

Einfach Lüften

Heinrich Huber
Hochschule Luzern, IGE
Horw, Schweiz



Einfach Lüften

1. Einleitung

Bei der Wahl des Wohnungslüftungskonzepts wird heute oft zwischen einer Minimallösung mit manueller Fensterlüftung plus Abluftventilatoren in Bad/Dusche/WC und einem Vollsystem mit mechanischer Be- und Entlüftung aller Räume entschieden. Die Minimallösung ist zwar kostengünstig, aber die Raumluftqualität und der Feuchteschutz hängen massgebend vom Nutzungsverhalten ab. Zudem ist keine Wärmerückgewinnung (WRG) möglich. Demgegenüber sind Vollsysteme, insbesondere diejenigen mit WRG, aufwendig und lassen sich in bestehenden Gebäuden wegen den Zuluftleitungen teilweise nur schwer bis kaum umsetzen. Dezentrale Lösungen wie Einzelraum-Lüftungsgeräte und Abluftanlagen mit Außenbauteil-Luftdurchlässen (ALD) lassen sich einfacher installieren. Die Wartung (z. B. Filterwechsel) ist aber anspruchsvoll und wird in der Praxis teilweise unvollständig wahrgenommen, was zusammen mit den Systemeigenschaften, wie hohe Empfindlichkeit des Luftstroms, zu erheblichen Disbalancen mit entsprechender Schwächung der Energieeffizienz und zu tiefen Luftvolumenströmen führt. In zwei Praxisuntersuchungen der HLSU wurde dies für über 30 Wohnungen dokumentiert [1] [2].

Für Modernisierung und Neubau sind kostengünstige Lösungen gesucht, die den Feuchteschutz gewährleisten, eine WRG ermöglichen und zudem einen geringen Wartungsaufwand erfordern. Das Konzept der Verbundlüftung bietet eine gute Chance dazu.

2. Verbundlüftung mit aktiver Verteilung

Systeme mit aktiven Verbundlüftern (auch aktive Überströmer genannt) sind auf dem Markt eingeführt und seit 2021 auch in der schweizerischen Wohnungslüftungsnorm SIA 382/5 [3] geregelt. Als Zuluftbereich dient der offene Raum der Wohnung, an den die Zimmer angrenzen. Er umfasst in der Regel den Korridor und den Wohnbereich. Hier wird der gesamte Zuluftvolumenstrom der Wohnung zugeführt. Dies kann über einen einzigen Zuluftdurchlass geschehen. In den Ablufträumen Bad, Dusche und WC wird die Abluft abgeführt. Im Verbundbereich liegen die Zimmer. Stehen die Türen offen, sorgt die natürliche Luftbewegung hier für eine ausreichende Umwälzung. Bei geschlossenen Türen gewährleisten die aktiven Verbundlüfter für den Luftaustausch zwischen dem Zuluftbereich und den Räumen im Verbundbereich.

Im Zuluftbereich stellt sich die gleiche Luftqualität ein, wie wenn die gesamte Wohnung ein einziger grosser Raum mit idealer Mischung wäre. Um die geforderte Raumluftqualität zu gewährleisten, muss der Luftvolumenstrom eines Verbundlüfters deshalb grösser sein als der Zuluftvolumenstrom eines Zimmers mit eigener Zuluft.

Zur Dimensionierung des minimalen Zuluftvolumenstroms für die gesamte Wohnung und für die Verbundlüfter kann Abbildung 1 verwendet werden. Das Diagramm basiert auf einer maximalen CO₂-Konzentration der Raumluft von 1400 ppm und der Außenluft von 400 ppm. Die Auslegung erfolgt anhand der geplanten Personenbelegung der Wohnung. Bei drei bis fünf Personen wird davon ausgegangen, dass die Zimmer als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt werden können. Bei einer Wohnungsbelegung mit zwei Personen wird vorausgesetzt, dass in einem Zimmer nur eine Person schläft. Alternativ können beide Personen das gleiche Schlafzimmer nutzen, aber dann müssen sie nachts die Schlafzimmertür offenlassen. Der maßgebende Zuluft- und Abluftvolumenstrom einer Wohnung kann erst nach dem Festlegen des Lüftungssystems bestimmt werden. Der minimal erforderliche Abluftvolumenstrom kann allenfalls grösser sein als der mit Abbildung 1 bestimmte minimale Zuluftvolumenstrom. Der höhere der beiden Werte ist entscheidend für die Auslegung der Lüftungsanlage.

