

Heinrich Huber

Wohnungslüftung

Planung | Ausführung | Betrieb



Inhalt

1. Grundlagen			
1.1 Die Aufgaben der Lüftung	5	6.6 Aussen- und Fortluftdurchlässe	72
1.2 Normen	5	6.7 Erdreich-Wärmeübertrager	74
1.3 Raumluftqualität und Schadstoffe	6	6.8 Reinigung und Hygiene	76
1.4 Aussenluftbelastung	6	6.9 Dokumentation	78
1.5 Raumluftfeuchte	7	7. Projektierung Abluftanlagen	79
1.6 Sommerlicher Wärmeschutz	8	7.1 Typen von Abluftanlagen	80
1.7 Steuerung/Regelung und Bedienung	11	7.2 Druckverhältnisse und Luftvolumenströme	80
1.8 Brandschutz	12	7.3 Auslegung Luftvolumenströme	82
2. Lüftungskonzept, Anforderungen	13	7.4 Steuerung/Regelung und Bedienung	86
2.1 Entwicklung des Lüftungskonzepts	15	7.5 Layout von Abluftanlagen	86
2.2 Belegung und Nutzung	15	7.6 Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD)	88
2.3 Empfundene Raumluftqualität	15	7.7 Praxis	92
2.4 Feuchteschutz und Raumluftfeuchte	16	8. Projektierung Einzelraumlüftung	95
2.5 Fenster	17	8.1 Luftvolumenströme und Raumluftfeuchte	96
2.6 Aufenthaltsbereich	19	8.2 Gerätetypen, Kenngrößen, Anforderungen	96
2.7 Instandhaltung	19	8.3 Anlagen für kontinuierlichen Betrieb	101
2.8 Druckverhältnisse	20	8.4 Anlagen mit Push-Pull-Lüftern	102
2.9 Äussere Einflüsse	20	8.5 Hinweise zur Kombination mit Abluftanlagen	104
2.10 Luftdichtheit der Hüllfläche	20	8.6 Praxis	106
2.11 Installationszonen und Brandschutz	21	9. Komponenten, Geräte, Energiebedarf	109
2.12 Nebenräume und untergeordnete Räume	21	9.1 Hygiene und Filtrierung	109
2.13 Energie, Ökologie und Baustandards	22	9.2 Luftförderung	110
3. Luftführung	22	9.3 Wärme- und Feuchterückgewinnung	111
3.1 Allgemeine Luftströmung in Wohnungen	23	9.4 Einfluss der Disbalance	114
3.2 Raumvolumen und Zeitprofil des Luftvolumenstroms	23	9.5 Vereisungsschutz und Deaktivierung der WRG	116
3.3 Prinzip Kaskade	24	9.6 Leckagen und Übertragungsraten	117
3.4 Prinzip Verbund mit aktiver Verteilung	26	9.7 Wärmedämmung der Luftverteilung	119
3.5 Prinzip Verbund mit freier Verteilung	27	9.8 Jahresenergiebedarf von Lüftungsanlagen	120
3.6 Prinzip Einzelraum	31	9.9 Eco-Design und Energieklassierung	126
3.7 Luftführung im Raum	33	9.10 Hinweise zu Multifunktionsgeräten	127
3.8 Überströmluftdurchlässe	33	10. Spezielle Nutzungen und Anlagen	129
3.9 Grenzen der Mischlüftung	34	10.1 Kochstellenlüftung	129
3.10 Minimale Abluftvolumenströme	38	10.2 Feuerstätten in Wohnungen	133
4. Lüftungssysteme	39	10.3 Konditionierung von Kellerräumen	133
4.1 Natürliche Lüftung	41	10.4 Luftheizung	135
4.2 Abluftanlage	41	10.5 Radonsanierungen	136
4.3 Einfache Lüftungsanlage (Komfortlüftung)	43	11. Schallschutz	139
4.4 Einzelraumlüftung, kombiniert mit Abluftanlagen	45	11.1 Begriffe, Anforderungen	139
4.5 Einzel- versus Mehrwohnungsanlagen	46	11.2 Nachweis nach SIA 181	140
4.6 Systemvergleich	48	11.3 Vergleich von Nachweismethoden	141
5. Hinweise zur Projektierung	50	11.4 Schallausbreitung in Räumen	143
5.1 Projektlauf	53	11.5 Hinweise zu Komponenten	144
5.2 Dimensionierung von Luftleitungen	53	11.6 Schallschutz gegen aussen	147
5.3 Leitungsarten und Materialien	56	11.7 Merkpunkte für einen guten Schallschutz	148
5.4 Einregulierung und Messung	56	12. Übergabe und Betrieb	149
5.5 Hygiene und Reinigung	58	12.1 Übergabe	149
6. Projektierung Komfortlüftung	58	12.2 Funktionsprüfung und -messungen	149
6.1 Massgebender Luftvolumenstrom	59	12.3 Hygiene-Erstinspektion	151
6.2 Steuerung/Regelung und Bedienung	60	12.4 Dokumentation und Instruktion	152
6.3 Luftverteilung in der Wohnung	62	12.5 Instandhaltung	152
6.4 Layout von Einzelwohnungsanlagen	62	13. Anhang	155
6.5 Layout von Mehrwohnungsanlagen	64		
	68		

Impressum

**Wohnungslüftung – Planung,
Ausführung, Betrieb**

Autor: Heinrich Huber

Redaktion und Seitenherstellung:
Faktor Journalisten AG, Zürich; René
Mosbacher, Christine Sidler

Titelbild: ayagiz via iStockphoto

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE / Energie-Schweiz und die Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

Bezug: Als Download (kostenfrei) unter www.energieschweiz.ch oder als Buch beim Faktor Verlag, info@faktor.ch oder www.faktor.ch

September 2021
ISBN: 978-3-905711-60-8

Wohnungen zuverlässig lüften

Als vor gut zehn Jahren die letzte Version des «Planungshandbuchs Komfortlüftung» erschien, hatte die automatische Lüftung von Wohnräumen fast noch etwas Pionierhaftes an sich. Wohnungslüftungen wurden damals am ehesten noch mit Minergie-Häusern und dem gehobenen Wohnbau in Verbindung gebracht. Inzwischen haben sich die Vorteile von automatisch belüfteten Gebäuden deutlich breiter herumgesprochen. Seither wurden auch viele Erfahrungen mit realisierten Anlagen gesammelt und es wurde viel geforscht zum Nutzen von Lüftungsanlagen. So zeigten verschiedene Studien, dass sich die heutigen, dichten Gebäude manuell kaum noch zuverlässig mit guter Luft versorgen lassen. Die Folgen davon sind mittlerweile auch Laien bekannt: Schimmelbildung, Energieverschwendungen und beeinträchtigtes Wohlbefinden gehören unter anderem dazu.

Aber auch auf der technischen Seite hat sich einiges getan: Zusätzlich zur klassischen Kaskadenlüftung sind Mischformen wie die Verbundlüftung hinzugekommen. Sie haben den Vorteil, dass sie mit deutlich weniger Luftkanälen auskommen und sich deshalb besser für Erneuerungen eignen. Schliesslich sind wir auch bei den Normen und Standards um einiges weitergekommen. Insbesondere wurde das Merkblatt SIA 2023 «Lüftung in Wohnbauten» durch die neue Norm SIA 382/5 «Mechanische Lüftung in Wohngebäuden» abgelöst.

Dies alles war Anlass genug, das «Planungshandbuch Komfortlüftung» gründlich zu überarbeiten, zu ergänzen und teilweise auch neu zu strukturieren. Was bleibt, ist das Grundkonzept: Das Buch soll Planenden die Grundlagen vermitteln und im Alltag als Arbeitsmittel dienen. Aber auch in seiner neusten Ausgabe ist es kein allgemeines Lehrmittel für Lüftungstechnik. Es behandelt gewollt nur Themen, die bei der Wohnungslüftung speziell zu beachten sind. Allgemeine Grundlagen, wie das Beherrschung von Druckverlustberechnungen, werden vorausgesetzt.

Grundlagen

1.1 Die Aufgaben der Lüftung

Die zentrale Aufgabe einer Wohnungslüftung ist es, Bewohnerinnen und Bewohner mit qualitativ guter Raumluft zu versorgen. Hinzu kommen aber noch weitere Anforderungen:

- Sie soll auch den minimalen Luftaustausch für den baulichen Feuchteschutz sicherstellen.
- Ihre Komponenten und Geräte dürfen den baulichen Schallschutz nicht schwächen.
- Ein erhöhter Luftaustausch, typischerweise mit einer Fensterlüftung, trägt zum sommerlichen Wärmeschutz bei.
- Sie spielt in der Energiebilanz von energieeffizienten Wohnbauten eine wichtige Rolle: Einerseits kann sie die Lüftungswär-

meverluste minimieren, andererseits benötigt sie aber auch elektrische Energie.

- Ökologische Aspekte wie graue Energie und Rückbaubarkeit gewinnen an Bedeutung. Der Ressourcenbedarf respektive die Umweltbelastung der Lüftungsanlage muss in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen stehen.
- Die lüftungstechnischen Einrichtungen müssen sowohl bei der Erstellung als auch im Betrieb ökonomisch tragbar sein, also einen adäquaten Nutzen zum finanziellen Aufwand bieten.

Was kann eine Wohnungslüftung nicht?

Die in diesem Buch behandelten Systeme erhöhen den Komfort und tragen zum Schutz der Bausubstanz bei. Aber unabhängig vom gewählten System gelten für die Wohnungslüftung folgende Leistungs- und Komfortgrenzen:

- Eine Lüftung ist keine Klimaanlage und ersetzt auch den baulichen sommerlichen Wärmeschutz nicht. Selbst wenn öffnbare Fenster und eine mechanische Intensivlüftung vorhanden sind, braucht es für ein behagliches Raumklima im Sommer eine ausreichende thermisch aktive Speichermasse und einen wirksamen Sonnenschutz.
- Mit geeigneten technischen Massnahmen kann sie dazu beitragen, dass im Winter die Perioden mit tiefen Raumluftfeuchten verkürzt werden. Den massgebenden Einfluss auf die Raumluftfeuchte hat aber die Nutzung (Belegung, Nutzerverhalten, Feuchtequellen).
- Sie ist nicht für ungewöhnlich hohe Belegungen oder intensive Gerüche dimensioniert. In speziellen Situationen, wie bei einem Familienfest oder einem

Fondueabend, muss mit wahrnehmbaren Gerüchen gerechnet werden.

- Sie löst weder die Geruchsprobleme beim Rauchen in Wohnungen, noch mindert sie das damit verbundene Gesundheitsrisiko.
- Sie kann Wohngifte in der Raumluft nicht eliminieren, sondern nur verdünnen. Emissionen aus Baustoffen müssen durch geeignete Materialwahl möglichst an der Quelle vermieden werden. Für die Luftbelastung durch Wohnungseinrichtungen und Aktivitäten (z.B. Möbel, Reinigungsmittel, Duftkerzen) sind die Nutzenden selbst verantwortlich.
- Sie kann nicht verhindern, dass Aussengerüche wie Rauch von Holzfeuerungen oder Gerüche aus der Landwirtschaft in die Wohnung gelangen. Bei mechanischen Lüftungen könnten zwar teure Aktivkohlefilter eingesetzt werden. Der hohe Druckverlust erhöht jedoch den Energieverbrauch und die Geräuschentwicklung der Ventilatoren. Der Einsatz von Aktivkohlenfiltern soll deshalb eine Ausnahme bleiben.

1.2 Normen

Grundsätzlich sollen in der Schweiz nur Schweizer Normen und Richtlinien verwendet werden. Normen anderer Herkunft wie etwa die von DIN oder VDI sollen nicht verwendet werden, da Missverständnisse oder gar Widersprüche zu Schweizer Normen und Vorschriften resultieren können.

Im Lüftungsbereich gehören die Publikationen des SIA (Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein), SWKI (Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren) und VKF (Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen) zum schweizerischen Regelwerk. Weiter gelten in der Schweiz alle Normen, die mit der Abkürzung «SN» beginnen. Diese Normen wurden von der Europäischen Normenorganisation CEN (Comité Européen de Normalisation) erarbeitet und von den Schweizer Normenorganisationen (Schweizerische Normen-Vereinigung, SNV, und SIA) übernommen. Im Zusammenhang mit der Wohnungslüftung sind folgende Normen zentral:

SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden

Die SIA 180 ist die schweizerische Grundlagennorm für Bauphysik, den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz sowie für die thermische Behaglichkeit. Weiter stellt sie auch Anforderungen an das Lüftungskonzept.

SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen

Diese Norm deckt alle mechanischen Lüftungsanlagen für Räume ab, die vorwiegend dem Aufenthalt von Personen dienen. Sie ist sehr allgemein gehalten und geht nicht spezifisch auf die Wohnungslüftung ein. Die übrigen Schweizer Lüftungsnormen und Richtlinien sind der SIA 382/1 untergeordnet. Bei Redaktionsschluss dieses Buches war die SIA 382/1 in Revision.

SIA 382/5:2021 Mechanische Lüftung in Wohnbauten

Die Norm SIA 382/5 hat das Merkblatt SIA 2023 abgelöst. Sie bildet eine zentrale Grundlage für dieses Buch. Bei verschiedenen Themen wird auf sie Bezug genommen. Es wird empfohlen, diese Norm zu beschaffen und parallel zum Buch zu verwenden. Massgebend ist immer der Originaltext der SIA 382/5.

1.3 Raumluftqualität und Schadstoffe

Durch den Stoffwechsel verbrauchen Menschen und Tiere Sauerstoff. Aber lange bevor in einem Raum der Sauerstoff ausgeht, wird der Geruch unerträglich. Zudem kann auch die Konzentration an Schadstoffen ein gesundheitlich bedenkliches Mass erreichen. Räume werden also nicht in erster Linie gelüftet, um Sauerstoff zuzuführen, sondern um Belastungen abzuführen.

Belastung durch Personen

Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist ein guter Indikator für die empfundene Raumluftqualität, wenn die Geruchsbelastung hautsächlich vom menschlichen Stoffwechsel stammt. CO_2 ist weder riechbar, noch erreicht seine Konzentration in belüfteten Gebäuden einen gesundheitlich kritischen Bereich.

Der CO_2 -Ausstoss von Menschen hängt von deren Aktivität und der Körpergrösse ab. Für Erwachsene in Wohnungen sind die folgenden CO_2 -Emissionen typisch:

- Mittlere Tagesaktivität: pro Person 18–20 l/h (Rechenwert 20 l/h)
- Schlafen: pro Person 12–14 l/h (Rechenwert 13,6 l/h)

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass Personen, die einen Raum betreten, die Raumluftqualität als gut beurteilen, wenn der CO_2 -Gehalt 800 bis 1000 ppm¹ nicht übersteigt. Halten sich Menschen aber längere Zeit in einem

¹ Bezugen auf einen CO_2 -Gehalt der Aussenluft von 400 ppm

Raum auf, gewöhnen sie sich an die – vorwiegend eigenen – Gerüche. Dann wird die Raumluftqualität als noch akzeptabel beurteilt, wenn der CO₂-Gehalt zwischen 1200 und 1400 ppm liegt. Damit ist dieser Wert also beispielsweise für Schlafzimmer angemessen. Er gilt auch für Räume, in denen sich tags mehrere Personen während einiger Stunden gemeinsam aufhalten. SIA 382/1:2014 verwendet sogenannte RAL-Klassen, die in Tabelle 1.1 sinngemäss beschrieben sind. Bei der laufenden Revision der Norm werden die Klassen an neue europäische Normen angepasst. Aus den CO₂-Emissionen und der angestrebten CO₂-Konzentration kann der erforderliche Aussenluft-Volumenstrom berechnet werden, der einem Raum oder einer Wohnung zugeführt werden muss. Diese Werte finden sich in Kapitel 3.

Raumluftbelastung durch die Nutzung

Ein grosser Teil der Feinstaubbelastung in der Raumluft ist buchstäblich hausgemacht. Nützliche Informationen dazu liefert das Merkblatt «Feinstaub in der Innenraumluft» des Bundesamts für Gesundheit [1]. Kerzen, Räucherstäbchen, offene Feuer (z. B. Gaskochherd, Cheminée, Ethanolfeuer) emittieren erhebliche Feinstaubmengen und allenfalls weitere unerwünschte Stoffe. Selbst beim Kochen, etwa beim Anbraten oder Frittieren, entsteht Feinstaub.

Rauchen verursacht massive Raumluftbelastungen. In Räumen, in denen geraucht wird, ist es unmöglich, eine gute Raumluftqualität zu erreichen. Weiter können Möbel und andere Einrichtungsgegenstände unerwünschte Stoffe an die Raum-

luft abgeben. Es liegt in der Verantwortung der Bewohnerinnen und Bewohner, solche Belastungen zu minimieren.

Baustoffe

Gemäss SIA 180:2014, Ziff. 3.3, gilt der Grundsatz, dass Baumaterialien gewählt werden sollen, die möglichst keine oder nur sehr geringe Schadstoffmengen an die Raumluft abgeben. Die SIA 382/5:2021 liefert in Anhang B Hinweise auf weiterführende Publikationen.

Gute Voraussetzungen für eine Bausubstanz, die die Raumluft möglichst wenig belastet, bietet das Bauen nach Minergie-Eco. Bei diesem Standard wird der Einsatz von emissionsarmen Materialien gefordert und überprüft.

1.4 Aussenluftbelastung

In der Schweiz nimmt die Belastung der Aussenluft mit Feinstaub und Stickoxiden seit einigen Jahren tendenziell ab. Regional und lokal, speziell an stark befahrenen Strassen, können die Richt- und Grenzwerte trotzdem noch überschritten werden. Informationen zur Aussenluftqualität liefern folgende Websites:

- www.ostluft.ch listet die Messwerte und Prognosen der Ostschweizer Kantone.
- Das Bundesamt für Umwelt bietet auf www.bafu.admin.ch Übersichtskarten mit Jahreswerten für die ganze Schweiz an.

Wenn die Feinstaubbelastung über den von der Weltgesundheitsorganisation WHO empfohlenen Werten liegt, wird empfohlen, ein Lüftungssystem zu wählen, bei dem Feinstaubfilter der Klasse ISO ePM1 50 % (entspricht der alten Klasse F7) oder höher eingesetzt werden können.

Kategorie	Beispielnutzungen	CO ₂ -Gehalt
RAL 1	Spezielle Räume wie Labor und Reinräume	nicht definiert
RAL 2	Räume mit erhöhten Ansprüchen an die Raumluftqualität, z. B. solche, in die häufig Personen neu ein treten	< 1000 ppm
RAL 3	Räume mit durchschnittlichen Ansprüchen an die Raumluftqualität, typische Wohn- und Büroräume	1000 bis 1400 ppm
RAL 4	Räume, in denen sich nur selten oder gar nie Personen aufhalten, z. B. untergeordnete Räume und Nebenräume	> 1400 ppm

Tabelle 1.1:
Klassierung der Raumluft gemäss SIA 382/1:2014, mit Beispielnutzungen.

Radon

Radon ist ein natürliches radioaktives Gas, das aus dem Untergrund in Gebäude eindringen kann. Das Risiko hierfür hängt vom Standort des Gebäudes und von dessen Konstruktion ab. In der Schweiz gilt Radon als wichtigste natürliche Ursache für Lungenkrebs. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) geht von 200 bis 300 Todesfällen im Jahr aus, die durch Radon verursacht werden. Auf der Website der Radonfachstelle im BAG findet sich umfangreiches Informationsmaterial sowie eine Karte mit den Risikogebieten (www.ch-radon.ch).

Die Eidgenössische Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 legt beim Radon 300 Bq/m³ als Referenzwert fest. Er steht für die gesamte jährlich akkumulierte Strahlenbelastung einer Person und sollte nicht überschritten werden. Der Referenzwert gilt für Räume, in denen sich Menschen regelmäßig während mehrerer Stunden aufhalten, also auch für Wohnbauten. Die Verantwortung beim Radon liegt bei der Gebäudeeigentümerin respektive der Bauherrschaft. Sie muss dem Stand der Technik entsprechende präventive bauliche Massnahmen treffen, um die Radonkonzentrationen unter dem Referenzwert zu halten. Als Stand der Technik gilt die SIA 180:2014. Wird der Referenzwert in einem Raum überschritten, müssen die Eigentümer die notwendigen Sanierungsmaßnahmen auf eigene Kosten veranlassen.

Neue Gebäude mit durchgehend betonierten Kellerböden und betonierten Decken über dem Untergeschoss gelten im Allgemeinen als unkritisch, sofern keine Zu- oder Ableitungen (Kanalisation, Erdwärmesonden etc.) das Betonfundament durchdringen. In kritischen Regionen und vor allem bei älteren Einfamilienhäusern muss das Problem sehr ernst genommen

werden. Im Zusammenhang mit Lüftungen gilt es bezüglich Radon zu beachten:

- Die Aussenluft muss mindestens 0,8 m über Boden gefasst werden.
- Bei bestehenden Gebäuden ohne oder mit rissigem Betonfundament ist Unterdruck kritisch. Abluftanlagen sind hier also heikel.
- Die Durchführungen von Luftleitungen durch Boden und Kellerwände müssen gasdicht sein.
- Luft-Erdreich-Wärmeübertrager müssen gasdicht ausgeführt sein.

