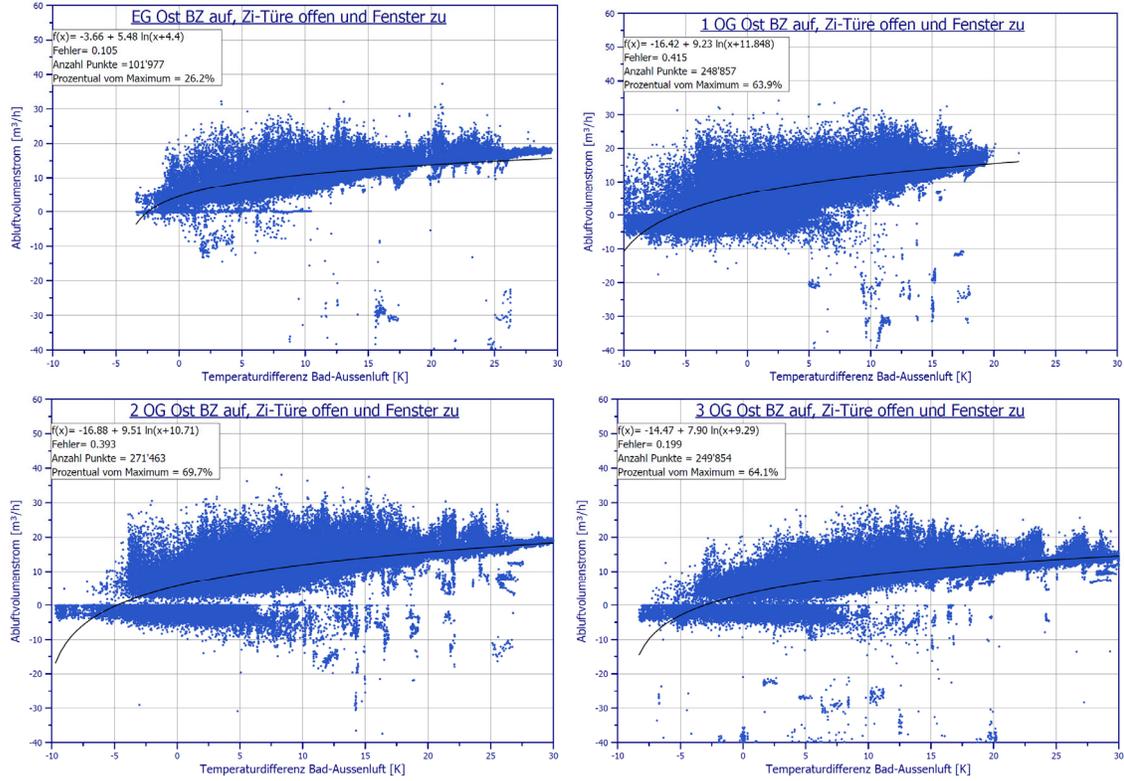


Bild 36 Fall «Fenster zu»: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad/Aussenluft für alle Ostbäder (Anhaltswert: 10 m³/h -> 0.8 h<sup>-1</sup>). Periode 08.03.2022 – 06.01.2023. Die Anzahl der dargestellten Messpunkte und deren prozentualer Anteil an den Gesamtmesspunkten ist angegeben.