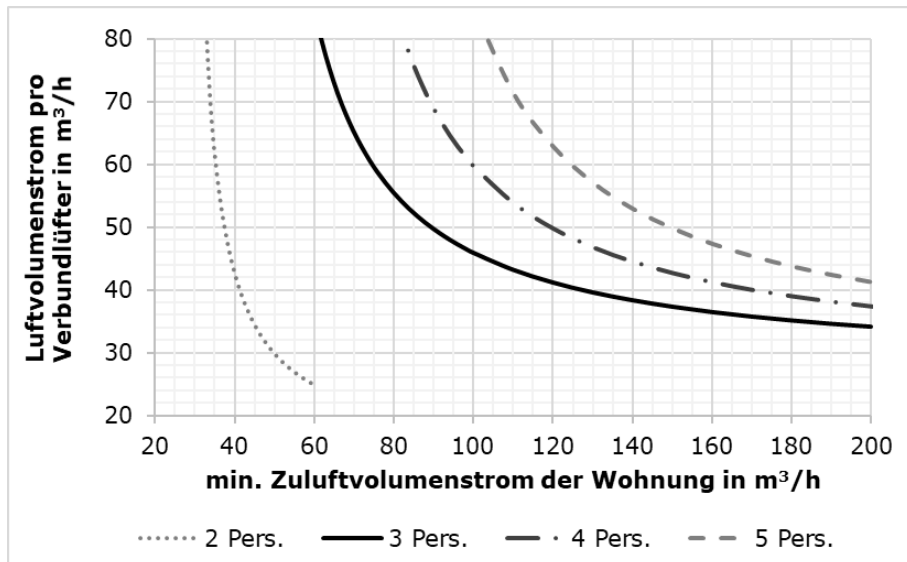


Abbildung 1: Dimensionierung des minimalen Zuluftvolumenstroms von Wohnungen und des Luftvolumenstroms von Verbundlüftern für maximal 1400 ppm CO₂-Konzentration.

Abbildung 2: zeigt ein Beispiel einer 4-Zimmer-Wohnung, die für eine Dauerbelegung mit 3 Personen ausgelegt ist. Die Luftvolumenströme entsprechen den Vorgaben der SIA 382/5. Dargestellt ist der Nachtfall mit einer angenommenen Belegung der Schlafzimmer und dem sich daraus ergebenden CO₂-Gehalt der Raumluft. Im Vergleich mit Abbildung 1 fällt auf, dass die Norm konservative Auslegungswerte vorgibt. Hinweise für die Auslegung und Auswahl von Verbundlüftern finden sich auch im Fachbuch Wohnungslüftung [4], Kapitel 3.4.