In einer Studie der Hochschule Luzern [2] wurden 2012 die Radonkonzentrationen in 15 Gebäuden mit Komfortlüftung und Luft-Erdreich-Wärmeübertragern gemessen. Bei allen untersuchten Gebäuden lag die mittlere Radonkonzentration in den bewohnten Räumen deutlich unter 100 Bq/m³, womit die Empfehlungen der WHO eingehalten waren. Die Radonkonzentration lag auch tiefer als in Referenzgebäuden der gleichen Gemeinde mit natürlicher Lüftung. Trotz der statistisch geringen Anzahl an Messungen kann behauptet werden, dass eine Komfortlüftung tendenziell zu einer tieferen Radonkonzentration führt als eine Fensterlüftung.

1.5 Raumluftefeuchte

Die Raumluftefeuchte hängt ab von der Feuchteproduktion in der Wohnung (Anwesenheit von Personen, Lüftungsverhalten, Kochen, Duschen etc.), der Lüftung und dem Aussenklima.

Feuchteproduktion

Wenn keine anderslautende Nutzungsvereinbarung besteht, wird davon ausgegangen, dass die Wohnung gemäss SIA 2024 genutzt wird. Tabelle 1.3 zeigt die Feuchteproduktion in einem Mehrfamilienhaus (MFH) in Anlehnung an SIA 2024:2015 und SIA 180:2014.

Die Werte in Tabelle 1.3 liegen für dauernd belegte Wohnungen eher auf der konservativen Seite. Die Feuchteproduktion von Personen ist zwar bei 21 °C etwa 20 % tiefer als bei 24 °C. Dafür kann bei den «weiteren Feuchtequellen» je nach

Tabelle 1.2: WHO-Empfehlungen für maximale Feinstaubimmissionen.

Wert	Feinstaubart	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
Jahresmittelwert	10 µg/m ³	20 µg/m ³
max. 24-Stunden	25 µg/m ³	50 µg/m ³
Mittelwert		

Kochgewohnheiten, Zimmerpflanzenbestand etc. ohne weiteres eine zwei- bis viermal höhere Feuchteproduktion angenommen werden. Insgesamt fallen in Wohnungen pro Person und Tag typischerweise 1 bis 1,5 kg Wasserdampf an.

Anforderungen im Winterfall

Gemäss SIA 180:2014 und SIA 382/1:2014 beträgt die minimal zulässige relative Raumluftfeuchte (r. F.) 30 %. Diese Anforderung ist mit den folgenden Bedingungen verbunden:

- Die minimal zulässige Raumluftfeuchte darf während 10 % der Nutzungszeit unterschritten werden.
- Die relative Raumluftfeuchte bezieht sich bei normaler Wohnnutzung auf 21°C Raumlufttemperatur. Sind andere Raumlufttemperaturen vorgesehen, wird die Feuchte auf 21°C umgerechnet.
- Bei Lagen über 800 m ü. M. reduziert sich die zulässige Feuchtegrenze um 1 % r. F. pro 100 m.

Die SIA-Normen definieren nicht klar, wie nachgewiesen werden muss, dass diese Anforderungen eingehalten sind. Falls ein Nachweis geführt wird, muss für die Berechnung Folgendes festgelegt werden:

- Statische oder dynamische Berechnung? Unter anderem muss geklärt werden, wie mit der Feuchtespeicherung von Baustoffen und Einrichtungen umgegangen wird. Im Rahmen der Studie «Feuchte in Niedrigenergiebauten» des Bundesamts für Energie [3] wurden statische und dynamische Berechnungen verglichen. Für typische Wintertage ergaben sich keine

wesentlichen Unterschiede. Bei extremen Bedingungen, das heisst bei sehr tiefen Aussenluftfeuchten, ergab die dynamische Berechnung etwas höhere Raumluftfeuchten.

- Feuchteproduktion: Die SIA-Normen definieren keinen eindeutigen Wert und schon gar keinen Tagesverlauf zur Feuchteproduktion. Zudem ist offen, welcher Anteil der Feuchteproduktion direkt abgeführt wird (z. B. via Badabluft) und welcher Anteil in die Zimmer gelangt. Relevant ist auch, ob eine Dunstabzugshaube mit Fortluft oder Umluft eingesetzt wird.
- Lüftungskonzept: Es muss definiert werden, wie gross der Aussenluft-Volumenstrom ist und wie er gesteuert oder geregelt wird. Festzulegen gilt es auch, welche zusätzliche Infiltration vorhanden ist. Bei einer Feuchterückgewinnung muss der Feuchterückgewinnungsgrad definiert werden.
- Unterscheidung von Räumen: Die SIA 2024 betrachtet die ganze Wohnung als eine zusammenhängende Zone mit gleichen Bedingungen. Die Lüftungsnormen gehen aber von geschlossenen Zimmertüren aus. Für die Feuchteverteilung auf die einzelnen Räume ist das ein Unterschied.

Empfehlungen für den Winterfall

Für gesunde Personen ist es unproblematisch, wenn die Raumluftfeuchte an einigen Tagen im Jahr unter 30 % sinkt. Menschen mit speziellen gesundheitlichen Anforderungen (Haut, Atemwege) können aber negativ auf tiefe relative Luftfeuchten reagieren.

Beschreibung	Einheit	Aktivität		ganzer Tag
		wach	schlafen	
Dauer der Aktivität (Anwesenheit gem. SIA 2024:2015)	[h]	6	8	14
Feuchteproduktion pro Person und Stunde (gem. SIA 180:2014, bei 24 °C)	[g/h]	70	45	–
Aufsummierte Feuchteproduktion pro Person über die Dauer der Aktivität	[g/d]	420	360	780
Weitere Feuchtequellen (in Anlehnung an SIA 2024:2015: pro Person 15 g/h bei Anwesenheit)	[g/d]	–	–	220
Feuchteproduktion pro Person und Tag	[g/d]	–	–	1000

Tabelle 1.3:
Feuchteproduktion pro Person und Tag in einem MFH.

Grundsätzlich soll in einer mechanischen Wohnungslüftung keine aktive Zuluftbefeuchtung einge-

In Wohnungen fallen pro Person und Tag typischerweise 1 bis 1,5 kg Wasserdampf an. feuchtung eingebaut werden. In erster Linie sprechen die hygienischen Risiken dagegen, die bei nicht fach-

gerechter Wartung auftreten können.

Die Raumluftfeuchte lässt sich durch folgende technische Massnahmen erhöhen:

- Die Aussenluft-Volumenströme sollen nicht überdimensioniert werden. Das heisst, dass nach den minimalen Werten der SIA 382/5 ausgelegt werden soll.
- Die Wohnungslüftung soll nach Bedarf geregelt werden.
- Eine kombinierte Wärme- und Feuchtreckgewinnung (Enthalpieübertrager) kann die relative Raumluftfeuchte im Winter um 5 bis 10 % erhöhen, wenn mindestens einer der beiden obigen Punkte eingehalten ist.
- Bei Wohnungen mit tiefer Belegung sollen die Luftvolumenströme anhand der effektiven Nutzung und Belegung eingegliedert werden. Diese Massnahme ist besonders bei Einfamilienhäusern und Eigentumswohnung empfehlenswert.

Neben den technischen sind die folgenden betrieblichen Massnahmen hinsichtlich Feuchte möglich:

- Lüftungsstufe dem Bedarf anpassen
- Nicht überheizen – wird die Raumlufttemperatur beispielsweise von 21°C auf 24°C erhöht, sinkt die relative Raumluftfeuchte von 35 % auf 29 %.
- Türen in der Wohnung offenstehen lassen: Wenn es vom Schallschutz und der Geruchsausbreitung her tolerierbar ist, sollen die Türen innerhalb der Wohnung offen stehen. Dadurch verteilt sich der anfallende Wasserdampf in der ganzen Wohnung.

Pflanzen geben Wasserdampf ab. Man sollte ihre Wirkung aber nicht überschätzen, so produziert eine rund 80 cm grosse Yucca nur etwa 2 g/h. Beachtet werden sollte auch, dass Topfpflanzen Schimmel- pilzsporen in die Raumluft abgeben können.

Falls aus gesundheitlichen Gründen aktiv befeuchtet werden muss, soll dies durch lokale Raumluftbefeuchter geschehen. Wegen des Energieverbrauchs, der durch das Befeuchten entsteht, sollen solche Geräte aber zurückhaltend und nur temporär eingesetzt werden. Aus hygienischen Gründen ist regelmässiges Reinigen der Raumluftbefeuchter erforderlich.

Wäschetrocken in der Wohnung zur Erhöhung der Raumluftfeuchte ist heikel. Die erheblichen Wasserdampfmengen, die dabei abgegeben werden, sind zwar bei tiefen Aussentemperaturen erwünscht. Bei höheren Aussentemperaturen kann eine zu hohe Raumluftfeuchte entstehen und Bauschäden oder gesundheitliche Probleme durch Schimmelpilze verursachen. Falls in der Wohnung Wäsche getrocknet wird, soll die Raumluftfeuchte mit einem Hygrometer überwacht werden. Weiter Informationen zu Feuchte und Befeuchtung finden sich in [4].

Parkett und feuchteempfindliche Baustoffe

Aus dem Schlussbericht zur Studie «Raumluftfeuchte in Wohnneubauten» von 2007 [5] lassen sich folgende Aussagen zu Parkett zusammenfassen: Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff. Ein fugenloser Parkettbelag ist aufgrund der Holzeigenschaften nicht möglich. Die Fugenbreite hängt von der Holzart ab; eine wichtige Kenngrösse ist das Schwindmass. Die Formehaltung (bei Schwindung und Quellung) hängt von der Holzqualität ab, unter anderem vom Jungholzanteil.

Ein qualitativ gutes Parkett verträgt eine relative Raumluftfeuchte bis hinunter auf 30 %, kurzzeitig sind auch tiefere Werte möglich. Die Rissbildung hängt auch von der Temperatur (Bodenheizung) und der Quellung im ersten Sommer ab. Wenn ein möglichst rissarmes Parkett verlangt wird, gilt es folgende Aspekte zu beachten:

- Hölzer und Qualitäten wählen, die generell weniger zur Rissbildung neigen. Diesbezüglich verhält sich Eiche beispielsweise günstig, Buche aber ungünstig.
- Schmale Parkettsegmente wählen.

- Kantenverleimende Lacke und Versiegelungen vermeiden.
- Eventuell abgesperrtes (= mehrschichtiges) Parkett verwenden.
- Bei Fußbodenheizungen höchstens 30°C Vorlauftemperatur anstreben. Der Maximalwert beträgt 35°C – was auch den kantonalen Energievorschriften entspricht.

Gemäss SIA 180, Ziffer 3.2.8, gilt: «Die Baumaterialien sind so zu wählen, dass sie auch ohne Luftbefeuchtung keinen Schaden nehmen.» Unter Ziffer 4.4 derselben Norm wird auf die Verhinderung von zu grossen Formänderungen bei organischen Materialien eingegangen. Danach soll der Tagesmittelwert der rel. Raumluftfeuchte bei Höhenlagen bis zu 800 m ü. M. zwischen 30 % und 70 % liegen. Über 800 m ü. M. reduzieren sich die Untergrenze und die Obergrenze um 1 % r. F. pro 100 m. Die Grenzen dürfen pro Monat an höchstens fünf aufeinanderfolgenden Tagen unter- respektive überschritten werden. Die SIA 180 erwähnt zwar, dass der zulässige Feuchtebereich ohne aktive Be- und Entfeuchtung eingehalten werden soll. Sie liefert aber keine konkreten Hinweise, wie das gewährleistet werden soll oder wie der Nachweis zu führen wäre. Die im Abschnitt «Empfehlungen für den Winterfall» aufgeführten Massnahmen sind sicher sinnvoll; sie garantieren aber nicht die Einhaltung dieser Anforderung. Situativ muss der Einsatz von mobilen Raumluftbefeuchtern in Betracht gezogen werden.

Hohe Raumluftfeuchte

Hohe Raumluftfeuchten sind hygienisch bedeutend kritischer als tiefe. Vorwiegend während des Sommerhalbjahres besteht in Wohnungen ein Feuchteüberschuss, der zwingend durch Lüften abgeführt werden muss. Bei Raumluftfeuchten über 70 % nimmt das Risiko von Schimmelpilzwachstum deutlich zu. In SIA 180:2014 wird dieses Thema in Kapitel 6 behandelt. Sehr feuchte Raumluft wird nicht als frisch empfunden und durch Wachstum von Mikroorganismen entstehen Gerüche. Für Hausstaubmilbenallergiker sollten mindestens im Winterhalbjahr Bedingungen ge-

schaffen werden, die das Milbenwachstum hemmen. Gemäss dem Allergiezentrum Schweiz ist dies der Fall, wenn die Raumluftfeuchte unter 50 % liegt – bei 19 bis 21°C im Wohnzimmer und maximal 19°C im Schlafzimmer.

Bei fachgerecht ausgeführten und betriebenen Wohnungslüftungen treten bei üblichem Benutzerverhalten, sprich üblichem Feuchteanfall, innerhalb der Wohnung keine Probleme mit zu hohen Raumluftfeuchten auf. Räume ausserhalb des beheizten Bereichs, wie Keller und Trocknungsräume, können aber kritisch sein (s. Kapitel 10.3).

1.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Ein guter baulicher sommerlicher Wärmeschutz ist eine elementare Voraussetzung für die thermische Behaglichkeit. Unabhängig davon, ob gekühlt wird oder nicht, basiert er auf zwei zentralen Voraussetzungen:

- Einem aussenliegenden beweglichen Sonnenschutz, der den Wärmeeintrag durch verglaste Gebäudeöffnungen tagsüber minimiert.
- Einer ausreichend hohen thermisch aktiven Speichermasse, die den Wärmeanfall puffert.

Diese beiden Punkte sind nicht Bestandteil dieses Buches und werden nicht weiter behandelt. Das Abführen der Wärme durch Lüften hingegen ist Thema der folgenden Abschnitte.

Die Wärmelast der Solarstrahlung und die intern produzierte Wärme werden während des Tags in der thermisch wirksamen Speicherkapazität eingelagert. Dieser Speicher kann durch intensives Lüften während der kühlen Nacht- und Morgenstunden wieder entladen werden. Sofern die baulichen Anforderungen an Sonnenschutz und Speicherkapazität eingehalten sind, reicht die freie oder natürliche Lüftung im Wohnbau, um eine gute thermische Behaglichkeit zu erreichen.

Nachtauskühlung mit freier Lüftung

Eine wirksame Nachtauskühlung erfordert typischerweise einen zwei- bis dreifachen stündlichen Luftwechsel. In Anlehnung an SIA 180:2014, Ziff. 5.2.3, lässt sich Folgendes empfehlen:

Die Querschnittsfläche der Öffnungen muss mindestens 5 % der Nettooberflächenfläche eines Raumes betragen. Bei Räumen mit einer Raumtiefe bis zur 2,5-fachen Raumhöhe genügen Fenster auf einer Fassadenseite. Bei Raumtiefen von 2,5- bis 5,0-facher Raumhöhe sollen Fenster auf zwei Fassadenseiten (gegenüberliegend oder über Eck) vorhanden sein. Kippfenster liefern meistens nicht die erforderliche freie Fläche.

Nachtauskühlung mit mechanischer Lüftung

Wohnungslüftungen bewerkstelligen einen stündlichen Luftwechsel zwischen 0,5 und 1,0. Damit eignen sie sich nur bedingt zum Kühlen. Bei sehr guten baulichen Massnahmen können sie die maximale Raumtemperatur nur geringfügig, etwa um 1 bis 3 K senken.

Soll eine mechanische Lüftung für die Nachtauskühlung eingesetzt werden, muss sie folgendermassen betrieben werden:

■ Die Wärmerückgewinnung wird deaktiviert.

■ Eine vorhandene Bedarfssteuerung über die Raumluftqualität oder die Raumluftfeuchte wird ebenfalls deaktiviert.

■ Das Lüftungsgerät wird auf der höchsten Stufe betrieben, die aus akustischen Gründen nachts noch angemessen ist.

Bei einer Komfortlüftung soll möglichst eine Außenluft-Vorkühlung durch einen Luft-Erdreich-Wärmeübertrager realisiert werden. Alles in allem lässt sich aber sagen, dass eine Komfortlüftung nur in Ausnahmefällen zur Nachtauskühlung verwendet werden soll. Ihre Wirkung ist verglichen mit anderen Lösungen eher gering und der Energieaufwand eher hoch.

1.7 Steuerung/Regelung und Bedienung

Definitionen und Anforderungen der SIA 382/5

Die SIA 382/5 unterscheidet die Betriebsarten gemäss Tabelle 1.4. Der besseren Lesbarkeit wegen werden in diesem Buch Kurzbezeichnungen verwendet.

Bei mehrstufigen Lüftungsanlagen müssen die Bewohnerinnen und Bewohner die Möglichkeit haben, mindestens den Normalbetrieb und den Grundbetrieb einzustellen. Die Bediengeräte sollen an gut zugänglichen Orten innerhalb der Wohnung offen platziert werden.

Lüftungsanlagen müssen einen gut zugänglichen Hauptschalter oder Netzste-

Betriebsart (Kurzform in diesem Buch)	Definition nach SIA 382/5 und Bemerkung
Normallüftungsbetrieb (Normalbetrieb)	Betrieb der Lüftungsanlage gemäss Bemessung. Bemerkung: Die Bemessung oder auch Auslegung von Wohnungslüftungsanlagen ist für den Tag- und Nachtbetrieb gleich.
Grundlüftungsbetrieb (Grundbetrieb)	Reduzierter Lüftungsbetrieb bei Abwesenheit von Personen. Bemerkung: Dieser Betriebsmodus kann auch bei einer geringen Personenbelegung aktiviert werden, beispielsweise wenn sich tags nur eine Person in einer 4-Zimmer-Wohnung aufhält.
Intensivlüftungsbetrieb (Intensivbetrieb)	Lüftungsbetrieb, der nur ausnahmsweise bei starker Belastung oder ausserhalb der eigentlichen Nutzungszeit (z. B. Nachtauskühlung) angewendet wird. Bemerkung: Dieser Betriebsmodus lässt sich sowohl durch eine mechanische Lüftungsanlage als auch durch manuelle Fensterlüftung erreichen.

Tabelle 1.4:
Betriebsarten von
Lüftungsanlagen
gemäss SIA 382/5.

cker haben, über den sie im Brand- oder Störfall abgeschaltet beziehungsweise vom Stromnetz getrennt werden können. Ausgenommen sind Einzelraumventilatoren, die nicht für Dauerbetrieb vorgesehen sind, also etwa Bad- und AWC-Abluftventilatoren. Einzelwohnungsanlagen und Einzelraumlüftungsgeräte müssen von den NutzerInnen oder Bewohnern ausgeschaltet werden können. Mehrwohnungsanlagen müssen von einer instruierten Person ausgeschaltet werden können. In öffentlich zugänglichen Bereichen gilt es, den Hauptschalter vor Missbrauch zu schützen (z.B. hinter Glas). Zudem gelten die Anforderungen der Brandschutzrichtlinie VKF-BSR 25-15 (Kapitel 4.12).

1.8 Brandschutz

Grundsätzlich legen die Kantone die gesetzlichen Grundlagen für den Brandschutz fest. Die meisten Kantone halten sich bei der Umsetzung an die Normen und Richtlinien der Vereinigung Kantонаler Feuerversicherungen (VKF). Die meisten relevanten VKF-Dokumente sind auf www.praever.ch frei verfügbar.

VKF 25-15 Brandschutzrichtlinie Lufttechnische Anlagen

Die VKF 21-15 beschreibt allgemein Anforderungen und Massnahmen für Lüftungsanlagen. Zur mechanischen Wohnungslüftung liefert sie diverse Details und Beispiele. Speziell zu erwähnen sind folgende Regeln:

- Eine Wohnung bildet einen Brandabschnitt. In MFH dürfen mehrere Wohnungen zu einem Lüftungsabschnitt zusammengefasst werden, ohne dass Brandschutzklappen eingebaut werden müssen. Voraussetzung: Die gesamte Fläche des Lüftungsabschnitts übersteigt 600 m² nicht.
- Bei Lüftungsgeräten, die mehrere Lüftungsabschnitte versorgen, muss beim Abluftteintritt eine Rauchauslöseeinrichtung eingebaut werden, die beim Ansprechen die Lüftungsanlagen ausschaltet und allfällige Brandschutzklappen schliesst.
- Kunststoffleitungen der Klasse RF3 sind innerhalb des Brandabschnittes zulässig für

einbetonierte Lüftungsleitungen und für Erdreich-Wärmeübertrager (Erdregister).

- Küchenabluft, also Dunstabzugshauben dürfen unter bestimmten Bedingungen an die mechanische Wohnungslüftung angeschlossen werden.

Ergänzend respektive teilweise als Korrigenda zu den Normen und Richtlinien gibt es diverse FAQ-Dokumente zum Brandschutz. Für Komfortlüftungen wichtig ist das «Stand der Technik-Papier Brandschutz in Lüftungen in Wohnbauten» des Verbands Gebäudeklima Schweiz. Es versteht sich als Anwendungs- und Planungshilfe speziell für Komfortlüftungen. Es fasst die Anforderungen verschiedener VKF-Dokumente zusammen und dokumentiert typische Lösungen anhand von vielen Beispielen.