### 11.3.3 Luftwechsel über Temperaturdifferenz Bad/Aussenluft

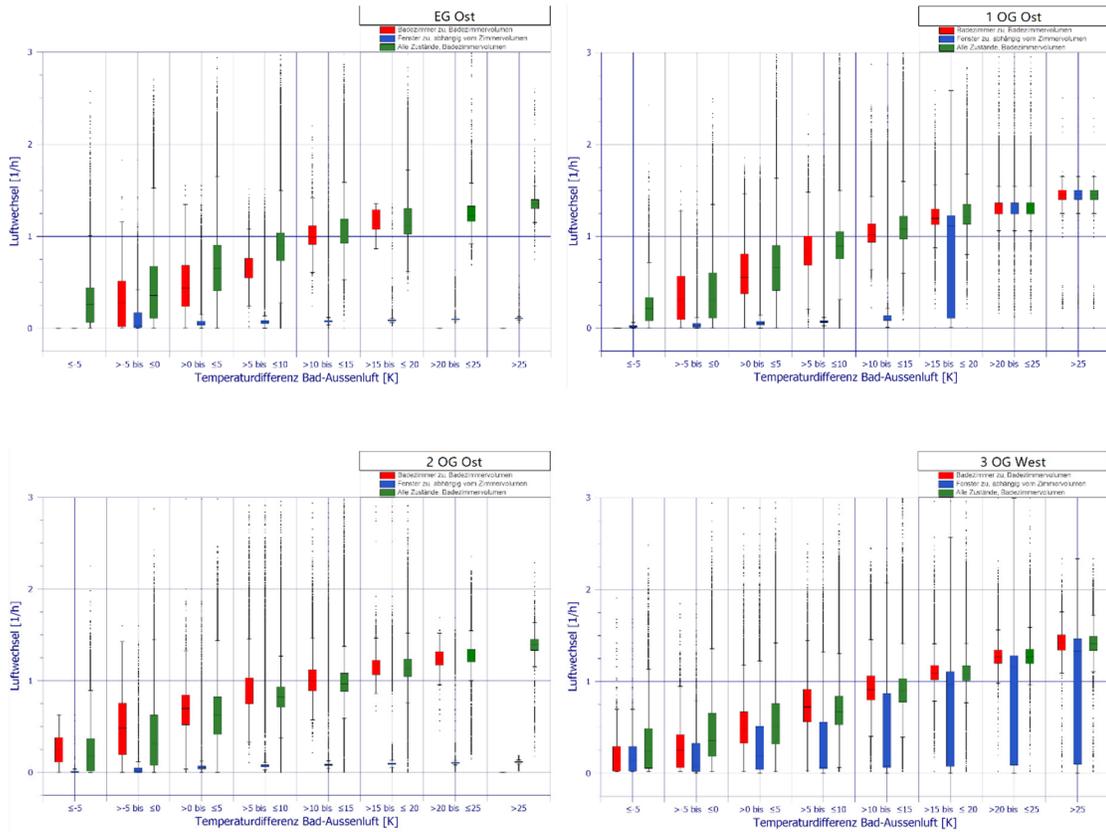


Bild 37 Boxplots der Luftwechselrate in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Bad-/Aussenluft für alle Ostbäder. Periode 08.03.2022 – 06.01.2023.

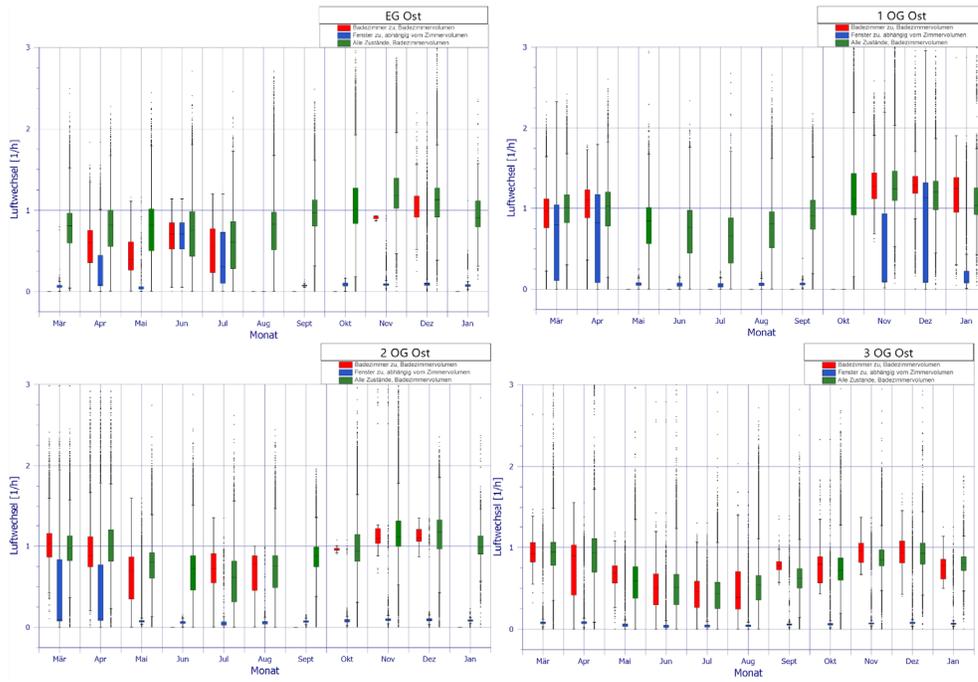


Bild 38 Boxplots der monatliche Luftwechselrate für alle Ostbäder. Periode 08.03.2022 – 06.01.2023.