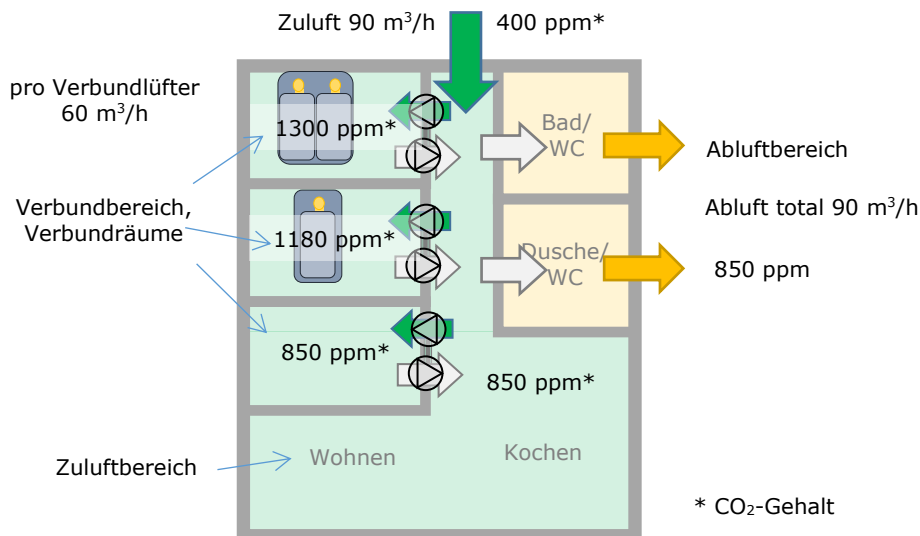


Abbildung 2: Luftverteilung mit aktiven Verbundlüftern am Beispiel einer 4-Zimmer-Wohnung mit Auslegung nach SIA 382/5 (Schematischer Grundriss)

3. Verbundlüftung mit passiver Verteilung

3.1. Allgemeine Hinweise

Bei der Verbundlüftung mit passiver Verteilung werden anstelle von aktiven Verbundlüftern (mit Ventilatoren) passive Verbundlüfter (ohne Ventilatoren) für den Luftaustausch zwischen dem Zuluft- und dem Verbundbereich eingesetzt. Dieses Konzept ist im Minergie-Standard seit 2020 für Erneuerungen zulässig [5]. Zudem finden sich in der Minergie-Broschüre «Gute Raumluft» [6], der Minergie-Anwendungshilfe [7] und in dem Fachbuch Wohnungslüftung, Kapitel 3.5 Hinweise und Anforderungen. Das Prinzip mit freier Verteilung ist nicht in Normen geregelt. Seine Anwendung und Auslegung muss deshalb ausdrücklich in einer Nutzungsvereinbarung festgehalten werden.

Die Antriebskraft für die Luftumwälzung stammt aus der Temperaturdifferenz zwischen den Räumen. In Wohnungen liegen diese Temperaturdifferenzen über das ganze Jahr typischerweise im Bereich von etwa 0,5 K. Damit ein wirksamer Luftaustausch stattfindet, muss die freie Fläche für den Luftaustausch relativ gross sein. Daraus ergibt sich auch der schwerwiegendste Nachteil dieser Lösung: Der Schallschutz, zwischen dem Zuluft- und dem Verbundbereich ist, mindestens dann geschwächt, wenn die Verbundelemente geöffnet sind. Je nach Bauart ist zusätzlich auch der Lichtschutz zwischen den Räumen beeinträchtigt. Die freie Luftverteilung in der Wohnung ist kostengünstig und weitgehend wartungsfrei, aber sie bringt Komforteinbussen mit sich.

3.2. Passive Verbundlüfter

Im Projekt «Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte» [8] wurden verschiedene Varianten von passiven Verbundlüftern untersucht. Das Projekt wurde von EnergieSchweiz und von der Stadt Zürich gefördert und von der Geschäftsstelle Minergie fachlich begleitet. Die Wirksamkeit und Grenzen der Luftführungskonzepte wurden mittels Simulationen untersucht. Um die Simulationen zu validieren sowie um weitere Einflussfaktoren zu ermitteln wurden Messungen in der Musterwohnung ROSEG im Labor der TH Rosenheim durchgeführt. Parallel dazu fanden Messungen in zwei real belegten Wohnungen in einer Wohnüberbauung mit einem diesem Lüftungskonzept statt.