1.9 Literatur

- [1] Bundesamt für Gesundheit BAG: Feinstaub in der Innenraumluft (Merkblatt), Bern, 2008. Download via www.bag.admin.ch → Gesund leben → Umwelt & Gesundheit → Chemikalien → Chemikalien von A–Z → Feinstaub
- [2] Bionda, Davide et al.; Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern, Hochschule Luzern, Horw 2012. Download via www.uwe.lu.ch → Publikationen
- [3] Frei, Beat: Feuchte in Niedrigenergiebauten. Schlussbericht des BFE-Projekts 101843. Hochschule Luzern, Horw, 2007.
- [4] Bundesamt für Gesundheit BAG; Luftbefeuchter (Merkblatt), Bern, 2007. Download via www.bag.admin.ch → Gesund leben → Umwelt & Gesundheit → Wohngifte → Gesundes Wohnen → Luftbefeuchter
- [5] Ganz, Roland: Schlussbericht Raumluftfeuchte in Wohnneubauten. Ganz Klima GmbH, Rüti, 2007. Download via www.bag.admin.ch → Gesund leben → Umwelt & Gesundheit → Wohngifte → Gesundes Wohnen → Luftbefeuchter

Lüftungskonzept, Anforderungen

2.1 Entwicklung des Lüftungskonzepts

Die Norm SIA 180 fordert, dass im Vorprojekt ein Lüftungskonzept erarbeitet wird. Grundsätzlich kann das Konzept sowohl auf natürlicher als auch auf mechanischer Lüftung basieren. Möglich ist auch eine Kombination davon – auch hybride Lüftung genannt. Laut SIA 382/5 umfasst ein Lüftungskonzept alle planerischen Vorehrungen, die einen definierten Luftaustausch bewirken sollen.

Die mögliche technische Umsetzung umfasst eine Vielzahl von möglichen Systemen und reicht vom manuell öffnabaren Fenster bis zur Klimaanlage. Dieses Buch beschränkt sich auf Lösungen, bei denen die Luft zum grossen Teil mechanisch erneuert wird. Zudem gilt der Grundsatz, dass die Lüftungsanlage in erster Linie für den hygienisch und bauphysikalisch notwendigen Luftaustausch zuständig ist. Die Funktionen Heizen und Kühlen sollen von der Lufterneuerung getrennt werden. Die Ausnahmen von dieser Regel werden in den Kapiteln 1.6 Sommerlicher Wärmeschutz, 10.4 Luftheizung und 9.10 Multi-funktionsgeräte behandelt.

Für die Entwicklung eines Lüftungskonzepts werden folgende Schritte empfohlen:

1. Die Rahmenbedingungen und Anforderungen klären
2. Die Luftführung in der Wohnung festlegen
3. Die Luftführung im Raum bestimmen
4. Das Lüftungssystem wählen
5. Die Art der Kochstellenentlüftung definieren

Die Rahmenbedingungen und Anforderungen werden in den Kapiteln 2.2 bis 2.13 behandelt. Für die akustischen Anforderungen wird auf Kapitel 11.2 verwiesen. Die Luftführung in Wohnung und Raum ist Thema von Kapitel 3. Für die Wahl des richtigen Systems gibt es kein Rezept, da

persönliche Präferenzen eine massgebende Rolle spielen. Trotzdem gibt das Kapitel 4 neben einem generellen Überblick auch Hinweise für einen Systemvergleich und zur Systemwahl. Die Kochstellenentlüftung wird in Kapitel 10.1 behandelt.

2.2 Belegung und Nutzung

Obwohl hier nur Wohnungen in Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern (EFH und MFH) behandelt werden, ist das Spektrum von möglichen Nutzungen riesig. Dies reicht von Einpersonenhaushalten über Wohngemeinschaften, Patchwork-Familien, Alleinerziehende, Homeoffice bis zum Stereotyp der Kleinfamilie mit Eltern und zwei Kindern. Eine wesentliche Qualität einer Wohnung ist, dass sie sich für verschiedene Wohn- und Lebensformen eignet, die sich naturgemäß stetig ändern. Dem gilt es auch im Lüftungskonzept Rechnung zu tragen.

Trotzdem ist es sinnvoll, die Planungsvorgaben in einem praktikablen Bereich zu halten. Eine Hilfe dabei kann Tabelle 2.1 sein. Sie zeigt einerseits die durchschnittliche Wohnungsbelegung von 2019 in der Schweiz. Zudem liefert sie Vorschläge für die Belegung, von der beim Dimensionieren einer Lüftungsanlage ausgegangen werden soll. Dabei ist der höhere Wert massgebend für die Auslegung des Luftvolumenstroms. Der tiefere Wert dient als Basis für den reduzierten Betrieb, mit dem sich in der kalten Jahreszeit zu tiefe Raumluftfeuchten vermeiden lassen. Selbstverständlich steht es aber jeder Bauherrschaft frei, abweichende Belegungen für die Planung vorzugeben.

Die Kernaussage von Tabelle 2.1 ist: Je grösser die Wohnung und je tiefer die Belegung desto flexibler muss der Betrieb der Lüftungsanlage dem Bedarf angepasst werden können. Damit lässt sich a) bei der höheren Belegung eine gute Raumluftqualität erreichen und b) bei der tieferen Belegung der Grenzwert für die minimale Raumluftfeuchte im Winter einhalten.

Neben der Belegung der gesamten Wohnung stellt sich die Frage nach der Nutzung und Belegung der einzelnen Zimmer. Im klassischen Wohnbau kann ein Zimmer beispielsweise zum Schlafen, Spielen, Erledigen von Hausarbeiten, als Homeoffice, fürs Hobby oder zum Ausruhen genutzt werden. Die genaue Nutzung eines Zimmers ist aber kaum für längere Zeit voraussehbar. Selbst bei der Stereotypfamilie schlafen längst nicht immer die Eltern im grossen Schlafzimmer und in den kleinen Zimmern je ein

Es ist nicht Sache der Lüftungsplanung, die Nutzung festzulegen oder einzuschränken.

kleines Zimmer. Deshalb soll im allgemeinen und im sozialen Wohnbau jedes Zimmer als Schlafzimmer für zwei Personen und als Raum für die Tagesaktivität von einer Person genutzt werden können. Wenn nun Lüftungsplaner nach eigenem Ermessen Eltern- und 1-Kind-Zimmer definieren, ist das erstens eine Anmassung und zweitens eine Wertverminderung, da es die Raumnutzung eingeschränkt. Bei EFH und im gehobenen Wohnbau können noch spezielle Nutzungen wie Therapie- oder Musikzimmer dazukommen. Sie müssen allenfalls hinsichtlich der Behaglichkeit speziell behandelt werden.

2.3 Empfundene Raumluftqualität

Im Allgemeinen wird empfohlen, die Raumluftqualität nach den Minimalanforderungen der SIA 382/5 festzulegen. Sie liegen bei einem CO₂-Gehalt zwischen 1000 und 1400 ppm. Im Standardfall soll dieser Wert bei geschlossenen Zimmertüren eingehalten werden. Daraus lassen sich als Min-

Standardwert für den Zuluftvolumenstrom pro Zimmer: 30 m³/h

imum 30 m³/h Standardluftvolumenstrom pro Zimmer ableiten. Dieser Wert wird im Folgenden immer wieder verwendet.

Bei bestehenden Gebäuden, bei kostengünstigen Minimallösungen oder einer Verbundlüftung kann via eine Nutzungsvereinbarung auch ein höherer CO₂-Gehalt festgelegt werden. Möglich ist es auch festzulegen, dass 1400 ppm nur bei offenen Zimmertüren eingehalten werden. Es ist aber nicht ratsam, Werte von über 1800 ppm festzulegen. Einerseits nähme dann die Luftqualität deutlich ab und andererseits müsste dann auch der Feuchteschutz speziell überprüft werden.

Bei besonderen Ansprüchen kann auch ein tieferer CO₂-Gehalt respektive ein höherer Luftvolumenstrom vereinbart werden. Dabei gilt es aber zu beachten, dass die Raumluftfeuchte während der Heizperiode sinkt, was allenfalls den Einsatz von Befeuchtern erfordert.

Bei Wohnungen, die für eine tiefen Belegung geplant sind, können die Schadstoffemissionen aus Baustoffen oder der Wohnungseinrichtung zur massgeblichen Raumluftbelastung werden. Das ist etwa dann der Fall, wenn mehr als ca. 50 m²

Tabelle 2.1: Durchschnittliche Belegung von Wohnungen in der Schweiz und Vorschläge für den Bereich der Personenbelegung, der bei der Auslegung von Lüftungsanlagen angenommen wird.

Standard	Wohnungsgrösse [Anzahl Zimmer]					
	1–1,5	2–2,5	3–3,5	4–4,5	5–5,5	6–6,5
Durchschnitt Schweiz 2019 [Anz. Personen]	1,2	1,4	1,9	2,5	2,8	3,0
Hohe Belegung (z. B. sozialer Wohnbau) [Anz. Personen]	1–2	1–2	2–3	3–4	4–5	4–6
Mittlere Belegung (typische Mietwohnung) [Anz. Personen]	1	1–2	1–2	2–3	2–4	3–5
Tiefe Belegung (z. B. hohes Preissegment, EFH) [Anz. Personen]	1	1	1–2	1–3	2–4	2–5

Nettofläche pro Person vorhanden und/oder kurze Anwesenheit geplant sind. Dies trifft etwa auf Zweitwohnungen zu oder auf solche, die regelmässig weniger als rund 10 h pro Tag belegt sind. Für solche Nutzungen soll vereinbart werden, ob ausserhalb der Nutzungszeit eine Minimallüftung vorgesehen werden soll oder ob beim Dimensionieren mit einem Zuschlag für die Schadstoffemissionen gerechnet wird. Dann muss aber berücksichtigt werden, dass ein höherer Luftvolumenstrom zu tieferen Raumluftfeuchten führt.

2.4 Feuchteschutz und Raumluftfeuchte

Beim Feuchteschutz geht es um die Vermeidung von Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbefall. Hier bilden kalte Bauteilloberflächen und zu hohe Raumluftfeuchten ein Risiko. Bild 2.1 zeigt die maximal zulässige Raumluftfeuchte bei Standardbedingungen und Annahmen gemäss SIA 180:2014, Ziff. 6.2. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Raumlufttemperatur bis zu 14°C Aussentemperatur bei 21°C liegt. Bei höheren Aussentemperaturen steigt sie kontinuierlich bis auf 24°C. Bei Neubauten werden die Standardanforderungen an die Bauteile gemäss SIA 180 in der Regel eingehalten. Bei bestehenden Gebäuden können aber Schwachstellen wie Wärmebrücken vorhanden sein, die tie-

tere Raumluftfeuchten erfordern. Dies muss mit der Bauphysikerin geklärt werden. Je tiefer die Aussentemperatur desto tiefer muss auch die rel. Raumluftfeuchte sein, damit kein Schimmelrisiko entsteht. Gleichzeitig muss aber die minimale Raumluftfeuchte (bis 800 m ü. M. 30 %, siehe Kapitel 1.5) eingehalten werden. Aufgrund dieser beiden gegenläufigen Anforderungen wird der zulässige Bereich des Luftvolumenstroms definiert. Dabei werden auch Überlegungen zur Steuerung/Regelung sowie die Frage der Feuchterückgewinnung miteinbezogen.

Der Feuchteschutz muss im oberen Bereich der wohnungsinternen Feuchteproduktion eingehalten werden. Es empfiehlt sich, hier von 1,2 kg pro Person und Tag auszugehen. Die minimale Raumluftfeuchte wiederum soll im unteren Bereich der internen Feuchteproduktion eingehalten werden. Gemäss Kapitel 1.5 wäre hier von 1,0 kg pro Person und Tag auszugehen.

Bild 2.2 zeigt anhand der Klimadaten für Zürich und Davos den minimal erforderlichen Luftvolumenstrom pro Person für den Feuchteschutz und den maximal zulässigen Luftvolumenstrom pro Person, mit dem sich die minimale relative Raumluftfeuchte einhalten lässt. Die Feuchteproduktion entspricht den oben vorgeschlagenen Werten. Die Raumlufttemperatur und die max. zulässige Raumluftfeuchte sind gleich wie in Bild 2.1.

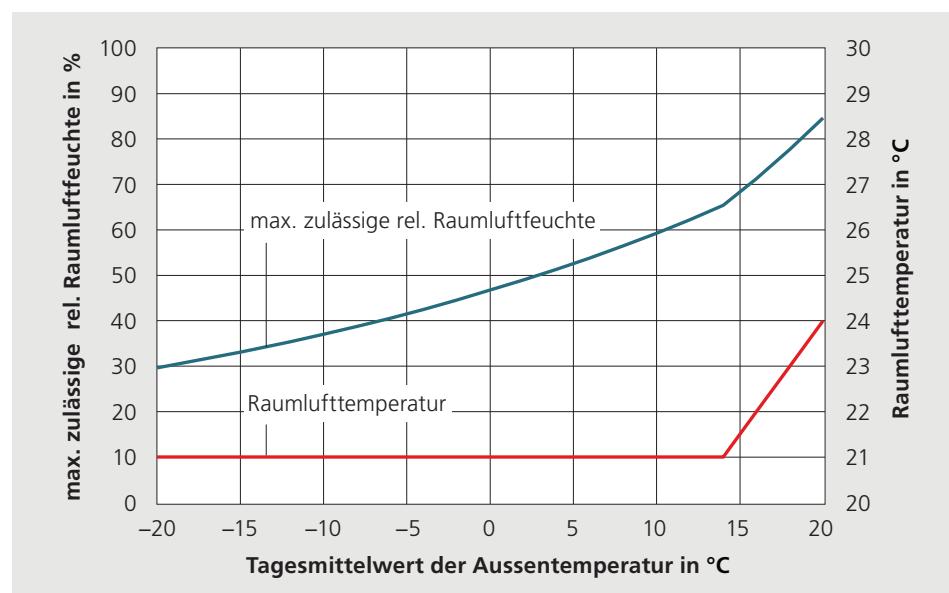


Bild 2.1: Maximal zulässige Raumluftfeuchte hinsichtlich Feuchteschutz bei Standardbedingungen gemäss SIA 180:2014 in Abhängigkeit von Außen- und Raumlufttemperatur.

Ablesebeispiel 1 zu Bild 2.2

Eine Lüftungsanlage wird dauernd betrieben und führt pro Person $30 \text{ m}^3/\text{h}$ zu. Der Feuchteschutz ist bei allen dargestellten Fällen eingehalten. Mit Feuchterückgewinnung werden die geforderten 30 % Raumluftfeuchte in Zürich ab -1°C Aussentemperatur nicht mehr erreicht. In Davos beträgt die minimale rel. Feuchte gem. Kapitel 1.5 22 %.

Dieser Wert wird unterhalb von -8°C nicht mehr eingehalten. Die in Kapitel 1.5 genannte zulässige Unterschreitungsdauer von max. 10 % wird voraussichtlich eingehalten. Ohne Feuchterückgewinnung dürften sich an beiden Standorten die Zeiten mit zu tiefen Raumluftfeuchten verlängern.

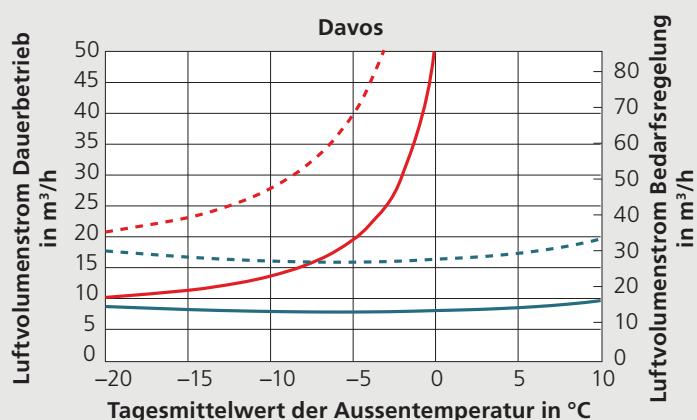
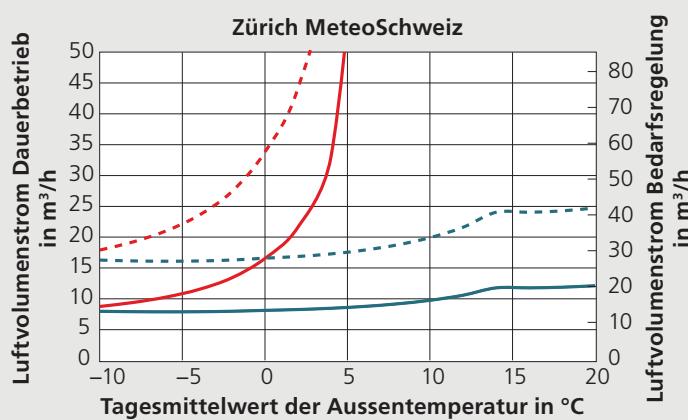
Ablesebeispiel 2 zu Bild 2.2

Die Lüftungsanlage ist auf $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person ausgelegt, führt die Luft aber bedarfsgeregt zu. Ohne Feuchterückgewinnung ist damit der Feuchteschutz ganzjährig gewährleistet. Mit Feuchterückgewinnung müssen bei Aussentemperaturen über $+5^\circ\text{C}$ Massnahmen getroffen werden, um Feuchteschäden vorzubeugen. Infrage kommen die Erhöhung der Betriebszeit und/oder die Deaktivierung der Feuchterückgewinnung, beispielsweise via Bypass oder Rotor-drehzahl.

Die minimale Raumluftfeuchte kann mit der Feuchterückgewinnung gut eingehalten werden. Ohne Feuchterückgewinnung wird aber das «10 %-Kriterium» höchstens noch knapp eingehalten. Hier wären weitere Abklärungen oder Massnahmen erforderlich.

Beim Verwenden von Bild 2.2 muss immer geprüft werden, ob die getroffenen Annahmen in guter Näherung zutreffen. Je nach Nutzung kann z. B. eine höhere Feuchtemenge als 1,2 kg pro Person und Tag anfallen. Bei Lüftungsanlagen ohne Feuchterückgewinnung führt dies in der Regel nicht zu Problemen. Bei Anlagen mit Feuchterückgewinnung müssen aber Massnahmen für den Feuchteschutz vorgesehen werden. Aus Bild 2.1 lässt sich ableiten, dass der Sollwert für die Aktivierung dieser Massnahmen von der Aussentemperatur abhängen sollte.

Bild 2.2: Minimal erforderlicher und maximal zulässiger Luftvolumenstrom pro Person aufgrund der Raumluftfeuchte (Annahmen und Rahmenbedingungen siehe Text).



— min. ohne Feuchterückgewinnung - - - min. mit Feuchterückgewinnung
 — max. ohne Feuchterückgewinnung - - - max. mit Feuchterückgewinnung

Die linke Skala steht für den Luftvolumenstrom bei ganztägig konstantem Betrieb (Dauerbetrieb). Auf der rechten Skala ist der Luftvolumenstrom bei einer bedarfsgeregelten Anlage dargestellt. Dabei wird angenommen, dass

- die Lüftung nur bei Anwesenheit der Person arbeitet und
- die Person pro Tag 14 Stunden anwesend ist (14 Vollbetriebsstunden pro Tag, vgl. Kapitel 1.5).

Weiter zeigt Bild 2.2 die zulässigen respektive erforderlichen Luftvolumenströme mit und ohne Feuchterückgewinnung. Bei der Feuchterückgewinnung wird davon ausgegangen, dass 60 % der Feuchte in der Abluft auf die Zuluft übertragen wird. Insbesondere bei der Feuchterückgewinnung muss überlegt werden, welcher Anteil des Luftvolumenstroms durch Infiltration (Leckagen in der Gebäudehülle) in die Wohnung ein- und ausströmt. Es wird angenommen, dass es 15 % des mechanisch geförderten Luftvolumenstroms sind. Diese Infiltration addiert sich zu den in Bild 2.2 eingezeichneten Luftvolumenströmen hinzu und führt demzufolge auch zusätzlich Feuchte ab.

2.5 Fenster

Öffnbare Fenster und Elemente wie Lüftungsflügel und -klappen bilden bei allen in diesem Buch behandelten Systemen eine wesentliche Ergänzung. Sie können insbesondere zur Intensivlüftung, zur Nachtauskühlung und für den Feuchteschutz eingesetzt werden. Weiter sollte ein wichtiger psychologischer Faktor nicht übersehen werden: Eine mechanische Lüftung wird deutlich besser akzeptiert, wenn die Nutzenden jederzeit ein Fenster öffnen können. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Möglichkeit genutzt wird oder nicht. Folgerichtig fordert die SIA 382/5 in Ziff. 4.1.7, dass in Räumen mit Fenstern oder Lüftungsflügeln mindestens eines dieser Elemente jederzeit geöffnet werden kann. Dies gilt auch dann, wenn beispielsweise wegen Außenlärms eine reine Fensterlüftung oder eine Nachtauskühlung durch Fenster nicht infrage kommt.

Kippfenster stehen eher dauernd offen als Fenster ohne Kippstellung. Deshalb wird teilweise empfohlen, keine Kippbeschläge zu installieren. Dies Haltung wird hier klar abgelehnt. Erstens käme das einer Bevormundung der Nutzenden gleich und zweitens gibt es keinen Grund, Kippfenster ausserhalb der Heizsaison nicht längere Zeit offenstehen zu lassen. Zudem bieten Kippfenster einen deutlichen besseren Witterungs- und Einbruchsschutz als Drehfenstern.