Zimmertür

Zimmertüren als passive Verbundlüfter sind nicht nur kostenlos und wartungsfrei, sie führen auch zu Wohnungslüftungssystemen mit tiefen Luftvolumenströmen. Allerdings muss neben dem reduzierten Schallschutz auch der stark reduzierte Lichtschutz in Kauf genommen werden. Die Bewohnerinnen und Bewohner müssen sich zwischen dem Luftaustausch und dem Schall- und Lichtschutz entscheiden. So weist ein Gerichtsurteil in Deutschland darauf hin, dass speziell bei Schlafzimmern offene Türen nachts kein übliches und von einem durchschnittlichen Mieter zu erwartendes Lüftungsverhalten sind [9]. Eine Verbundlüftung über offene Zimmertüren muss daher ausdrücklich vereinbart werden.

Speziell bei bestehenden Gebäuden ist zu beachten, dass die Zimmertür in einer fixen Position stehen bleibt. Das kann ev. mit einem einfachen Rastermechanismus gelöst werden.

Abbildung 3: Zimmertür ca. 6 cm geöffnet

In der Musterwohnung ROSEG der TH Rosenheim wurde der Verlauf des CO₂-Gehalts bei verschiedenen Öffnungen der Zimmertür gemessen. Abbildung 4 zeigt den Verlauf mit einer CO₂- und Wärmequelle, die einer schlafenden erwachsenen Person entspricht. Aus den Resultaten kann geschlossen werden, dass für eine Person eine Öffnung von 5 bis 7 cm ausreichend ist und für zwei Personen 10 bis 15 cm.

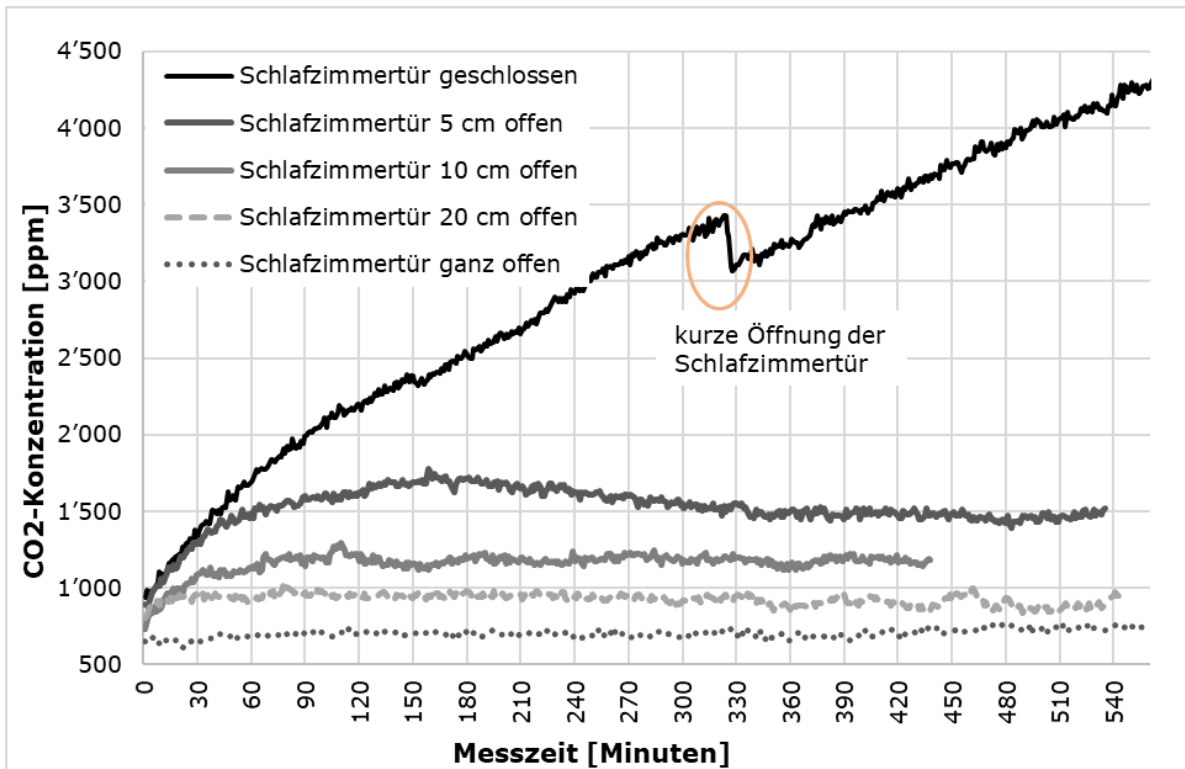


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der CO₂-Konzentration im Schlafzimmer mit 1 Person, Vergleich verschiedener Türöffnungsweiten [8]

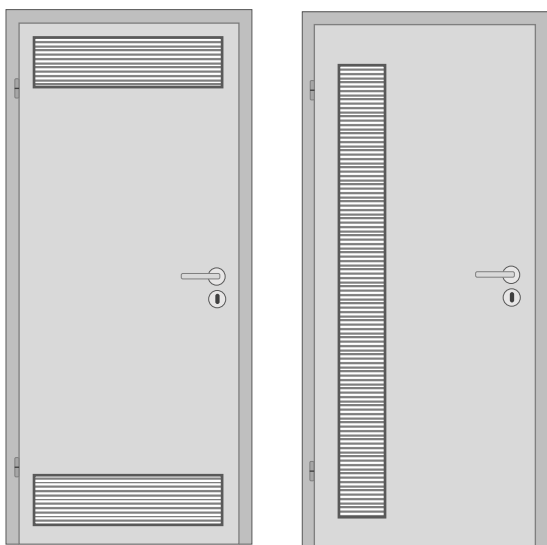


Abbildung 5: Passive Verbundlüfter mit horizontalen und vertikalen Luftgittern in Zimmertüren

Öffnung im Türblatt

Bei dieser Variante wurde in der Zimmertür im oberen und unteren Bereich jeweils ein Gitter mit Aussenabmessungen von 0,77 m Breite und 0,20 m Höhe eingesetzt. Der freie Querschnitt lag bei 43 % der Ansichtsfläche, resp. 0,13 m² pro Gitter. Die linke Figur in Abbildung 5 illustriert die Gitteranordnung.

Mit dieser Lösung konnte die Anforderung nach einem maximalen CO₂-Gehalt von 1400 ppm bei einer Belegung mit einer Person eingehalten werden. Aus weiteren Messungen lässt sich schließen, dass auch ein vertikales Gitter (rechte Figur) mit einem ca. 10 % größeren Querschnitt zur gleichen Raumluftqualität führt. Ein vertikales Gitter ließe sich auch neben einer Zimmertür platzieren. Die Grafik veranschaulicht, dass die erforderliche Gittergröße ästhetisch schwierig ist. Der Lichtschutz ist besser als bei einer leicht geöffneten Zimmertür. Der Schallschutz ist aber weiterhin ungelöst. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis dieser Variante ist daher fraglich.