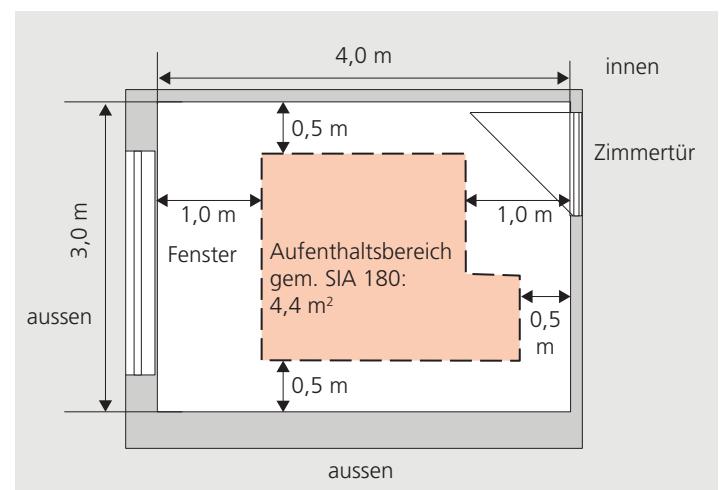
Je nach Anforderung oder Komfortstufe können Fenster oder Lüftungsflügel mit automatischen Antrieben ausgerüstet werden. In Kombination mit einer entsprechenden Steuerung/Regelung lassen sich die Nachtauskühlung, der Feuchte- und der Witterungsschutz erheblich verbessern.

2.6 Aufenthaltsbereich

Im Aufenthaltsbereich müssen alle Behaglichkeitsanforderungen erfüllt werden. Die SIA 180 definiert den Aufenthaltsbereich über Abstände zu Bauteilen und Luftdurchlässen. Es wird empfohlen, den Aufenthaltsbereich im Lüftungskonzept explizit zu thematisieren.

Bild 2.3 zeigt ein Beispiel für ein 12 m² grosses Zimmer, in dem gemäss SIA 180 gerade noch 37 % der Nettofläche als Aufenthaltsbereich verbleiben. Für Bauherren und Nutzerinnen dürfte dieser sehr beschränkte Raum, in dem die Behaglichkeitsanforderungen eingehalten sind, unbefriedigend sein. In Gebäuden, die den

Bild 2.3: Beispiel des Aufenthaltsbereichs nach SIA 180 in einem Zimmer (Grundriss).



heutigen Baustandards entsprechen, werden die Anforderungen auch bei kleineren Abständen von Innenwänden, gut gedämmten Außenwänden und Fenstern problemlos eingehalten. Bei kleineren Abständen respektive einem grösseren Aufenthaltsbereich ist es aber wesentlich, wo der Zuluftdurchlass platziert wird. Er sollte je nach Zulufttemperatur und Geschwindigkeit mit 0,5 bis 1,0 m Abstand zum Aufenthaltsbereich angeordnet werden (vgl. auch Kapitel 3.7).

2.7 Instandhaltung

Bei Wohneigentum soll geklärt werden, wer für Instandhaltungsarbeiten (Wartung, Kontrolle, Instandsetzung) der Lüftung zuständig ist. Eine Zusammenstellung der typischen Arbeiten findet sich in Kapitel 13.6. Bei Mietwohnungen wird empfohlen, dass sämtliche Instandhaltungsarbeiten durch die Vermieterin oder die beauftragte Verwaltung organisiert werden.

Unabhängig von den Eigentumsverhältnissen gilt es folgende Fragen zu klären:

- Dürfen die Wohnungen für die Filterwechsel sowie kleinere Kontroll- und Reinigungsarbeiten an den Lüftungsgeräten betreten werden? Wenn ja: wie oft? Je nach Geräteart und Filterqualität muss mit zwei bis drei Wartungen pro Jahr gerechnet werden.
- Dürfen die einzelnen Zimmer sowie Küche und Sanitärräume für Filterwechsel sowie kleinere Kontroll- und Reinigungsarbeiten und betreten werden? Wenn ja: wie oft? Bei Einzelraumlüftungsgeräten und Außenbauteil-Luftdurchlässen (ALD) muss beispielsweise mit zwei bis vier Wartungen im Jahr gerechnet werden.

Die Vorgaben und Präferenzen können sich auf die Systemwahl auswirken.

2.8 Druckverhältnisse

Lüftungsanlagen beeinflussen die Druckverhältnisse in der Wohnung. Dies kann den Betrieb von Einrichtungen wie Heizöfen oder Cheminées beeinflussen (siehe auch Kapitel 10.2). Vorgaben zu den Druckverhältnissen für den Betrieb von

solchen Geräten können sich auf die Systemwahl auswirken oder spezielle Massnahmen erfordern.

Bezüglich den Druckverhältnissen stellt SIA 382/5 folgende Anforderungen, die im Lüftungskonzept berücksichtigt werden müssen:

4.4.5.2 Ohne besondere Vereinbarung gilt, dass lüftungstechnische Einrichtungen in einer Wohneinheit weder einen Überdruck noch einen Unterdruck verursachen.

4.4.5.4 Ein allfälliger Unter- oder Überdruck darf höchstens so gross sein, dass körperlich schwache Bewohner jederzeit Türen und Fenster öffnen können. Ein Unter- oder Überdruck darf nicht dazu führen, dass ein Fenster oder eine Tür beim Öffnen eine Person verletzen kann (z.B. beim Einschalten von Fortluft-Dunstabzugshauben).

4.4.5.5 Bei Anlagen, die einen Unter- oder Überdruck erzeugen können, sind bauphysikalische Risiken abzuklären.

In Wohnungen sind gelegentlich Einrichtungen vorhanden, die einen Unter- oder Überdruck verursachen – beispielsweise zentrale Staubsauganlagen. Hier muss abgeklärt werden, wie sich solche Einrichtungen in das Lüftungskonzept integrieren lassen. Die Kochstellenabluft wird in Kapitel 10.1 separat behandelt. Hinweise zu unerwünschter Infiltration finden sich in Kapitel 2.10.

2.9 Äussere Einflüsse

Zu den äusseren Einflüssen gehören die Aussenluftqualität, der Aussenlärm und das Klima. Im Lüftungskonzept muss beurteilt werden, ob sich aufgrund der Immisionen von aussen Einschränkungen für eine Fensterlüftung ergeben. Dies kann sich auf das Konzept des sommerlichen Wärmeschutzes auswirken (siehe Kapitel 1.6).

Spezielle klimatische Bedingungen, beispielsweise eine starke Windexposition oder tiefe Aussentemperaturen, können den Einsatz bestimmter Lüftungssysteme einschränken oder ergänzende Massnah-

men erfordern. Dies kann etwa bei Abluftanlagen oder Einzelraumlüftungsgeräten der Fall sein. Besonders in Gebieten mit hohem Radonrisiko (siehe Kapitel 1.4) oder in bestehenden EFH mit hohen gemessenen Radonkonzentration sind Abluftanlagen kritisch.

2.10 Luftdichtheit der Hüllfläche

Nicht nur die Aussenhüllen von Gebäuden müssen dicht sein, sondern auch die Trennflächen zwischen den Wohnungen. Leckagen können folgende unerwünschten Folgen haben:

■ Bauschadenrisiko: Wenn Raumluft im Winter durch Leckagen ins Freie strömt, kann Feuchtigkeit an oder in kalten Bauteilen kondensieren. Diese Leckluftkondensation kann zu massiven Bauschäden führen.

■ Schallübertragung: Wo Luft durchgeht, geht auch Schall durch. Deshalb schwächen Leckagen den Schallschutz gegen aussen und allenfalls auch zwischen Wohnungen.

■ Zugerscheinungen: Einströmende kalte Luft kann zu Zugerscheinungen führen.

■ Geruchsübertragungen: Bei Leckagen zwischen Wohnungen können Gerüche übertragen werden.

■ Hygienisch fragwürdige Luftqualität: Ritzen und Fugen in Gebäudehülle und Installationszonen sind oft verschmutzt und entsprechen kaum den hygienischen Anforderungen, die an Lüftungsanlagen gestellt werden. Diese potenziellen Leckluftwege lassen sich in der Regel weder kontrollieren noch reinigen. Neben Partikeln (z.B. Baustaub, Zersetzungprodukte von toten Insekten) können auf solchen Wegen auch Emissionen von Baustoffen in die Wohnung gelangen.

■ Eintrag von Radon: Durch Leckagen zwischen einem radonbelasteten Keller und Wohnräumen kann Radon in die Wohnung gelangen. Beispiele hierfür sind undichte Kellertüren und Installationszonen.

■ Erhöhter Luftaustausch: Bei tiefen Außentemperaturen oder starkem Wind nimmt der Luftaustausch durch Leckagen

zu. Die Folgen sind ein erhöhter Energiebedarf und eine tiefe Raumluftfeuchte.

Bild 2.4 zeigt ein Beispiel für eine undichte Installationszone in einem MFH. Durch diesen verschmutzten Luftweg gelangte besonders bei laufender Dunstabzugsshaube eine erhebliche Leckluftmenge in die Wohnung.

Bei Abluftanlagen und Anlagen mit Feuchterückgewinnung (Enthalpieübertrager) sollen hinsichtlich Dichtheit der Gebäudehülle die Zielwerte der SIA 180 gefordert werden.

Die Anforderungen an die Luftdichtheit der Hüllfläche finden sich in der SIA 180:2014, Ziff. 3.6. Das hat besonders für bestehende Gebäude Konsequenzen: Ist dort die Gebäudehülle undicht, schliesst das den Einsatz von Abluftanlagen aus und reduziert den Nutzen einer Feuchterückgewinnung erheblich.

Da die Anforderungen der Norm nicht sehr anspruchsvoll sind, wird empfohlen, auch bei anderen Lüftungsanlagen die Zielwerte der SIA 180 anzustreben. Auf jeden Fall gilt: Die Lüftungsinstallationen dürfen die Luftdichtheit nicht schwächen. Eine Schachstelle sind oft die Steigzonen bei MFH.

2.11 Installationszonen und Brandschutz

Im Rahmen des Lüftungskonzepts muss geklärt werden, wo mögliche Installationszonen (Steigzonen, horizontale Verteilung, Gerätestandorte) für die lüftungstechnischen Einrichtungen vorhanden sind. Der

Bild 2.4: Beispiel für eine verschmutzte Installationszone durch die Leckluft von einer Wohnung in eine andere übertragen wird. (Quelle: Hochschule Luzern)



Platzbedarf wird im Rahmen der Systemwahl definiert. Bei bestehenden Gebäuden können die gegebenen Platzverhältnisse die Systemwahl einschränken. Neben dem verfügbaren Raum für die Installation gilt es auch, die Zugänglichkeit für die Instandhaltung zu gewährleisten.

Bei MFH besteht zudem ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Brandschutz und dem Lüftungskonzept. Deshalb muss im Rahmen des Lüftungskonzepts ein Austausch mit dem Brandschutzexperten stattfinden.

2.12 Nebenräume und untergeordnete Räume

Räume ausserhalb der thermischen Gebäudehülle dürfen grundsätzlich nicht an eine mechanische Wohnungslüftung angeschlossen werden. Hinweise zur Konditionierung dieser Räume finden sich in Kapitel 10.3.

Die Vorgaben zur Be- und Entlüftung von Nebenräumen und untergeordneten Räumen innerhalb der thermischen Gebäudehülle sind in der SIA 382/5 relativ offen gehalten. Bei fensterlosen Räumen mit Feuchteanfall ist eine mechanische Abluft unabdingbar. Die entsprechenden Einrichtungen können im Dauer- oder Intervallbetrieb (evtl. mit eigener Nachströmung) genutzt werden.

Bei Abstellräumen und Reduits entscheiden die Komfortanforderungen, ob und wie sie belüftet werden. Um die Luftqualität hochzuhalten, kann ein kleiner Abluftvolumenstrom von 10 bis 20 m³/h ange messen sein. So werden beispielsweise Gerüche abgeführt, die Kleider oder Schuhe abgegeben.

Wenn es um das Abführen von Wärmelasten – etwa von Kühlgeräten oder vom Waschturm – geht, ist die Situation deutlich weniger klar. Mit den vorgeschlagenen 10 bis 20 m³/h lassen sich Wärmelasten bis höchstens etwa 50 W Dauerleistung ab führen. Ein Wäschetrockner gibt deutlich grössere Wärmelasten ab, wenn auch nicht im Dauerbetrieb. Energetisch und ökonomisch ist es ohnehin unsinnig, die Gesamtluftmenge einer Wohnung eigens

wegen eines fensterlosen Waschraums zu erhöhen. Für solche Fälle müssen andere Lösungen gefunden werden. Es könnte etwa ein anderer Standort für die Geräte gesucht oder ein separater Abluftventilator mit eigener Nachströmung installiert werden.

2.13 Energie, Ökologie und Baustandards

Im Rahmen des Lüftungskonzepts soll geklärt werden, ob besondere Anforderungen bezüglich des Energiebedarfes oder der Ökologie bestehen. Baustandards wie Minergie, SNBS, Passivhaus oder LEED stellen eigene Anforderungen an die Lüftung. Zudem fliesst die Lüftung in die Bewertungskriterien ein.

Luftführung

3.1 Allgemeine Luftströmung in Wohnungen

Die Luftströmung in Wohnräumen ist durch thermische Konvektion geprägt. Neben den in Bild 3.1 angedeuteten Luftbewegungen durch Personen und Heizung, verursachen auch Geräte, Fenster und weitere Wärmequellen oder -senken Luftströmungen. Diese thermisch induzierte Luftbewegung ist in bewohnten Räumen immer um ein Vielfaches grösser als der mechanisch zugeführte Luftvolumenstrom von typischerweise $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Deshalb ist die Luft im Raum in der Regel stark gemischt und es spielt eine untergeordnete Rolle, wo Zuluftdurchlässe platziert sind. Auf die Grenzen dieses Prinzips wird in Kapitel 3.9 eingegangen.

Bei offenen Zimmertüren vermischt sich die Luft durch Konvektion in der gesamten Wohnung. Bild 3.2 zeigt eine 4½-Zimmer-Wohnung, bei der die Luftströmung und die Raumluftqualität detailliert untersucht wurden [1]. Bei diesem Beispiel befinden sich nur in den Schlafzimmern Zuluftdurchlässe, nicht aber im Wohn-/Essbereich. Für die Untersuchungen wurde angenommen, dass im Wohnzimmer zwei Personen sitzen. Die dargestellte CO_2 -Konzentration zeigt, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich überall fast perfekt mischt. Diese Simulationsergebnisse konnten durch Messungen bestätigt werden. Beachtenswert ist, dass der Luftvolumen-

strom, der im Korridor zirkuliert, rund 10-mal grösser ist als der Zuluftvolumenstrom der gesamten Wohnung.

Zudem gilt es noch anzumerken, dass das Wohnzimmer im Beispiel ungewöhnlich lang ist. Da die Luft selbst bei dieser speziellen Geometrie gut durchmischt wird, darf angenommen werden, dass dies praktisch bei allen Wohnungen der Fall ist. Aus dem Beispiel lässt sich schliessen, dass sich bei offenen Zimmertüren in der ganzen Wohnung in etwa die gleiche Luftqualität einstellt. Dies stimmt auch mit den Beobachtungen im Alltag überein: Wenn in Räumen mit offenen Türen starke Gerüche entstehen, wie etwa beim Zubereiten von Fondue, verbreiten sie sich innerhalb weniger Minuten in der ganzen Wohnung. Bei geöffneten Zimmertüren würde es also genügen, die Zuluft an einer einzigen Stelle in der Wohnung zuzuführen. Von dort aus würde sie sich automatisch, vorwiegend durch thermische Luftbewegungen verteilen.

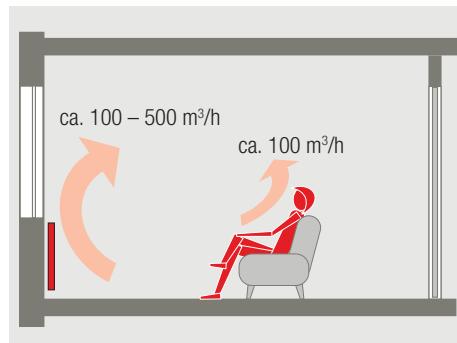


Bild 3.1: Luftbewegung in Räumen – durch die Konvektion an Wärmequellen und -senken entstehen Luftvolumenströme, die deutlich grösser sind als der Zuluftvolumenstrom.

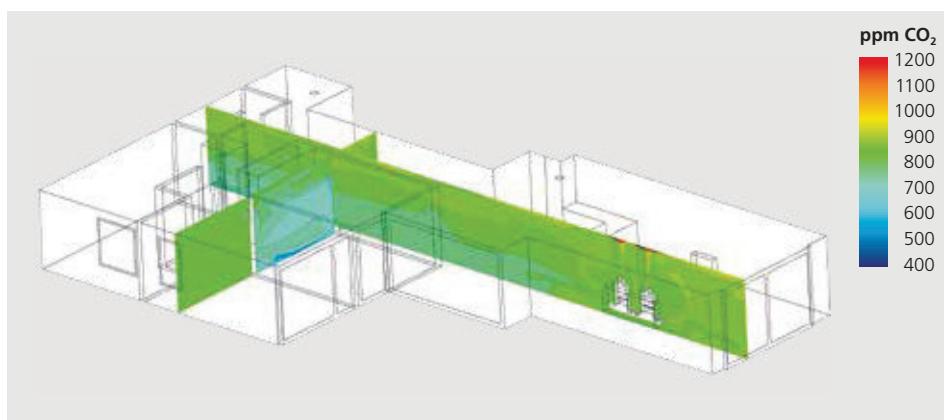


Bild 3.2: CO_2 -Konzentration bei freier Durchströmung eines Wohnzimmers. (Quelle: AFC AG, [1])

Die Beobachtungen aus dem Beispiel können verallgemeinert werden:

- Durch grosse Öffnungen (offene Türen, Fenster) findet ein starker Luftaustausch zwischen angrenzenden Räumen statt. Der Antriebsdruck für diese bidirektionale Luftströmung resultiert aus der Temperaturdifferenz der Räume.
- Durch kleine Öffnungen (Luftdurchlässe, Leckagen) strömt Luft in einer begrenzten Menge nur in eine Richtung. Der Antriebsdruck für diese Luftströmung stammt entweder von Ventilatoren oder, bei freier Lüftung, durch Wind.

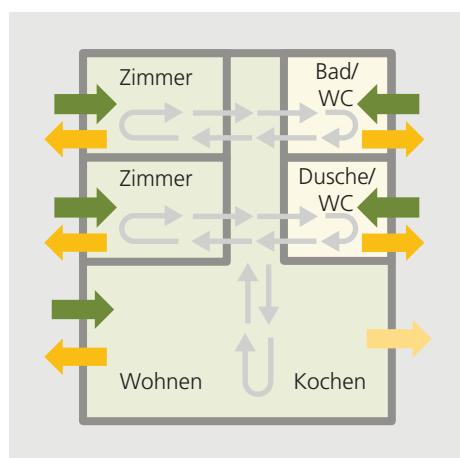
Bild 3.3 illustriert alle möglichen Anordnungen von Öffnungen in einer Wohnung. Jeder gerade Pfeil steht für eine denkbare kleine Öffnung. Bei Pfeilpaaren kann es sich entweder um eine grosse Öffnung oder zwei kleine handeln. Mit diesem allgemeinen Ansatz können mechanische, natürliche und hybride Lüftungen beschrieben werden.

Im Lüftungskonzept werden die für den geplanten Luftaustausch erforderlichen Öffnungen, sowie die Richtungen der Luftströme festgelegt. Es kann aber auch definiert werden, wo bewusst keine Luftströmung stattfinden soll. Dabei gelten folgende Grundsätze:

- In den Zimmern und im Wohnbereich wird zumindest während der Nutzung unbelastete Luft von aussen oder von anderen Räumen mit guter Luftqualität zugeführt.
- Die aus den Zimmern und dem Wohnbereich abströmende Luft wird in andere Räume oder nach aussen geführt.

Bild 3.3: Mögliche Positionen von kleinen und grossen Öffnungen.

- Zuluft/Aussenluft
- Abluft
- Raumluft/Überströmluft
- Kochstellenabluft



■ In Bad, Dusche, WC und Küche wird zumindest während der Nutzung die belastete Luft nach aussen abgeführt. Die Ersatzluft strömt von anderen Räumen oder von aussen nach.

Diese Überlegungen bieten einen grossen Spielraum bei der Luftführung. In den Kapiteln 3.3 bis 3.6 werden die gängigen Prinzipien behandelt.