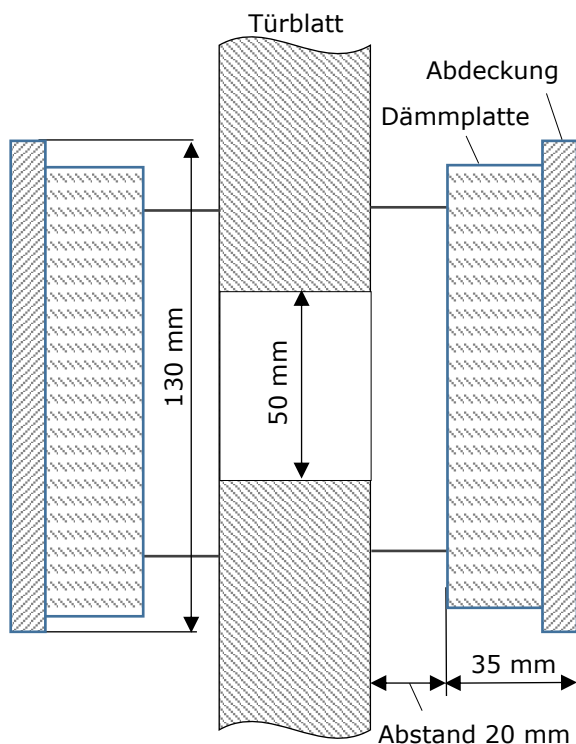


Abbildung 6: Querschnitt des untersuchten Überströmdurchlasses

Überström-Luftdurchlass

Auf dem Markt finden sich Überström-Luftdurchlässe (ÜSDL) für den unidirektionalen Lufttransfer von einem Raum in einen anderen. Diese bieten einen guten Schall- und Lichtschutz, sie sind aber für einen Differenzdruck zwischen den Räumen von ca. 3 bis 10 Pa ausgelegt. Um zu testen, wie sich solche Elemente bei einer passiven Verbundlüftung verhalten, wurden zwei großzügig ausgelegte ÜSDL mit einer Breite von 0,77 m im oberen und unteren Bereich einer Tür eingebaut, d.h. so wie die horizontalen Gitter in Abbildung 5. Gemäß Herstellerangabe beträgt die bewertete Normschallpegeldifferenz eines Elements $D_{n,e,w} = 40$ dB.

Die Konstruktion des ÜSDL ist in Abbildung 6 dargestellt. Anhand der gesamten Bautiefe von rund 0,14 m lässt sich schließen, dass diese Elemente eher für einen Wand- als für einen Türeinbau geeignet sind. Das obere Element lässt sich anstatt in der Tür auch oberhalb der Tür einbauen. Für das untere Element ist ein alternativer Einbauort schwierig. Möglich wäre aber ein vertikales Element, das in einem verbreiterten Türrahmen oder neben der Tür eingebaut werden könnte.

Die Messungen haben gezeigt, dass der Luftaustausch mit diesen ÜSDL weniger stabil ist als mit einer Türöffnung oder Gittern in der Tür. Der CO_2 -Gehalt lag bei einer Schlafzimmersbelegung mit einer Person im Mittel bei rund 2000 ppm, was bedeutet, dass der angestrebte Luftaustausch bei den Versuchen nicht erreicht wurde. Es ist aber denkbar, dass sich solche Elemente für den Einsatz als passive Überströmer optimieren ließen und damit eine CO_2 -Konzentration von 1400 ppm erreichbar wäre. Jedoch werden der Aufwand und die Kosten als hoch erachtet.

Messungen in Wohnungen

In einer Wohnsiedlung der Stadt Zürich, die mit einer passiven Verbundlüftung ausgestattet ist, wurden in einer $3\frac{1}{2}$ -Zimmer- und einer $4\frac{1}{2}$ -Zimmer-Wohnung während jeweils gut zwei Wochen Messungen durchgeführt. Als passive Verbundlüfter dienen die Zimmertüren.

In beiden Wohnungen standen tagsüber die Zimmertüren mehrheitlich offen. Dadurch lag CO_2 -Gehalt in den Zimmern während 75 bis 95 % der Tagstunden (06:00 bis 22:00) unter 1400 ppm.

In der $3\frac{1}{2}$ -Zimmer-Wohnung lag im Zimmer 1, das von einer Person genutzt wird, in der Nacht (22:00 bis 06:00) der CO_2 -Gehalt nie über 2000 ppm und nur während 12 % der Zeit oberhalb 1400 ppm. In Zimmer 2 dagegen, das von zwei Personen als Schlafzimmer genutzt wird, lagen die Werte in der Nacht während 18 % der Zeit über 2000 ppm und während 37% der Zeit oberhalb von 1400 ppm.

In der $4\frac{1}{2}$ -Zimmer-Wohnung wurden zwei Zimmer als Schlafzimmer für zwei Personen genutzt und ein Zimmer war nachts nicht belegt. In beiden belegten Schlafzimmern lag der CO_2 -Gehalt in der Nacht während rund 70 % der Zeit über 2000 ppm und während rund 85 % der Zeit oberhalb von 1400 ppm. Bei geschlossener Zimmertür wurde ein CO_2 -Gehalt von bis zu 5000 ppm gemessen.

In der 3½-Zimmer-Wohnung haben die Bewohnerinnen und Bewohner die Verbundlüftung am Tag und in der Nacht genutzt und die Schlafzimmertüren mehrheitlich offenstehen lassen. In der 4½-Zimmer-Wohnung haben sie sich die Bewohnerinnen und Bewohner nachts für mehrheitlich geschlossene Schlafzimmertüren entschieden.

Die Messungen sind exemplarisch, aber sie zeigen doch, dass bei der passiven Verbundlüftung die Raumluftqualität in den Schlafzimmern massgebend vom Verhalten und den Anforderungen der Nutzenden abhängt.

Bei einem Vergleich von zwei Wohnungen mit aktiver Verbundlüftung [10] hatten sich auch Unterschiede in der Raumluftqualität gezeigt, die durch das Verhalten den Nutzenden begründet sind. Jedoch waren die Unterschiede im CO₂-Gehalt der Raumluft geringer.

3.3. Folgerungen für die Verbundlüftung

Bei offenen Zimmertüren mischt sich die Raumluft in einer Wohnung gut, sodass in allen Zimmern eine ausgeglichene CO₂-Konzentration resultiert.

Für die aktive Verbundlüftung sind auf dem Markt verschiedene Produkte erhältlich. Bei der passiven Verbundlüftung ist heute die Zimmertür das einzige zuverlässig funktionierende Element. Jedoch hängt die Funktion der passiven Verbundlüftung von der Bereitschaft ab, nachts die Schlafzimmertür teilweise offen zu halten. Immerhin führt bereits eine Türöffnung von 5 bis 15 cm zu einem ausreichenden Luftaustausch. Dabei wird empfohlen pro Person, die in der Wohnung schläft, einen minimalen Zuluftvolumenstrom von 25 m³/h zuzuführen.

Auch in Fällen, bei denen durch das Verhalten der Nutzenden die angestrebte Raumluftqualität in den Schlafzimmern nicht erreicht wird, führt die Verbundlüftung Feuchte und Gerüche aus Bad/WC zuverlässig ab. Bisher sind aus Wohnungen mit Verbundlüftung keine Feuchteprobleme bekannt.

4. Alternative Lüftungsmaterialien

Ein Hemmnis für zentrale Wohnraumlüftungen mit Zu- und Abluft, sowie Wärmerückgewinnung ist insbesondere im Holzbau die Zuluftverteilung, resp. das Material der Zuluftleitungen. In einer von der Stadt Zürich finanzierten Recherche [11] wurden Materialien für die Luftverteilung evaluiert und beurteilt. Neben verzinktem Blech und Kunststoff gibt es heute Nischenprodukte in Karton, Dämmmaterialien, Holzwerkstoffen und Textilien. Interessant, wenn auch noch weit entfernt von einer Anwendung, könnten Pilze (thermisch behandeltes Myzel) sein.

Bei einer Holzbauweise mit einem hohen Vorfertigungsgrad stellt sich die Frage, wie weit Holzwerkstoffe eingesetzt werden können. In einer laufenden Bachelorthesis an der HSLU [12] mit der Fa. Strüby Holzbau AG werden Luftleitungen aus Konstruktionsholz untersucht. Dies ist vor allem dann interessant, wenn die Zu- und Abluftkanäle bei der Vorfertigung direkt in die Deckenelemente eingelassen werden können. Aber auch Aussen- und Fortluftleitungen in einer Holzkonstruktion wären für Holzbaufirmen einfacher realisierbar als klassische Blechkanäle oder Kunststoffleitungen. Offene Fragen sind dabei beispielsweise das Verhalten bei feuchter Abluft aus Duschen/Bädern und die Verschmutzung resp. Reinigbarkeit. In der Bachelorthesis wird dies experimentell an einem Laboraufbau (s. Abbildung 7) einer bidirektionalen Lüftungsanlage untersucht.