3.2 Raumvolumen und Zeitprofil des Luftvolumenstroms

Beim Betreten eines nicht belegten Raumes oder nach einer Stosslüftung durch die Fenster ist die Luftqualität in der Regel gut. Mit der Zeit nimmt sie aber ab. Je kleiner der Raum und je mehr Personen anwesend sind, desto schneller verschlechtert sich die Raumluftqualität. Dieser Zusammenhang kann mit der folgenden Formel beschrieben werden, die sich auch in der SIA 382/1 findet:

$$C_{RAL,t} = \left(C_{RAL,0} - C_{ZUL} - \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,ZUL}} \right) \cdot e^{-\frac{q_{v,ZUL}}{V_R} \cdot t} + C_{ZUL} + \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,ZUL}}$$

Dabei ist

$C_{RAL,t}$ Stoffkonzentration im Raum zur Zeit t , in ppm

$C_{RAL,0}$ Stoffkonzentration im Raum zur Zeit $t = 0$, in ppm

C_{ZUL} Stoffkonzentration in der Zuluft, in ppm

G Stoffemission im Raum, in l/h

$q_{v,ZUL}$ Zuluftvolumenstrom, in m^3/h

V_R Raumvolumen, in m^3

t Zeit, in h

Mit diesem Zusammenhang lässt sich unter anderem zeigen, wie sich offene Zimmertüren auf die Raumluftqualität auswirken. In Bild 3.4 sind dazu vier Fälle dargestellt:

- a) Stosslüftung mit Fenstern, Zimmertüren nachts geschlossen
- b) Stosslüftung mit Fenstern, Zimmertüren nachts offen

- c) Mechanische Lüftung, Zimmertüren nachts geschlossen
- d) Mechanische Lüftung, Zimmertüren nachts offen

Die weiteren Annahmen zum Beispiel in Bild 3.4:

- 3½-Zimmer-Wohnung mit 70 m² Nettofläche
- Belegung durch zwei Erwachsene mit Belegungszeiten gemäss SIA 2024 (pro Tag 6 h wach, 8 h schlafen). Beide Personen nutzen das gleiche Schlafzimmer mit 12 m² Nettofläche.
- Tagsüber stehen alle Zimmertüren offen, womit sich in der ganzen Wohnung die gleiche CO₂-Konzentration einstellt.
- Bei der mechanischen Lüftung werden im Schlafzimmer 30 m³/h und in der gesamten Wohnung total 60 m³/h Zuluft zugeführt. Ist mindestens eine Person anwesend, wird die Lüftung eingeschaltet, sonst ist sie ausgeschaltet.
- Bei Fensterlüftung: 3-mal täglich eine Stößlüftung.
- Der gesamte Luftaustausch der Wohnung ist bei allen Varianten gleich gross.
- Bei der Fensterlüftung wird zusätzlich mit einer Infiltration von 5 m³/h im Schlafzimmer und 7 m³/h in der übrigen Wohnung gerechnet. Bei der mechanischen Lüftung sind es bei ausgeschalteter Lüftung 3 m³/h

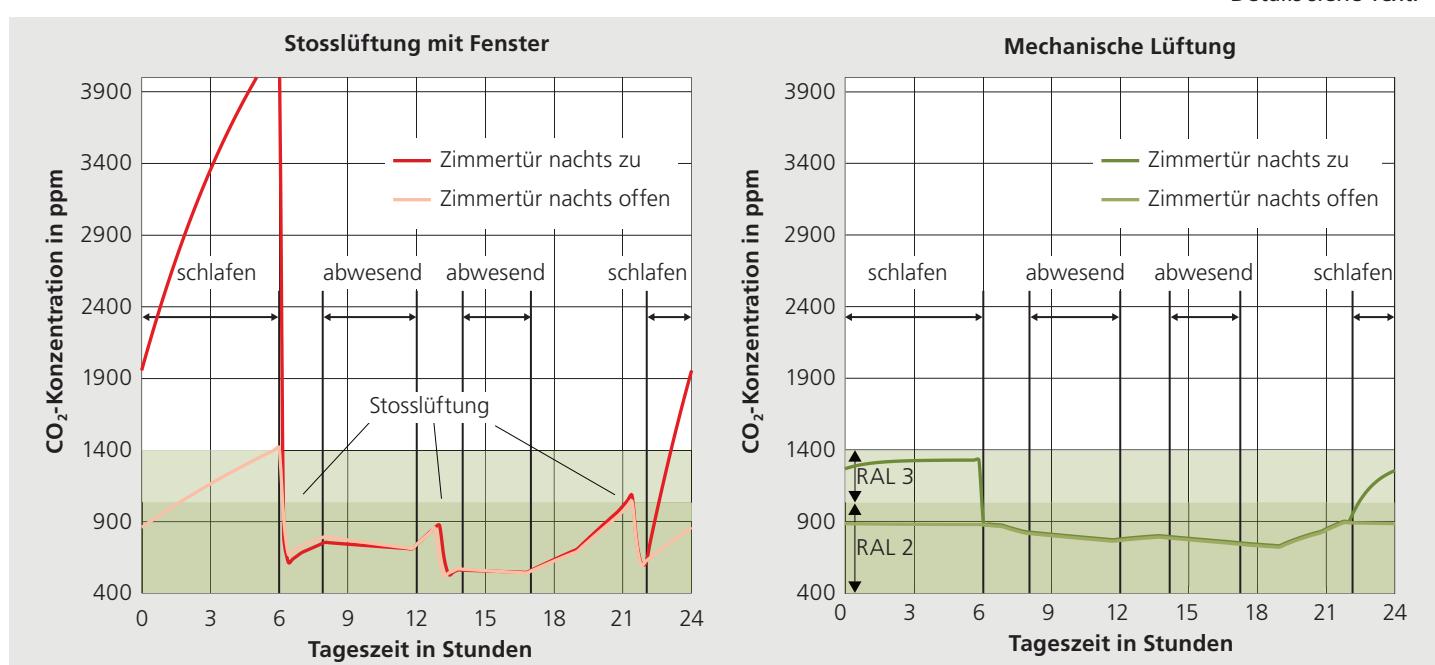
im Schlafzimmer und 5 m³/h im Rest der Wohnung.

Eine offene Schlafzimmertür verbessert die Raumluftqualität in der Nacht sowohl bei der mechanischen als auch bei der natürlichen Lüftung deutlich. Grund dafür ist, dass das Raumvolumen der gesamten Wohnung als Frischluftreservoir wirkt. Bei der mechanischen Lüftung wird aber dank der stetigen Luftzufuhr auch bei geschlossenerer Schlafzimmertür eine akzeptable Raumluftqualität erreicht (Klasse RAL 3, s. Kapitel 1.3). Tagsüber, wenn alle Zimmertüren offenstehen, stellt sich bei allen Varianten eine hohe Raumluftqualität ein (Klasse RAL 2).

Aus dem Beispiel in Bild 3.4 können folgende allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Bei einem kleinen Raumvolumen (z.B. Schlafzimmer mit geschlossener Tür) wird eine gute Raumluftqualität nur erreicht, wenn eine stetige Lufterneuerung vorhanden ist.
- Bei einem grossen Raumvolumen (z.B. Volumen einer gesamten Wohnung) genügt ein Intervallbetrieb, beispielsweise durch dreimaliges Stößlüften pro Tag, um eine gute Raumluftqualität zu erreichen.
- Bei einem kleinen Raumvolumen kann durch Intervalllüften keine akzeptable

Bild 3.4: CO₂-Konzentration der Raumluft im Schlafzimmer einer 3½-Zimmer-Wohnung bei Fensterlüftung und bei mechanischer Lüftung, jeweils mit offener und geschlossener Schlafzimmertür; Details siehe Text.



Raumluftqualität erreicht werden. Im Beispiel mit dem 12-m²-Schlafzimmer und den beiden Personen müsste man nachts alle zwei Stunden aufstehen und Stosslüften, damit die CO₂-Konzentration nicht über 2000 ppm steigt.

■ Wenn sowohl ein grosses Raumvolumen als auch eine stetige Lufterneuerung vorhanden sind, wird ganztägig eine gleichmässige und in der Regel sehr gute Raumluftqualität erreicht. Diese Kombination lässt eventuell eine kleinere Dimensionierung der Anlage zu (s. Kapitel 3.5).

Diese Zusammenhänge sollen bei der Festlegung der Luftführung und der Steuerung/Regelung berücksichtigt werden. Zu beachten ist, dass ohne eine anders lautende Nutzungsvereinbarung die Lüftungsanlage für den Fall mit geschlossenen Türen und Fenstern dimensioniert wird.

3.3 Prinzip Kaskade

Funktion

Beim Kaskadenprinzip wird die Luft im Zuluftbereich, also in den Zimmern eingeführt. Im Abluftbereich, also in Bad, Dusche, und WC wird die Abluft abgeführt.

Der Durchströmbereich befindet sich zwischen dem Zuluft- und Abluftbereich. Er umfasst den Korridor und den offenen Wohnbereich. Dort befinden sich keine Zu- oder Abluftdurchlässe, weil dieser Bereich durch die natürliche Luftumwälzung ausreichend belüftet wird. Selbst wenn die Küche im Durchströmbereich liegt, verlangt die SIA 382/5 ausser der Dunstabzugshaube keine Abluftstelle. Die Luft gelangt durch Überström-Luftdurchlässe (ÜSLD) vom Zuluft- in den Durchströmbereich und vom Durchström- in den Abluftbereich. Bild 3.5 illustriert das Prinzip Kaskade.

Der minimale Zuluftvolumenstrom pro Zimmer (mit Tür) beträgt 30 m³/h.

en Wohnbereich. Dort befinden sich keine Zu- oder Abluftdurchlässe, weil dieser Bereich durch die natürliche Luftumwälzung ausreichend belüftet wird. Selbst wenn die Küche im Durchströmbereich liegt, verlangt die SIA 382/5 ausser der Dunstabzugshaube keine Abluftstelle. Die Luft gelangt durch Überström-Luftdurchlässe (ÜSLD) vom Zuluft- in den Durchströmbereich und vom Durchström- in den Abluftbereich. Bild 3.5 illustriert das Prinzip Kaskade.

Druckverhältnisse

Bei Anlagen mit Zuluft- und Abluftventilatoren (Komfortlüftung) wird davon ausgegangen, dass der Luftdruck im Durch-

strömbereich dem Aussendruck entspricht. In den Zulufträumen sollen bei geschlossenen Türen höchstens 3 Pa Überdruck vorhanden sein und in den Ablufträumen höchstens 3 Pa Unterdruck. Bei Abluftanlagen gelten spezielle Anforderungen, die in Kapitel 7.2 behandelt werden.

Minimaler Zuluftvolumenstrom

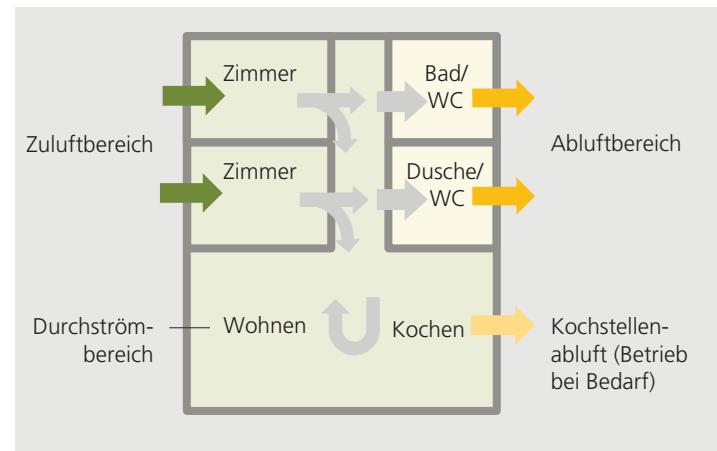
Beim Festlegen des minimalen Zuluftvolumenstroms wird davon ausgegangen, dass in jedem Zimmer zwei Personen schlafen können und dass die Zimmertüren geschlossen sind. Dies entspricht dem Fall C im Beispiel aus 3.2. Für eine 3- oder 3½-Zimmer-Wohnung, wie sie in Bild 3.5 angedeutet ist, beträgt der minimale Zuluftvolumenstrom somit 60 m³/h. Für die 4-Zimmer-Wohnung in Bild 3.2 sind es 90 m³/h. Der massgebende Zuluft- und Abluftvolumenstrom (siehe Kapitel 6.1, 7.3 respektive 8.1) einer Wohnung kann erst bestimmt werden, nachdem das Lüftungssystem ausgewählt ist.

Hinweise zur Steuerung/Regelung

Meist wird nur der gesamte Luftvolumenstrom einer Wohnung oder eines EFH gesteuert/geregelt. Bei geschlossenen Zimmertüren erlaubt die Abluftqualität keinen Rückschluss auf die Raumluftqualität im ungünstigsten Zimmer (Schlafzimmer mit zwei Personen). Deshalb soll die Lüftungsanlage nachts im Normalbetrieb laufen. Tagsüber kann vorausgesetzt werden, dass sich die Personen im Durchströmbereich aufhalten, respektive dass die Zimmertüren offenstehen. Damit kann die Lüftungs-

Bild 3.5: Prinzip Kaskadenlüftung.

■ Zuluft/Aussenluft
■ Abluft ■ Raumluft/Überströmluft
■ Kochstellenabluft



anlage während des Tags beispielsweise über einen Luftqualitätssensor geregelt werden. Bei einem regelmässigen Tagesablauf (Wochentage) ist es auch möglich,

die Anlage über ein Zeitprogramm tagsüber auf einer reduzierten Stufe zu be-

treiben. Allerdings soll dann die Bewohnerschaft die Möglichkeit haben, das Zeitprogramm temporär zu übersteuern. Infrage kommt dafür etwa ein Impulstaster, der für etwa drei Stunden auf Normalbetrieb schaltet.

3.4 Prinzip Verbund mit aktiver Verteilung

Funktion

Als Zuluftbereich dient beim Verbundprinzip 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 eingeführt. Dies kann über einen einzigen Zuluftdurchlass geschehen. Im Abluftbereich, also in Bad, Dusche und WC, wird die Abluft abgeführt. Im Verbundbereich liegen die Zimmer. Stehen die Türen offen, sorgt die natürliche Luftbewegung hier für ausreichende Umwälzung. Bei geschlossenen Türen sorgen sogenannte Verbundlüfter für den Luftaustausch zwischen dem Zuluftbereich und den Räumen im Verbundbereich (Bild 3.6). Verbundlüftungen zeichnen sich durch kurze Zuluftleitungen aus, was speziell bei der Erneuerung von bestehenden Gebäuden finanziell und architektonisch interessant ist.

Druckverhältnisse bei Verbundlüftern

Grundsätzlich sollen die gleichen maximalen Unter- und Überdrücke wie beim Prinzip Kaskade eingehalten werden. Bei Verbundlüftern stellt sich die Frage, ob sie mit einem oder zwei Ventilatoren ausgerüstet werden sollen – einem, der dem Zimmer Luft zuführt und einem, der die Luft wieder aus dem Zimmer abführt. Wird nur ein Ventilator eingesetzt, braucht es für die Rückströmung aus dem Zimmer wie-

bei der Kaskadenlüftung einen passiven Überströmluftdurchlass (ÜSLD). Da die Luftvolumenströme zwischen 45 und 60 m³/h liegen, ist es im Wohnbereich schwierig, einen ÜSLD zu finden, der höchstens 3 Pa Druckabfall verursacht. Deshalb wird empfohlen, Verbundlüfter mit zwei Ventilatoren einzusetzen.

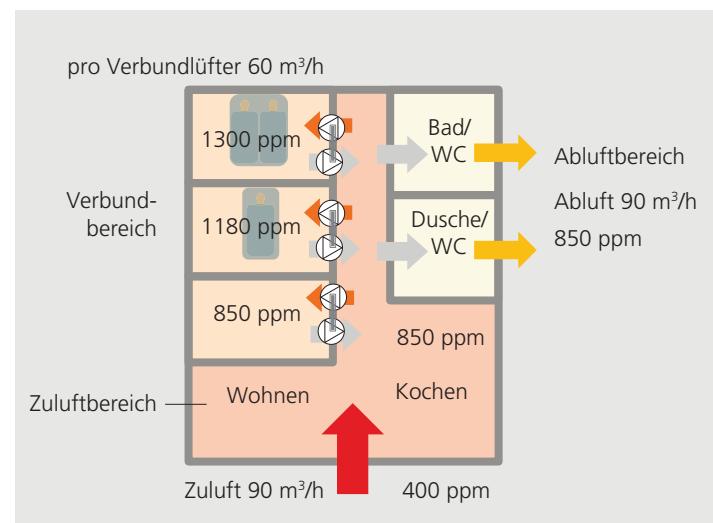
Minimale Zuluft- und Überström-Volumenströme

Bei der Verbundlüftung hat die Luft im Zuluftbereich nicht Aussenluftqualität, es handelt sich ja hier um Mischluft. Um die CO₂-Konzentration in den Zimmern nicht über 1400 ppm steigen zu lassen, muss der Luftvolumenstrom eines Verbundlüfters deshalb grösser sein als der Zuluftvolumenstrom (eines Zimmers) beim Prinzip Kaskade.

Die maximale Belegung der Wohnung wird nach Kapitel 2.2 bestimmt. Wie beim Prinzip Kaskade wird davon ausgegangen, dass in jedem Zimmer zwei Personen schlafen könnten. Zur Illustration ist in Bild 3.6 ein Beispiel für eine 4-Zimmer-Wohnung dargestellt. Es wird von einer Belegung mit drei Personen ausgegangen. Die Luftvolumenströme entsprechen den Vorgaben der SIA 382/5.

Bild 3.6: Prinzip der Verbundlüftung mit aktiver Verteilung am Beispiel einer 4-Zimmer-Wohnung, Dimensionierung nach SIA 382/5.

■ Zuluft ■ Abluft
■ Raumluft/Überströmluft ■ Verbundluft



Zur Dimensionierung des minimalen Zuluftvolumenstroms für die gesamte Wohnung und für die Verbundlüfter kann die Grafik in Bild 3.7 verwendet werden. Das Diagramm basiert auf einer maximalen CO_2 -Konzentration der Raumluft von 1400 ppm, also der oberen Grenze der Raumluftklasse RAL 3.

Die Auslegung basiert auf 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 Belegung 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, um 1400 ppm CO_2 einzuhalten. Der massgebende Zuluft- und

Abluftvolumenstrom einer Wohnung kann erst nach dem Festlegen des Lüftungssystems bestimmt werden.

Hinweise zur Steuerung/Regelung

Das Prinzip Verbund eignet sich ideal für eine Bedarfsregelung nach der Raumluftqualität. Dann kann die CO_2 -Konzentration über einen Sensor in der Abluft oder im Zuluftbereich auf 900 ppm Sollwert geregelt werden.

Verbundlüfter

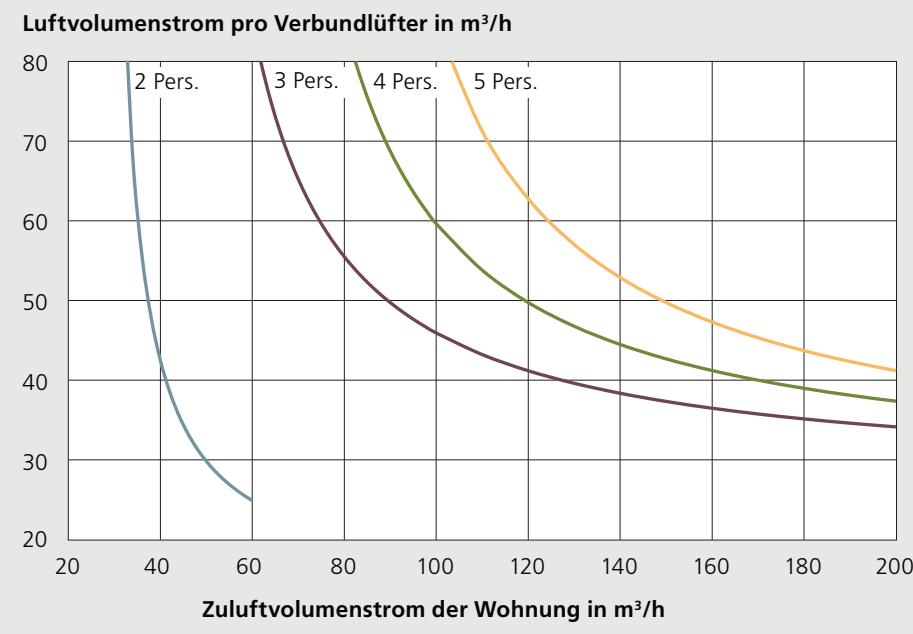
2020 wurden auf dem Schweizer Markt etwa 10 verschiedene Verbundlüfter angeboten, wobei einige die Luft nur in eine Richtung fördern. Bei der Auswahl gilt es Folgendes zu beachten:

- Die Verbundlüfter sollen nur bei geschlossener Tür einschalten. Dies kann

Ablesebeispiel zu Bild 3.7

Eine 5-Zimmer-Wohnung wird für die Belegung mit vier Personen geplant. Es wird ein Verbundlüfter mit $60 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom gewählt. Damit kann der Zuluftvolumenstrom der Wohnung auf $100 \text{ m}^3/\text{h}$ dimensioniert werden. Wenn statt vier nur drei Personen in der Wohnung leben, kann der Zuluftvolumenstrom auf $75 \text{ m}^3/\text{h}$ reduziert werden.

Der grosse Vorteil des Prinzips Verbund gegenüber dem Prinzip Kaskade ist, dass der Zuluftvolumenstrom der Wohnung bei ändernder Belegung einfach proportional der Anzahl Personen angepasst werden kann. Welches Zimmer von zwei Personen belegt wird, spielt dabei keine Rolle.



Anlagenbeispiel 3.1: Erneuerung Wohnsiedlung – Komfortlüftung und Verbundlüftung kombiniert

Die Siedlung Glatt 1 der Stadt Zürich wurde nach den Grundsätzen der 2000-Watt-Gesellschaft energetisch saniert. Im Zuge der Sanierung waren Eingriffe in den Wohnungen zwar möglich. Bei den zweigeschossigen Gebäuden wäre die Installation von Mehrwohnungsanlagen aber relativ aufwendig gewesen. Deshalb erhielt jede Wohnung ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, das in einem Einbauschrank im Korridor installiert wurde. Zwei Schlafzimmer und das Wohnzimmer werden über eine klassische Luftverteilung erschlossen, die über einer abgehängten Decke installiert ist. Weil das dritte Schlafzimmer vom Wohnzimmer her erschlossen ist, hätte der Zuluftkanal separat durch das Wohnzimmer geführt werden müssen.

Um dies zu vermeiden, wurde unterhalb der Decke ein Verbundlüfter installiert, der Luft aus dem Schlafzimmer ins Wohnzimmer fördert. Die Ersatzluft strömt durch den Luftspalt unter der Schlafzimmertür nach.

Hinweis: Der Verbundlüfter wird ausschliesslich von Hand ein- und ausgeschaltet. Das ist wichtig, um zum Beispiel das Eindringen von Kochgerüchen in das Schlafzimmer zu verhindern. Sinnvoll kann in solchen Fällen auch die Kombination mit einem Türkontakt sein, der den Verbundlüfter ausschaltet, wenn die Tür offensteht.

Standort	Zürich
Baujahr/Erneuerung	1970/2013
EBF	4488 m ²
Typ Lüftung	Komfortlüftung, Luftverteilung mit Kaskade und Verbundlüftung
Steuerung /Regelung	Wohnungsweise Bedarfssteuerung
WRG	85 %
Aktive Komponenten	Verbundlüfter für ein Zimmer
Luftbehandlung (Filter)	Aussenluftfilter F7, Abluftfilter G4



Bild 3.8: Der Verbundlüfter links oberhalb der Tür fördert Luft aus dem Wohnzimmer ins Schlafzimmer.

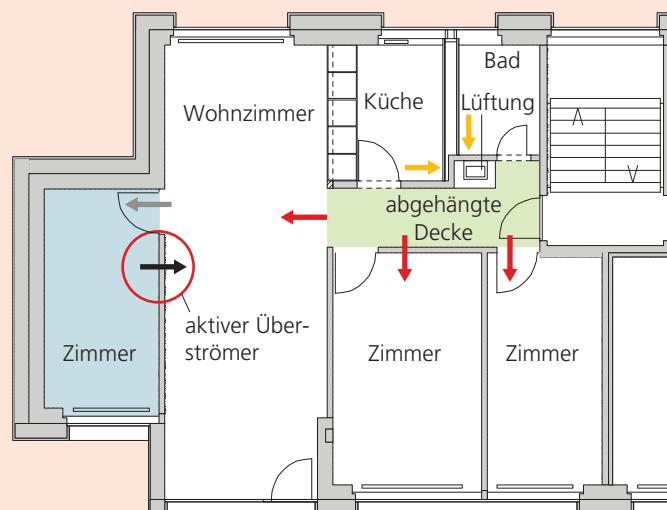


Bild 3.9: Drei Zimmer erhalten ihre Zuluft über eine klassische Luftverteilung. Ein Zimmer erhält eine Verbundlüftung mit dem Wohnzimmer.

durch einen Kontaktschalter sichergestellt werden. Einige Lieferanten bieten auch die passende CO₂-Regelung an.

■ Beim Prinzip Verbund gelangen Gerüche beispielsweise aus dem Kochbereich in die Zimmer, wenn keine Vorkehrungen getroffen werden. Um dies zu vermeiden, müssen sich die Verbundlüfter bei Bedarf ausschalten lassen. Geeignet sind Impulstaster, die einen Verbundlüfter für etwa zwei Stunden deaktivieren.

■ Der Schalldruckpegel im Raum muss die Anforderungen von SIA 382/5 erfüllen. Bei typischen Schlafzimmern darf der A-bewertete Schallleistungspegel nicht mehr als 25 dB betragen. Wenn der Wert vom Hersteller mit dem Vermerk «in 1 m Abstand» angegeben wird, dürfen es max. 17 dBA sein, siehe Tabelle 8.3.

■ Das Schalldämmmass der Verbundlüfter soll gleich hoch sein, wie das der Zimmertür. Wenn keine Anforderungen an die Zimmertür definiert sind, soll der $D_{n,e,w}$ -Wert mindestens 33 dB betragen.

■ Die elektrische Aufnahmeleistung der Verbundlüfter soll 3 W nicht übersteigen. Der Stromverbrauch von Anlagen mit Verbundlüftern ist trotz den zusätzlichen Kleinventilatoren nicht höher als der von Systemen mit dem Prinzip Kaskade. Der Grund ist, dass der Druckverlust der Zuluft-

verteilung kleiner ist und die Verbundlüfter typischerweise nur etwa 10 Stunden pro Tag laufen.

■ Wie jede andere lufttechnische Einrichtung muss ein Verbundlüfter einfach inspiziert und gereinigt werden können. Eine Kontrolle wird alle zwei Jahre empfohlen.



Bild 3.10: In Türen
eingebaute Ver-
bundlüfter. (Quelle:
Erich Keller AG)

3.5 Prinzip Verbund mit freier Verteilung

Funktion

Bei der freien Verteilung im Verbund werden anstelle von Verbundlüftern (mit Ventilatoren) passive Elemente (ohne Ventilatoren) für den Luftaustausch zwischen dem Zuluft- und dem Verbundbereich eingesetzt. Dann stammt die Antriebskraft für die Luftumwälzung aus den Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen. In fast allen Wohnungen liegen diese Temperaturdifferenzen über das ganze Jahr im Bereich von 0,5 bis 1,0 K.

Damit ein wirksamer Luftaustausch stattfindet, muss die freie Fläche für den Luftaustausch relativ gross sein. Daraus ergibt sich auch der wichtigste 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.

Das Prinzip Verbund mit freier Verteilung ist nicht in Normen geregelt. Seine Anwendung und Auslegung müssen deshalb ausdrücklich in einer Nutzungsvereinbarung festgehalten werden.

Offene Tür als Verbundelement

Die einfachste Art von Verbundelementen sind offene Zimmertüren. Das heisst: Sobald Zimmertüren offenstehen, werden auch Lüftungen nach den Prinzipien Kaskade, Einzelraum oder solche mit Verbundlüftern zum «Verbund mit freier Verteilung».

Schon 0,5 K Temperaturdifferenz verursachen bei einer offenen Zimmertür einen Luftaustausch von 200 bis 300 m³/h. Damit ein genügender Luftaustausch im Zimmer resultiert, muss die Zimmertür also nicht einmal vollständig geöffnet werden. Aufgrund von einfachen Versuchen lässt

sich schätzen, dass ein 5 cm grosser Öffnungsspalt bereits etwa 40 % des Luftstroms einer voll geöffneten Tür ermöglicht. Das entspricht rund 80 bis 120 m³/h. Es empfiehlt sich, diesen Luftvolumenstrom für die Dimensionierung zu verwenden. Bei 5 cm Öffnungsspalt ist auch noch ein gewisser Lichtschutz gegeben.

Minergie lässt offene Zimmertüren als Verbundelement bei Erneuerungen zu. Sollten Probleme wie etwa Schimmelbefall auftreten, müssen die betroffenen Zimmer aber mit Verbundlüftern oder anderen selbsttätig funktionierenden lüftungstechnischen Einrichtungen nachgerüstet werden.

In der Praxis muss damit gerechnet werden, dass nachts ein namhafter Teil der Zimmer geschlossen sind und über Fenster gelüftet wird. Dies ist bei der Berechnung des Energiebedarfs zu berücksichtigen.

Die freie Luftverteilung in der Wohnung ist kostengünstig und weitgehend wartungsfrei, aber sie bringt Komforteinbussen mit sich.

Spezielle Verbundelemente

In einem Projekt an der Hochschule Luzern wurden Alternativen zu offenen Türen untersucht [2]. Dabei hat sich gezeigt: Eine praktikable Lösung ist, im unteren und oberen Bereich der Tür eine frei durchströmbar Fläche von jeweils 0,08 m² (B x H = 0,8 m x 0,1 m) zu schaffen. Unter typischen Bedingungen stellt sich dabei ein Luftstrom von ca. 50 m³/h ein.

Minimaler Zuluftvolumenstrom der Wohnung

Für die Dimensionierung des Prinzips Verbund mit freier Verteilung werden für die gesamte Wohnung minimale Zuluftvolumenströme gemäss Tabelle 3.1 vorgeschlagen. Die Tabelle basiert auf Bild 3.7, womit auch die gleichen Voraussetzungen gelten.

Prinzip der freien Verteilung	Minimaler Zuluftvolumenstrom bei einer Belegung der Wohnung mit			
	2 Pers.	3 Pers.	4 Pers.	5 Pers.
Zimmertür mind. 5 cm geöffnet	35 m ³ /h	60 m ³ /h	80 m ³ /h	100 m ³ /h
Freie Öffnungsflächen im unteren und oberen Türbereich von je 0,08 m ²	40 m ³ /h	90 m ³ /h	120 m ³ /h	150 m ³ /h

Tabelle 3.1: Vorschlag für den minimalen Zuluftvolumenstrom der gesamten Wohnung beim Prinzip Verbund mit freier Verteilung.

Anlagenbeispiel 3.2: Erneuerung Wohnsiedlung – Grundlüftung auf Basis der natürlichen Raumluftströmung

Für den Einbau einer klassischen Komfortlüftung stand bei der Erneuerung der Wohnsiedlung Paradies aus den frühen 1990-er-Jahren zu wenig Platz zur Verfügung. Vor allem die Verteilung der Zuluft hätte unverhältnismässig grosse bauliche Eingriffe erfordert. Um trotzdem eine Grundlüftung in den dicht belegten Wohnungen sicherzustellen, wird die Zuluft zentral in den Korridor eingeführt. Hierfür wurde ein vom Architekten sorgfältig gestaltetes Gitter als Zuluftdurchlass über der Türe der Nasszelle angebracht.

In die Zimmer gelangt die Zuluft durch die offenen Türen. Die natürliche Raumluftströmung sorgt dann dafür, dass die Luft in der ganzen Wohnung ähnlich gut ist. Deshalb ist es bei diesem Lüftungskonzept wichtig, dass die Türen im Betrieb mehrheitlich offenstehen. Die Abluft wird wie bei einer Komfortlüftung über Küche und Nasszellen abgeführt. Offene Fenster beeinträchtigen die Funktionsweise der Lüftung nicht. In der Küche wurde ein platzsparender Umluft-Dunstabzug installiert.

Die Aussenluft wird in zentralen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung gefiltert und erwärmt. Dadurch sind Komfort und Hygiene gewährleistet. Zudem sind die Druckverhältnisse im Gebäude ausgeglichen, und das Risiko für Geruchsübertragungen zwischen den Wohnungen ist klein.

Standort	Zürich
Baujahr/Erneuerung	1993/2017
EBF	20971 m ²
Typ Lüftung	Grundlüftung mit WRG
Steuerung /Regelung	Dauerbetrieb einstufig
WRG	Plattenwärmetauscher mit hohem Temperaturänderungsgrad
Aktive Komponenten	Lüftungsgeräte im Keller oder auf dem Dach, Konstantvolumenstromregler in den Wohnungen
Luftbehandlung	Aussenluftfilter F7, Abluftfilter G4



Bild 3.11: Über den Durchlass oberhalb der Badezimmertüre (links) gelangt die Zuluft in den Korridor. Bei konventioneller Luftführung wäre eine heruntergehängte Decke erforderlich gewesen, die das Oblicht verdeckt hätte. (Quelle: Ralph Feiner)

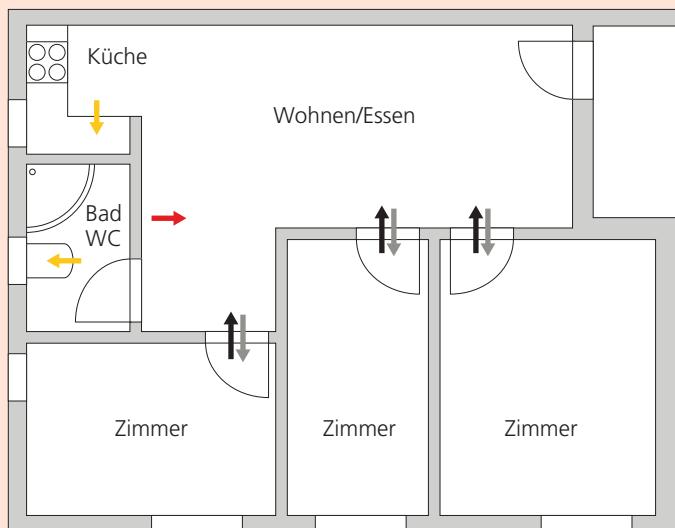


Bild 3.12: Die Zuluft wird zentral im Korridor zugeführt. Die natürliche Raumluftströmung sorgt bei offenen Türen für den notwendigen Luftwechsel in den Zimmern. Die Abluft wird in der Küche und den Nasszellen abgeführt.

3.6 Prinzip Einzelraum

Funktion

Beim Prinzip Einzelraum wird die Zuluft in jedem Raum direkt von aussen zu- und die Abluft direkt nach aussen abgeführt. Hier wird also der Korridor nicht mitbelüftet. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass durch offenstehende Türen und Personenverkehr eine ausreichende Durchströmung entsteht.

Das Prinzip Einzelraum ist in Bild 3.13 schematisch dargestellt. Anhand dieser Darstellung lässt sich gut nachvollziehen, dass dieses Prinzip sowohl bei mechanischer als auch bei natürlicher Lüftung möglich ist.

Minimaler Luftvolumenstrom

In Wohn-, Schlaf- und Arbeitszimmern wird ein minimaler Luftvolumenstrom von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ zu- und abgeführt.

Hinweise zur Steuerung/Regelung

Die grosse Stärke dieses Prinzips ist, dass die Lüftung mit geringem Aufwand raumweise nach Bedarf gesteuert oder geregelt werden kann.

Mischformen der Luftführung

Die Prinzipien der Luftführung in Wohnungen dürfen gemischt werden. Dies funktioniert nicht nur in der Theorie, sondern wird in der Praxis erstaunlich häufig umgesetzt. Ein Beispiel: In vielen neuen Wohnungen werden fensterlose Bäder und WCs mit Abluftventilatoren ausgerüstet. Die Zimmer wiederum werden über einsei-

tige Fensterlüftung belüftet. Somit haben wir es hier mit einer Kombination der Prinzipien Einzelraum und Kaskade zu tun. Ein weiteres Beispiel ist die Siedlung Glatt 1 der Stadt Zürich, bei der die Prinzipien Kaskade und Verbund kombiniert sind; Details dazu siehe Anlagenbeispiel 3.1 auf Seite 29.

3.7 Luftführung im Raum

Aus lüftungstechnischer Sicht spielt es kaum eine Rolle, ob Luft durch einen Decken- oder einen Bodendurchlass geführt wird. Praktische Überlegungen zeigen aber, dass Durchlässe mit Vorteil im oberen Raumbereich angeordnet werden – also an der Decke oder an der Wand, knapp unterhalb der Decke. Die Gründe dafür sind:

- Die Rohre müssen nicht durch Trittschall-dämmebenen geführt werden (wichtig bei MFH).
- Bauliche Anschlüsse an Wand und Decke sind günstiger zu realisieren als solche am Boden.
- Bei Bodendurchlässen kann Wasser in das Verteilnetz laufen oder Schmutz hineinfallen.
- Wand- und Deckendurchlässe kosten meistens weniger als Bodendurchlässe.

Normal induzierende Zuluftdurchlässe

Die meisten Zuluftdurchlässe arbeiten mit Ausblasgeschwindigkeiten von 1 bis 2 m/s. Die Praxis zeigt, dass sich damit im Aufenthaltsbereich tiefe Raumluftgeschwindigkeiten von unter 0,07 m/s erreichen lassen. Der Grenzwert gemäss SIA 382/1 liegt bei 0,12 m/s. Normal induzierende Durchlässe bieten einen grossen Spielraum bei der Platzierung. Die Ausblasrichtung soll jedoch nicht in den Aufenthaltsbereich zielen. Bild 3.14 zeigt die gebräuchlichsten Anordnungen.

Besonders interessant ist die Positionierung über der Zimmertür, da die Möblierung dadurch nicht beeinträchtigt wird. Sowohl mit Untersuchungen in Klimakammern als auch in der Praxis konnte gezeigt werden, dass diese Anordnung keine Kurzschlüsse verursacht, selbst wenn die darunterliegende Tür vollständig offensteht.

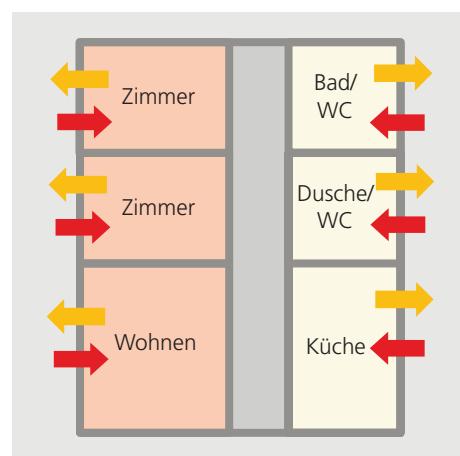


Bild 3.13: Prinzip Einzelraum.

■ Zuluft

■ Abluft ■ Raumluft/Überströmluft

Schwach induzierende Zuluftdurchlässe

Teilweise werden schwach induzierende Zuluftdurchlässe mit max. 0,2 m/s Ausblasgeschwindigkeit eingesetzt. Dabei handelt es sich aber nicht um Quelllüftungen, denn bei rund 30 m³/h Luftvolumenstrom pro Zimmer ist im Wohnbereich keine Quell- oder Verdrängungsströmung möglich. Bei schwach induzierenden Durchlässen kann sich die kühle Zuluft in der ersten halben Minute dem Boden entlang ausbreiten. In der restlichen Stunde, in der die Luft im Raum bleibt, vermischt sie sich aber mit alter und neu eintretender Raumluft. Auf Höhen, wo normalerweise eingearmet wird (0,5 bis 1,8 m über Boden), ist die Luftqualität in der Regel gleich wie bei einer Mischlüftung. Eine Ausnahme ist in Kapitel 3.9 dokumentiert.

Abluftdurchlässe

Abluftdurchlässe sollten an der Decke oder an Wänden unter der Decke platziert sein. Der Grund dafür ist, dass Geruchs- und Feuchtequellen fast immer mit Wärmequellen verbunden sind. Die warme belastete Luft steigt auf und wird von oben liegenden Durchlässen etwas effizienter abgeführt als von unten Liegenden. Dieser Effekt sollte aber nicht überbewertet werden. Die Lüftungseffizienz eines oben liegenden Durchlasses ist nur dann besser, wenn er sich nahe bei der Wärmequelle befindet. In kleinen Räumen, wie Bad und WC, trifft dies oft zu.

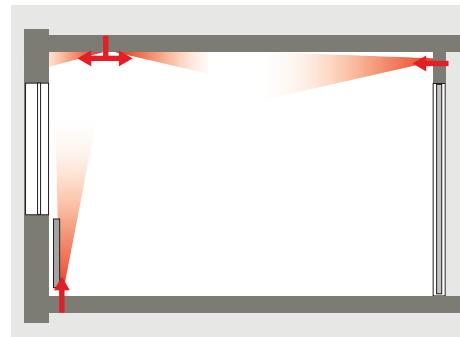


Bild 3.14: Lage von Zuluftdurchlässen – der Zuluftstrahl darf nicht in den Aufenthaltsbereich gerichtet sein.

3.8 Überströmluftdurchlässe

Überströmluftdurchlässe (ÜSLD) haben beim Prinzip Kaskade die Aufgabe, bei geschlossener Zimmertür Luft vom Zuluftraum in den Durchströmbereich beziehungsweise vom Durchströmbereich in den Abluftraum zu führen. Bild 3.15 zeigt verschiedene Lösungen. Bei der Auswahl sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Schalldämmung zwischen den Räumen darf nicht unzulässig geschwächt werden.
- Der Druckabfall eines ÜSLD soll bei Anlagen mit Zu- und Abluft höchstens 3 Pa betragen. Bei Abluftanlagen mit ALD wird 1 Pa angestrebt.
- Die austretende Luft darf keine Zugescheinungen verursachen (gilt nicht für den Korridor – er zählt nicht zum Aufenthaltsbereich)
- Wie jede andere Lüftungskomponente müssen ÜSLD kontrolliert und bei Bedarf gereinigt werden können.

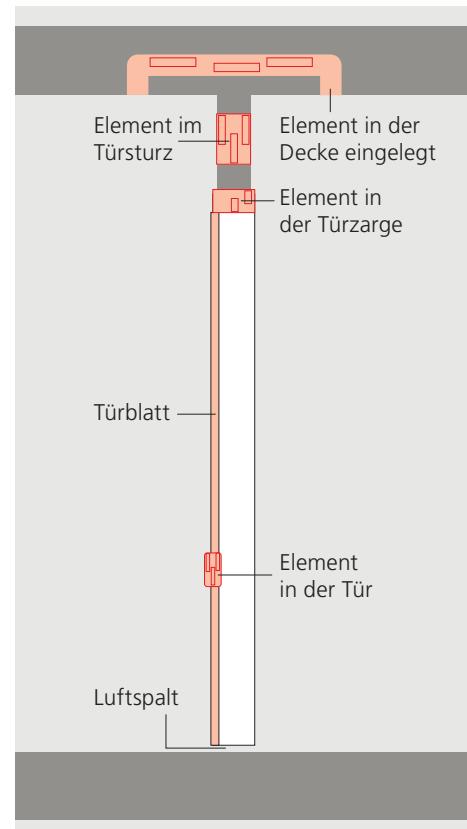


Bild 3.15: Varianten von Überströmluftdurchlässen.