Abbildung 7: Vorbereitung Laboraufbau für die Untersuchung von Luftkanälen aus Holz [11]

5. Diskussion und Folgerungen

Bei der Suche nach der «einfachen Lüftung» muss immer auch die Frage nach den Anforderungen an den Komfort und die Robustheit gestellt werden, resp. welche Kompromisse eingegangen werden.

Bei den Kosten sind nicht nur die Investitionen zu berücksichtigen, sondern auch der Betrieb. Der Energieverbrauch ist dabei nur ein Aspekt. Mindestens die gleiche Bedeutung hat die Instandhaltung. Bei Einzelraum-Lüftungsgeräten und Abluftanlagen mit Aussenbauteil-Durchlässen (ALD) wird oft der Aufwand für eine qualifizierte Reinigung und den Filterersatz der dezentralen Elemente in den Schlafzimmern unterschätzt.

Die Verbundlüftung bietet die Vorteile einer Wärmerückgewinnung und einer zentralen Wartung (Filterwechsel). Zudem kann innerhalb der Wohnung auf eine Zuluftverteilung mit Kanälen verzichtet werden. Bei der aktiven Verbundlüftung hängt aber die Raumluftqualität deutlich und bei passiven Verbundlüftung sogar ausschlaggebend vom Verhalten der Bewohnerinnen und Bewohner ab.

Bei einer Holzbauweise mit hohem Vorfertigungsgrad könnten Luftkanäle aus Holzwerkstoffen die klassische Kaskadenlüftung wieder attraktiver machen. Jedoch sind noch Untersuchungen und Entwicklungen, sowie später noch eine Integration ins Regelwerk erforderlich.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michael: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw (Schweiz), 2018
 - [2] Hauri, Claudia; Huber, Heinrich; Primas, Alex: Komfortlüftung im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw (Schweiz), 2021
 - [3] SIA 382/5:2021 Mechanische Lüftung in Wohngebäuden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
 - [4] Huber, Heinrich: Wohnungslüftung – Planung, Ausführung, Betrieb. Faktor Verlag, Zürich, 2021. In elektronischer Form kostenlos erhältlich unter: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10697>
 - [5] Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®, Version 2021.1. Minergie Schweiz, Basel (Kapitel 11.2)
 - [6] Gute Raumlufte, Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus. Minergie Schweiz, Basel, 2019
 - [7] Anwendungshilfe zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®, Version 2021.1. Minergie Schweiz, Basel (Kapitel 11.1.2)
 - [8] Moser, Marie-Teres; Primas, Alex; Zakovorotnyi, Andrii: Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte. Hochschule Luzern, Horw (Schweiz), 2021
 - [9] Beike, Martin; Nadler, Norbert: Feuchteschutzlüftung - DIN SPEC 4108-8: Lüftungskonzepte mit Fensterlüftung erstellen. TGA - Fachplaner, Stuttgart, pp. 1–36, 2021.
 - [10] Schiantarelli, Michael: Aktive Überströmer bei Komfortlüftungen. Fachhochschule Nordwestschweiz, Studiengang Energie- und Umwelttechnik, Bachelorthesis 2015
 - [11] Settembrini, Gianrico, et al.: Alternative Materialien für Lüftungsanlagen. Hochschule Luzern, Horw, 2022
 - [12] Eysman, Petr: Lüftungsleitungen aus natürlichen Materialien – nicht metallischen Materialien. Hochschule Luzern, Studiengang Gebäudetechnik, Bachelorthesis 2022
- Die Publikationen von Minergie sind verfügbar unter www.minergie.ch