Anlagenbeispiel 3.3: Erneuerung Mehrfamilienhaus – Einzelraumlüftung

Die Gebäudehülle des Mehrfamilienhauses aus den 1970-er-Jahren wurde umfassend saniert, sodass sie fast den Neubauanforderungen entspricht. Zudem wurden die alte Heizung und die Wassererwärmung durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt.

In den Wohnungen selbst waren keine baulichen Eingriffe geplant. Bei den Grundrissen der 2- und 3-Zimmer-Wohnungen wäre der Einbau einer zentralen Lüftungsanlage relativ aufwendig gewesen. Deshalb empfahl sich der Einbau von Einzelraumlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung in den Wohn- und Schlafzimmern. Dass gleichzeitig auch die Fenster ersetzt wurden, vereinfachte die Installation deutlich. Die Geräte liessen sich in der Rahmenverbreiterung der neuen Fenster integrieren. Die Bäder erhielten bedarfsgesteuerte Abluftventilatoren.

Hinweis: Wenn die Abluftventilatoren laufen, strömt ein Grossteil der Ersatzluft durch die Einzelraumlüftungsgeräte nach. Das reduziert den Nutzen der Wärmerückgewinnung und muss bei der Energiebedarfsberechnung (siehe 9.4) berücksichtigt werden.

Standort	Pregassona
Baujahr/Erneuerung	1968 – 1975/2017
EBF	567 m ²
Typ Lüftung	Einzelraumlüftungsgeräte mit WRG und Abluftventilatoren in Bad/WC
Steuerung /Regelung	Raumweise Bedarfssteuerung
WRG	Bei reinem Betrieb der Einzelraumlüftungsgeräte ca. 80 %, bei zusätzlichem Betrieb der Abluftventilatoren ca. 50 % (Jahresmittel ca. 70 %)
Aktive Komponenten	Verbundlüfter für ein Zimmer
Luftbehandlung (Filter)	Aussenluftfilter F7, Abluftfilter G4



Bild 3.16: Die Einzelraumlüftungsgeräte liessen sich ohne grösseren Aufwand in den Rahmenverbreiterungen der Fenster unterbringen. (Quelle: Ventoswiss AG)

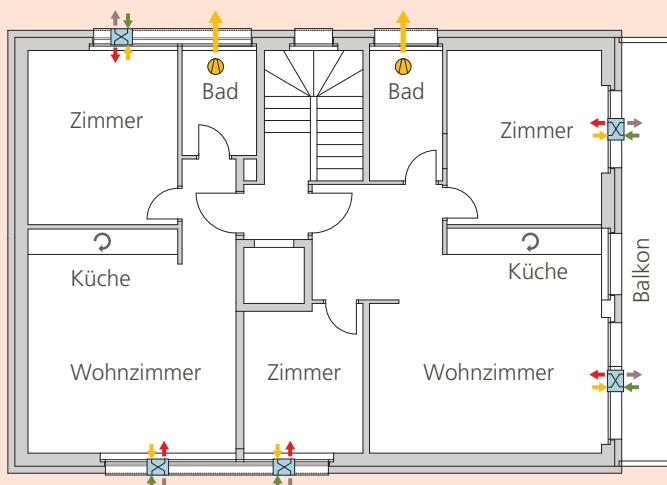


Bild 3.17: Einzelraumlüftungsgeräte sorgen in den Zimmern für den Luftaustausch. In den Bädern führen bedarfsgeregelte Ventilatoren die Abluft ab.

Freier Luftspalt unter der Tür

Die kostengünstigste Lösung für Überströmdurchlässe besteht darin, einen freien Luftspalt unter der Tür zu schaffen. Dabei sind aber folgende Punkte zu beachten:

- Die Bewohner/-innen müssen instruiert werden, dass in der Türöffnung kein Teppich liegen darf.
- Die Verringerung des Schalldämmmasses muss akzeptiert werden.
- Der abgeschwächte Lichtschutz muss akzeptiert werden.

SIA 382/5 empfiehlt, andere ÜSLD zu wählen, wenn eine Spalthöhe wegen des Druckverlusts grösser als 10 mm sein müsste. Bei üblichen Türen beträgt die Spalthöhe (auch Unterschnitt genannt) 7 mm. Wenn mit diesem Mass gearbeitet wird, sind keine speziellen Türen erforderlich. Allerdings müssen mit dem Türlieferanten die Toleranzen festgelegt werden. Diese sollten im Bereich von ± 1 mm liegen.

Die Abschwächung des Schalldämmmasses von Türen durch einen Luftspalt kann mit Bild 3.18 abgeschätzt werden. Bei einfachen Türen mit einem Schalldämmmass bis zu ca. 20 dB und einer Spalthöhe bis zu 7 mm ist die Schwächung kaum wahrnehmbar. Zudem sind nachts die Schlafzimmertüren in der Regel geschlossen, wo durch der Schall zwischen den Zimmern dann durch zwei ÜSLD in Serie gedämmt wird. Meist ist die Schallübertragung durch die Zimmertrennwände grösser als durch die ÜSLD. Bei hohen Ansprüchen und speziellen Räumen, wie Musikzimmern oder Therapieräumen, wird die Schwächung allerding kaum akzeptiert. In diesen Fällen sind schallgedämmte ÜSLD erforderlich. Bild 3.19 zeigt den Druckverlust durch einen freien Luftspalt unter einer 0,9 m breiten Tür. Bei anderen Türbreiten wird der Luftvolumenstrom auf einen Meter Spaltlänge umgerechnet. Dazu wird die obere Skala verwendet.

Absenkabdichtung mit Luftdurchlass

Auf dem Markt sind speziell konstruierte Absenkabdichtungen erhältlich, die einen Luftvolumenstrom von ca. 30 m³/h bei 3 Pa Druckabfall durchlassen. Bei akustisch hochwertigen Türen ($R_w > 30$ dB) kann damit das Schalldämmmass je nach Typ gegenüber einem Luftspalt um bis zu 4 dB verbessert werden. Bei akustisch mittelmässigen Türen ($R_w > 20$ dB) ist die Verbesserung allerding nicht wahrnehmbar.

Standardprodukte

Verschiedene Lieferanten bieten ÜSLD an, die sowohl in der Tür, über der Tür als auch in eine Wand eingebaut werden können. Bei der Evaluation solcher Produkte soll geprüft werden, wie der Lieferant das Schalldämmmass spezifiziert. Die Definition von R_w bezieht sich auf die Ansichtsfläche. Teilweise wird auch die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz kleiner Bauteile, der sogenannte $D_{n,e,w}$ -Wert, verwendet. Es sollte verglichen werden, ob der ÜSLD spürbar weniger Schall durchlässt als ein Luftspalt unter der Tür. Bei $D_{n,e,w}$ -Werten unter 33 dB oder R_w -Werten unter ca. 10 dB ist dies nicht der Fall. Damit die Schalldämmung wegen des Überströmdurchlasses um nicht mehr als etwa 1 dB geschwächt wird, sollte dessen $D_{n,e,w}$ -Wert rund 15 dB höher sein als der R_w -Wert der Zimmertür.



Bild 3.18: Schalldämmmass einer Tür mit Luftspalt in Abhängigkeit vom Schalldämmmass ohne Luftspalt.

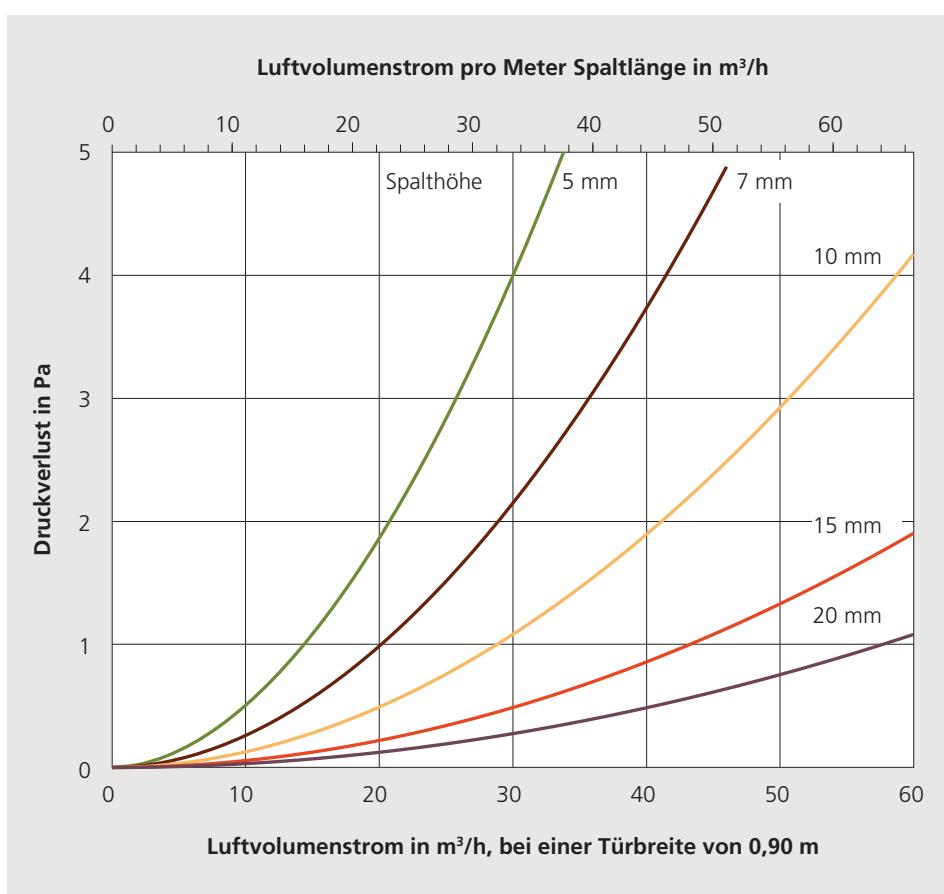


Bild 3.19: Druckverlust von verschiedenen Spalthöhen bei 0,90 m Türbreite (untere Skala) respektive Luftvolumenstrom pro Meter Spaltlänge (obere Skala).

3.9 Grenzen der Mischlüftung

Raumluftströmung

Das folgende Beispiel eines Schlafzimmers illustriert, dass die Mischlüftung unter speziellen Voraussetzungen nur bedingt funktioniert. Hier wird die Zuluft am Boden zugeführt. Die Abluft strömt durch einen Luftspalt unter der Tür in den Korridor. Bei dieser Ausgangslage (Bild 3.20 links) wurde über dem Bett eine deutlich höhere CO_2 -Konzentration gemessen als beim Überströmluftdurchlass. Die Zuluft strömte dabei mit ca. 0,5 m/s in den Raum. Aus den Messwerten lässt sich schliessen, dass ca. 30 % der zugeführten Luftmenge als Kurzschluss zum ÜSLD strömte.

In einem einfachen Versuch konnte die Situation deutlich verbessert werden, indem die Eintrittsgeschwindigkeit durch partielles Abdecken des Zuluftdurchlasses auf ca. 1 m/s erhöht wurde. Die Zuluftmenge blieb dabei unverändert, aber der Zuluftstrahl wurde höher in den Raum geblasen. Als Folge sank die CO_2 -Konzentration im Aufenthaltsbereich von ca. 1500 ppm auf 1300 ppm. Der Kurzschlussstrom konnte somit halbiert werden.

Das Hauptproblem war also die tiefe Eintrittsgeschwindigkeit. Eine Rolle spielte auch, dass die Personen auf etwa 0,6 m Höhe lagen. Die Luftumwälzung durch die Körperwärme fand erst ab der Höhe des Bettes statt. Zudem wurde die Untersuchung in der Übergangszeit bei ausgeschalteter Bodenheizung durchgeführt. Bei eingeschalteter Heizung wäre schon bei der ersten Messung eine gute Mischung zu erwarten gewesen.

Mit der einfachen Massnahme konnte die geforderte Raumluftqualität erreicht wer-

den. Für eine optimale Lösung müsste aber die Eintrittsgeschwindigkeit auf ca. 1,5 m/s erhöht werden. Alternativ könnte der ÜSLD über der Zimmertür platziert werden. Die Lehren aus dem Beispiel sind:

- Bei Bodenauslässen und einem ÜSLD am Boden soll die Eintrittsgeschwindigkeit bei mindestens 1,5 m/s liegen.
- Falls eine tiefe Eintrittsgeschwindigkeit gewünscht wird (sogenannter Quellluftdurchlass), soll in Schlafzimmern der ÜSLD mindestens auf 2 m Höhe platziert werden.
- Am besten wird der Zuluftdurchlass im oberen Raumbereich, beispielsweise über der Tür, platziert. Dann stellt sich unabhängig von der Position des ÜSLD eine gute Mischlüftung ein.

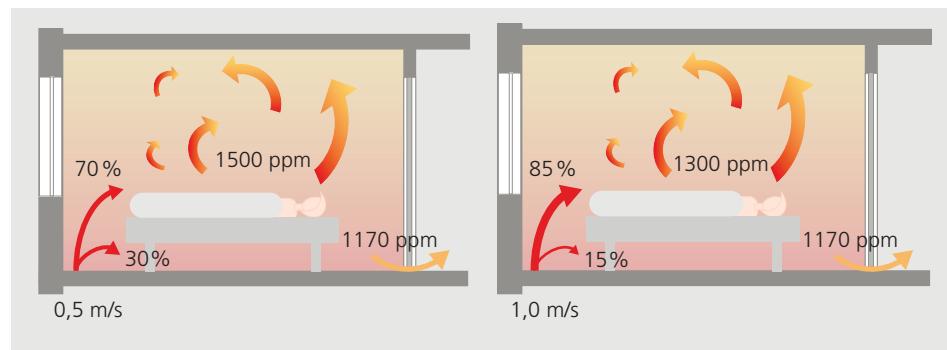
Positionieren von Überströmluftdurchlässen

Laboruntersuchungen und Simulationen [3] haben gezeigt, dass ein gewisser Kurzschluss entstehen kann, wenn die ÜSLD eines Zuluftraums und eines Abluftraums in kurzer Entfernung gegenüberliegen. Die Luft im Durchströmbereich kann dann allenfalls eine geringfügig höhere CO_2 -Konzentration aufweisen als im Abluftraum. Bild 3.21 zeigt eine solche Geometrie mit Kurzschlusspotenzial.

Diese Situation ist aber unkritisch, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die Tür von mindestens einem Zuluftraum steht offen. Dies entspricht einer typischen Tag-Situation.
- Alle Personen befinden sich in den Zulufträumen. Dies entspricht einer typischen Nachtsituation.

Bild 3.20: Raumluftströmung und CO_2 -Konzentration in einem Schlafzimmer mit Zuluftdurchlass am Boden: links mit tiefer Zuluftgeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s, rechts mit mittlerer Zuluftgeschwindigkeit von ca. 1 m/s.



- Bei mindestens einem Türpaar beträgt der Versatz a gemäss Bild 3.21 mindestens 1,5 m.
- Bei mindestens einem Türpaar ist die Entfernung b gemäss Bild 3.21 grösser als 3 m.

Falls das Problem überhaupt auftritt, kann es durch eine einfache betriebliche Massnahme gelöst werden, nämlich durch Öffnen einer Zimmertür. Wird bei ungünstigen geometrischen Voraussetzungen verlangt, dass tagsüber alle Zimmertüren geschlossen sein müssen, kann das Problem gelöst werden, indem der ÜSLD bei den einen Türen (z. B. Zulufträumen) im oberen Bereich angeordnet ist und bei den anderen im unteren Bereich.

3.10 Minimale Abluftvolumenströme

Die minimalen Volumenströme, die aus Ablufträumen abgeführt werden müssen, hängen vom Betriebsmodus ab. Bei Anlagen mit Dauerbetrieb wird davon ausgegangen, dass die Lüftungsanlage ganztägig oder mindestens bei Anwesenheit von Personen eingeschaltet ist. Damit wird in Zulufträumen sowie Durchström- respektive Verbundbereichen für gute Raumluftqualität gesorgt.

Bei bedarfsgesteuertem Ein/Aus-Betrieb wird die Abluftanlage nur dann eingeschaltet, wenn ein Abluftraum genutzt wird, respektive, wenn Luftbelastungen im Abluftraum entstehen. Dies ist bei klassischen Bad- oder WC-Abluftventilatoren der Fall. Die SIA 382/5 gibt minimale Abluftvolumenströme gemäss Tabelle 3.2 vor.

Hinweis zum bedarfsgesteuerten Abluftvolumenstrom

Neben einer mechanischen Abluft kommt für den bedarfsgesteuerten Luftsatz grundsätzlich auch eine Fensterlüftung in Frage. Dabei gilt es aber Folgendes zu bedenken: Gerade in Bädern und WCs ist das Risiko gross, dass bei fehlender mechanischer Abluft die Fenster den ganzen Tag auf Kippstellung offenstehen.

Der Minergie-Standard verlangt in allen Ablufträumen eine selbsttätige Entlüftung. In der Regel wird das durch eine mechanische Abluft gelöst – es kommt aber auch eine automatische Fensterlüftung in Frage.

Hinweise zu Küchen

Bei Küchen im Durchströmbereich (beim Prinzip Kaskade) oder im Zuluftbereich (beim Prinzip Verbund) verlangt die SIA 382/5 keine Raumabluft. Mit den Werten in Tabelle 3.2 ist nicht die Kochstellenentlüftung (Dunstabzugaube) gemeint, sondern die Entlüftung des Raums. Sie kann über die Kochstellenentlüftung gelöst werden, aber auch unabhängig von ihr.

Bei geschlossenen Küchen mit Umluft-Dunstabzugauben muss also eine Raum-

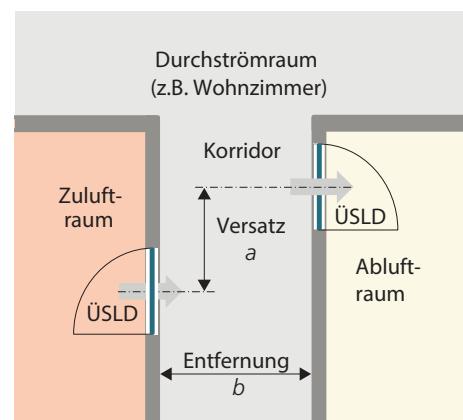


Bild 3.21: Kurzschlussichere Anordnung von Überström-Luftdurchlässen.

Raum	Minimaler Abluftvolumenstrom	
	Dauerbetrieb	bedarfsgesteuert Ein/Aus
Küche, nicht im Durchström- oder Zuluftbereich	20 m ³ /h	30 m ³ /h
Bad oder Dusche, mit oder ohne WC	30 m ³ /h	50 m ³ /h
Separates WC	15 m ³ /h	25 m ³ /h
Räume mit kurzzeitiger Nutzung (ca. 2 h pro Tag)	10 m ³ /h	15 m ³ /h
Gesamte Wohneinheit	50 m ³ /h	–

Tabelle 3.2: Minimale Abluftvolumenströme gemäss SIA 382/5.

abluft vorhanden sein. Neben einer mechanischen Abluft kommt auch hier ein Fenster infrage. Weiteres zur Kochstellenabluft folgt in Kapitel 10.1.

Hinweise zu Räumen mit kurzzeitiger Nutzung

Die SIA 382/5 definiert nicht, was genau unter Räumen mit kurzzeitiger Nutzung zu verstehen ist. Infrage kommen Nebenräume und untergeordnete Räume, sofern sie tatsächlich rund 2 h pro Tag genutzt werden. Es können aber auch andere Räume wie Ankleiden sein. Hier besteht also Interpretationsspielraum.

3.11 Literatur

- [1] Barp, Stefan; Fraefel, Rudolf; Huber, Heinrich: Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen. Zürich: R. Fraefel, dipl. Arch. ETH SIA/ AFC Air Flow Consulting AG, 2009
- [2] Primas, Alex; Moser, Marie-Teres; Zakovorotnyi, Andrii: Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte. Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Rojas, Gabriel; Pfluger, Rainer; Feist, Wolfgang: Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. In: Energy and Buildings (2015), Vol. 100, S. 27–33

Lüftungssysteme

4.1 Natürliche Lüftung

Die natürliche Lüftung funktioniert mit Druckdifferenzen, die aus Temperaturunterschieden und Wind entstehen. Im Schweizer Mittelland sind die natürlichen Druckdifferenzen klein (meist unter 10 Pa) und zeitlich sehr variabel. Hier gibt es keine einfachen Rezepte, wie mit einer natürlichen Lüftung eine ausreichende Luftzufuhr erreicht werden kann. An windexperten Lagen hingegen lassen sich Konzepte mit natürlicher Lüftung planen. Natürliche Lüftungen bieten im Vergleich zu mechanischen Lüftungen einen kleinen Nutzen:

- Bei geöffneten Lüftungselementen ist das Dämmmass gegen Aussenlärm geringer.
- Die Zulufttemperatur entspricht im Winter der Aussenlufttemperatur und kann den thermischen Komfort beeinträchtigen.
- An besonnten Fassaden kann die Zulufttemperatur im Sommer deutlich über der Aussenlufttemperatur liegen und zusätzliche Wärmelasten verursachen.
- Die Ersatzluft kann nicht gefiltert werden, deshalb gelangen Schadstoffe und Feinstaub direkt in die Räume.
- Die Lufterneuerung hängt stark von Wind und Aussentemperatur ab.
- Es ist keine Wärmerückgewinnung möglich.
- Eine Lüftungseinrichtung, die gut funktionieren soll, muss gewartet werden. Dies gilt auch für Systeme mit natürlicher Lüftung.

Einsatzgrenzen

Gemäss SIA 382/1:2014 wird eine natürliche Lüftung unter folgenden Bedingungen als ungeeignet eingestuft:

- Bei zu hoher Aussenlärmbelastung. Dies trifft dann zu, wenn der Beurteilungspegel gemäss der Lärmschutzverordnung (LSV) am Tag über 55 dB(A) und nachts über 45 dB(A) liegt.
- Wenn die Aussenluft stark mit Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM2.5 und

PM10) belastet ist. Dies ist dann der Fall, wenn einer der Immissionsgrenzwerte der Eidgenössischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für NO_2 oder PM10 um mehr als 50 % überschritten ist (s. Kapitel 1.4)

- Wenn innenliegende Bäder, Duschen, WCs und andere Räume mit regelmässiger Nutzung oder Feuchteanfall mechanisch entlüftet werden müssen.

Manuelle Fensterlüftung

Bei der manuellen Fensterlüftung wird unterschieden zwischen der einseitigen Lüftung und der Querlüftung. Bei der Querlüftung ist meist der Wind die massgebende Antriebskraft. Die einseitige Lüftung funktioniert aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen.

Vorteile

- Geringe Investitionen
- Tiefe Unterhaltskosten
- Durch die grossen offenen Flächen entsteht selbst bei geringsten Druckdifferenzen ein hoher Luftaustausch.
- Es besteht ein geringes Risiko für eine Verschmutzung der luftberührenden Teile.

Nachteile

Gleiche Nachteile wie die natürliche Lüftung im Allgemeinen hat, plus zusätzlich:

- Der Einbruchsschutz ist bei offenen Fenstern geschwächt.
- Der Witterungsschutz ist bei offenen Fenstern beeinträchtigt.
- Das Benutzerverhalten ist entscheidend für Raumluftqualität und -feuchte, den Feuchteschutz sowie die Lüftungswärmeverluste.
- Der übliche Intervallbetrieb führt zu zeitlich ungleichmässiger Raumluftqualität.

Automatische Fensterlüftung

Fensterflügel, insbesondere Kippfenster, können mit elektrischen Antrieben ausgerüstet werden. Sie lassen sich nach Zeit, Temperatur und Luftqualität steuern. Bei automatisiertem Betrieb mit Witterungs-

überwachung eignen sich Fensterantriebe gut für die Nachtauskühlung.

Automatische Fensterlüftungen brauchen zwingend Szenarien für den Stromausfall: Was passiert beispielsweise bei einem Gewitter? Je nach Antriebs- und Verriegelungsprinzip kann zudem eine hohe Schliesskraft entstehen. Es muss dafür gesorgt werden, dass dadurch keine Verletzungsgefahr entsteht.

In Wohn- und Schlafzimmern wird die automatische Fensterlüftung nur selten eingesetzt. Ein Grund sind die Geräusche, die selbst bei langsam laufenden und geräuscharmen Antrieben hörbar sind. Zudem können beim Öffnen Knackgeräusche entstehen. Weiter verändert sich beim Öffnen und Schliessen sofort die Schalldämmung gegen aussen.

Fensterlüfter

Unter Fensterlüftern werden separate Lüftungselemente verstanden, die konstruktiv im Bereich von Fenstern angeordnet



Bild 4.1: Beispiel für eine automatische Fensterlüftung. Die Flügel werden mit Hilfe von elektrischen Antrieben geöffnet und geschlossen. (Quelle: Geze GmbH)

sind. Ihre Lüftungsfunktion hängt also nicht von der Stellung des Fensters ab. Eine Untersuchung der FHNW [1] kommt zum Schluss, dass Fensterlüfter in Schwachwindgebieten wie dem schweizerischen Mittelland, den hygienisch erforderlichen Luftwechsel nicht garantieren können. Selbst der für den Feuchteschutz minimal erforderliche Luftwechsel lässt sich mit Fensterlüftern alleine in stark überbauten Gebieten und/oder Wohnungen in Bodennähe (Erdgeschoss bis ca. 2. OG) oft nicht erreichen. Wenn gleichzeitig Abluftventilatoren in Bad und Küche vorhanden sind, ist eine ausreichende Feuchteschutzlüftung hingegen möglich. Die Fensterlüfter übernehmen dabei die Funktion von Außenluft-Durchlässen für die Abluftventilatoren.

Für die Planung und Dimensionierung von Fensterlüftern sollen spezialisierte Fachpersonen hinzugezogen werden. Die folgenden Punkte sind als konzeptionelle Hinweise zu verstehen, sie ersetzen aber keine fachgerechte Planung.

- Eine Querlüftung muss möglich sein.
- Zwischen den Zimmern und dem Korridor müssen Überströmöffnungen vorhanden sein (vgl. Kapitel 3.8). Tagsüber müssen die Zimmertüren offenstehen.
- Pro Raum ist mindestens ein Fensterlüfter erforderlich.
- Fensterlüfter schwächen den Schallschutz gegen aussen.
- Fensterlüfter werden mit Staub von Außen- und Innenluft belastet. Deshalb sollen sie ein- bis zweimal jährlich inspiziert und bei Bedarf gereinigt werden. Die meisten Produkte eignen sich aber nicht für eine Reinigung durch Laien. Daher muss bereits in der Konzeptphase definiert werden, wie die Instandhaltung organisiert sein soll.
- Produkte mit offenporigen Auskleidungen (für die Schalldämmung) sollen aus Hygienegründen nicht eingesetzt werden.

4.2 Abluftanlage

Funktion der Abluftanlage

Bei Abluftanlagen wird nur die Abluft mechanisch gefördert. Die Außenluft strömt durch den entstehenden Unterdruck nach. Damit solche Anlagen korrekt funktionieren, sind definierte Nachströmeinrichtungen erforderlich. Bei Abluftanlagen, die für Dauerbetrieb konzipiert sind, werden Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) eingesetzt. Bei kurzen Betriebszeiten und Ein/Aus-Betrieb (z.B. bei der WC-Abluft), kommen auch andere Lösungen infrage. Denkbar sind automatisierte oder überwachte Lüftungsöffnungen, beispielsweise ein automatischer Fensterantrieb. Mit Abluftwärmepumpen (Abluft-WP) kann die in der Abluft enthaltene Wärme zum Bereiten des Warmwassers genutzt werden, teilweise auch zur Heizungsunterstützung. Die Vollzughilfe EN 105 [3] der MuKE 2014 verlangt eine Abwärmenutzung (AWN), wenn der Abluftvolumenstrom grösser als $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ ist und die Betriebsdauer mehr als 500 h/a erreicht. Dabei gelten mehrere getrennte Abluftanlagen im selben Gebäude als eine Anlage. Wenn eine Abluftanlage mit wohnungsweiser oder raumweiser Bedarfsregelung anhand der CO_2 -Konzentration oder der Feuchte ausgestattet ist, kann auf die AWN verzichtet werden. Bei grossen MFH (ab ca. 10 Wohnungen) mit Abluftanlagen im Dauerbetrieb ist also in der Regel eine Abluft-WP erforderlich.

Die Dimensionierung von Abluftanlagen wird in Kapitel 7 behandelt. Bild 4.2 zeigt das Prinzip von Abluftanlagen. Die Bedeutung der Symbole finden Sie in Anhang 13.2.

Prinzipien der Luftführung

Bei Abluftanlagen steht das Kaskadenprinzip im Vordergrund. Weil die ALD dabei in den Zimmern platziert werden, kann damit die ganze Wohnung durchströmt werden.

Das Verbundprinzip ist theoretisch möglich. Würde aber in einer Wohnung nur ein einziger grosser ALD (z.B. für $100 \text{ m}^3/\text{h}$) eingesetzt, liessen sich im Raum, in dem

der ALD platziert ist, die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit kaum mehr einhalten.

Das Einzelraumprinzip ist theoretisch ebenfalls möglich. Es ist aber in Wohnungen ökonomisch wenig sinnvoll, da jedes Zimmer sowohl mit einem ALD als auch einem Abluftventilator ausgerüstet werden müsste.

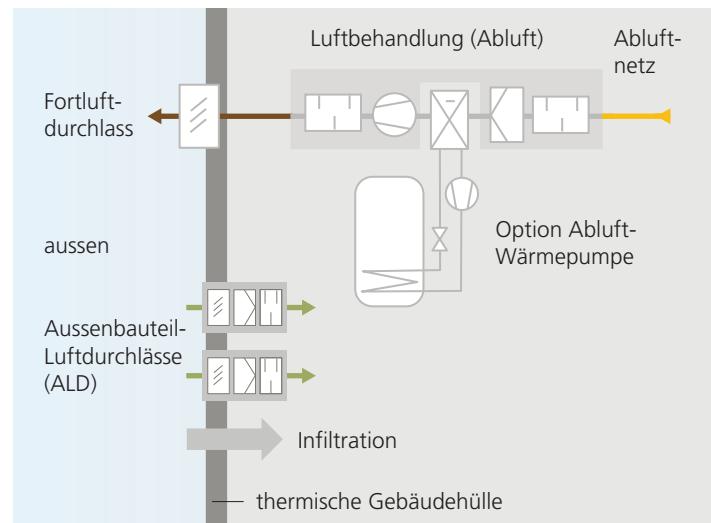
Vorteile

- Der Platzbedarf für die Lüftungsinstallationen ist klein. Dies macht das System für Erneuerungen attraktiv.
- Die Investitionen sind tiefer als bei anderen mechanischen Lüftungen – die Betriebskosten aber nicht.
- Der Energieverbrauch für die Luftförderung ist kleiner als bei einfachen Lüftungsanlagen.
- In den Ablufträumen werden Feuchte und Gerüche zuverlässig abtransportiert.
- Verglichen mit einer natürlichen Lüftung wird eine gleichmässigere und in der Regel bessere Raumluftqualität erreicht. Bei Befragungen im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten war die Zufriedenheit mit der Raumluftqualität meistens gut.

Nachteile

- Der Unterdruck führt selbst bei sehr dichten Gebäuden dazu, dass Luft nicht nur via den ALD, sondern auch durch Ritzen und Fugen von aussen, durch undichte Installationszonen oder vom Treppenhaus in die

Bild 4.2: Abluftanlage mit Außenbauteil-Luftdurchlässen.



Wohnung gelangt. Diese Volumenströme erhöhen den Energieverbrauch, ohne dass eine Verbesserung der Raumluftqualität resultiert. Zudem können sie Gerüche zwischen Wohnungen übertragen.

■ Die Bewohner müssen informiert und instruiert werden, dass das System bei offenen Fenstern nicht mehr funktioniert. Dann strömt die Aussenluft nach dem Prinzip des geringsten Widerstandes vorwiegend über das offene Fenster nach. Bei kurzen Öffnungszeiten ist dies unproblematisch. Wenn aber in einem Zimmer mit offenem Fenster geschlafen wird, werden all jene Zimmer nicht mit frischer Luft versorgt, bei denen die Fenster geschlossen bleiben.

■ Kontrolle und Wartung der ALD müssen sichergestellt werden. Die Untersuchung [2] hat gezeigt, dass die Filter in jedem Zimmer zwei- bis viermal jährlich ersetzt werden müssen, damit die geplante Luftzufuhr gewährleistet ist. Zudem müssen mindestens einmal jährlich die für Verschmutzung empfindlichen Teile wie Aussenluft- und Fliegenschutzgitter gereinigt werden. Dies gilt es besonders bei Mietwohnungen bereits bei der Projektierung zu berücksichtigen (Zugang, Kosten). Auf jeden Fall kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Wartungsarbeiten von den Mietern erledigt werden.

■ Es ist keine Wärmerückgewinnung möglich.

■ Die Abwärmenutzung über eine Abluft-WP hat ein schlechteres Verhältnis von zurückgewonnener Wärme zu Elektrizitätsverbrauch als eine Wärmerückgewinnung.

■ Es ist keine Feuchterückgewinnung möglich.

■ Die Lage der ALD ist kaum wählbar. Das bedeutet, dass die Aussenluft eventuell auf einer Strassenseite angesaugt wird. Bei ALD an besonnten Fassaden kann im Sommer stark erwärmte Luft in die Wohnung gelangen.

Einsatzgrenzen

■ Es darf kein Risiko für eine erhöhte Radonkonzentration bestehen, wenn im Gebäude ein Unterdruck erzeugt wird (weitere Hinweise Kapitel 1.4).

■ Das geforderte Schalldämmmass gegen aussen darf durch ALD nicht geschwächt werden.

■ Bei hoher Staubbelastung der Aussenluft ist die Filterklasse ISO ePM1 50 % erforderlich (vgl. Kapitel 9.1). Die SIA 382/5 verlangt auch sonst mindestens ISO ePM10 50 %. Viele auf dem Markt angebotene ALD haben keine Filter oder nur einfache Grobfilter (Klasse Coarse).

■ Das Gebäude muss eine hohe Luftdichtheit aufweisen. Wenn der Zielwert der SIA 180 nicht erreicht wird, ist eine Abluftanlage sowohl von der Funktion als auch vom Energieverbrauch her fragwürdig (vgl. Kapitel 2.10).

■ Es sollen nicht mehr als zwei Geschosse luftseitig miteinander verbunden sein. Bei mehr Geschossen sind luftdichte Trenntüren zwischen den Geschossen erforderlich.

■ Die Kombinationen mit Feuerstätten in der Wohnung (z. B. Cheminée) ist heikel (s. Kapitel 10.2).

■ Starker Wind kann die Funktion der Anlage stören. Deshalb sollen Abluftanlagen nicht an stark windexponierten Orten eingesetzt werden.

■ Die Überströmdurchlässe (s. Kapitel 3.8) dürfen max. 1 Pa Druckabfall verursachen. Dadurch wird es anspruchsvoll, eine hohes Schalldämmmass zwischen den Räumen zu erreichen. Das heisst: Hohe Ansprüche an den wohnungsinternen Schallschutz lassen sich damit nur schwer erfüllen.

Der thermische Komfort hängt stark von der Konstruktion und Position des ALD ab. Werden qualitativ hochwertige Produkte eingesetzt und die Lieferantenvorgaben eingehalten, können die in Normen geforderten Komfortanforderungen aber eingehalten werden. Tendenziell gibt es bei Abluftanlagen mit ALD trotzdem mehr Reklamationen wegen Zugluft als bei Komfortlüftungen.

Die tiefe Lufteintrittstemperatur von Abluftanlagen wirkt sich auf die Dimensionierung der Raumheizung aus. Werden einem Zimmer beispielsweise 30 m³/h Luft von aussen zugeführt, sind bei -10°C Ausentemperatur alleine für die Erwärmung der Zuluft 290 W Heizleistung erforder-

lich. Bei einer Komfortlüftung sind es unter denselben Bedingungen dank der Wärmerückgewinnung nur rund 70 W. Für ein Zimmer mit 15 m² heisst das: Mit einer Abluftanlage muss die Fußbodenheizung eine um 5 W/m² grössere spezifische Leistung liefern als bei einer Komfortlüftung. Soll die Vorlauftemperatur gleichbleiben, muss der Rohrabstand verkleinert werden. Soll der Rohrabstand gleichbleiben, muss die Vorlauftemperatur um etwa 5 K erhöht werden. Letzteres führt bei Wärmepumpenheizungen zu einer rund 15 % tieferen Arbeitszahl. Bei Eckräumen und/oder einem hohen Fensterflächenanteil lässt sich mit einer Abluftanlage eventuell die gesetzlich geforderte Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung von max. 35°C nicht mehr einhalten.

In der Projektierung und im Betrieb sind Abluftanlagen oft anspruchsvoller als Komfortlüftungen. Deshalb sollte für die Projektierung ein bezahltes Mandat erteilt werden. Die Planenden müssen bei der Auswahl aller Komponenten miteinbezogen werden. Wie bei anderen Lüftungsanlagen müssen auch hier die Luftvolumenströme einreguliert und kontrolliert werden.

4.3 Einfache Lüftungsanlage (Komfortlüftung)

Funktion

Bei der bei einfachen Lüftungsanlagen oder Komfortlüftung werden Zuluft und Abluft durch Ventilatoren mechanisch gefördert. Eine Wärmerückgewinnung (WRG) überträgt Wärme von der Abluft auf die Zuluft. Beim Eintritt ins Lüftungsgerät wird die Luft sowohl auf der Außenluftseite als auch auf der Abluftseite gefiltert. Dies schützt das Lüftungsgerät und die in Strömungsrichtung liegenden Anlageteile vor Verschmutzung. Auf der Zuluftseite wird auch der Eintrag von Staub in die Wohnung reduziert.

Bild 4.3 zeigt das Prinzip der Komfortlüftung. Die Dimensionierung solcher Anlagen wird im Kapitel 6 behandelt.

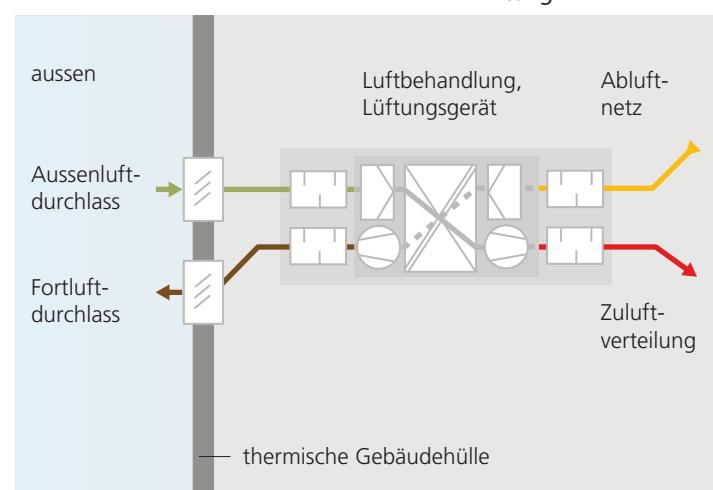
Komfortlüftung und Luftführung

Die Komfortlüftung eignet sich sowohl für das Kaskaden- als auch für das Verbundprinzip sehr gut. Theoretisch ist auch das Einzelraumprinzip möglich. Ökonomisch ist diese Lösung aber nicht interessant, da in jedem Raum sowohl Zuluft- als auch Abluftdurchlässe installiert werden müssten.

Vorteile

- Die Lufterneuerung ist zuverlässig und unabhängig von Witterungseinflüssen.
- Die Luftverteilung in der Wohnung wird durch allenfalls vorhandene Leckagen in der Gebäudehülle und das Benutzerverhalten (Öffnen von Fenstern) kaum beeinflusst.
- Wirksame Filter sorgen auch bei hoher Außenluftbelastung mit Feinstaub oder Pollen für eine gute Zuluftqualität.
- Die Zuluftdurchlässe können an beliebigen Stellen im Raum platziert werden.
- Der Schallschutz gegenüber aussen ist besser als bei allen anderen Systemen.
- Mit einer guten Wärmerückgewinnung und einer dichten Gebäudehülle sind die Lüftungswärmeverluste kleiner als bei allen anderen Systemen. Zudem ist durch die nur geringe Untertemperatur der Zuluft der thermische Komfort besser als bei den anderen Systemen.
- Mit einer Feuchterückgewinnung kann im Winter die Raumluftfeuchte erhöht werden.
- Die Filter werden zentral gewartet (und nicht in jedem Raum).

Bild 4.3: Einfache Lüftungsanlage respektive Komfortlüftung.



Die Lage der Außenluftfassung ist wählbar – im Gegensatz zur Fensterlüftung, zu Abluftanlagen und Einzelraumlüftungsgeräten.

Nachteile

- Der Energiebedarf für die Luftförderung ist höher als bei den anderen Systemen.
- Der Raumbedarf für die Lüftungsinstallationen und die Investitionen sind höher als bei der Fensterlüftung und bei Abluftanlagen. Im Rahmen von Erneuerungen sind sie vielleicht auch höher als bei Einzelraumlüftungsgeräten.
- Die Luftverteilung, besonders die der Zuluft, muss bereits in einer frühen Planungsphase berücksichtigt werden.

Lüftung mit Heizfunktion

Bei vielen EFH im Passivhaus-Standard hat die Lüftungsanlage auch eine Heizfunktion (Luftheizung). Dabei werden Lüftung, Heizung und Wassererwärmung oft durch ein Multifunktionsgerät sichergestellt (s. Kapitel 9.10). Planung und Ausführung solcher Anlagen sind sehr anspruchsvoll. Es wird unbedingt empfohlen, hierfür Fachleute mit entsprechender Ausbildung und Erfahrung beizuziehen.

Gemäß SIA 382/5 sollen Lüftungsanlagen nur dann zur Raumheizung eingesetzt werden, wenn sich dadurch der Außenluft-Volumenstrom nicht über den hygienisch notwendigen Wert im Normallüftungsbetrieb erhöht. Damit lassen sich maximal rund 10 W pro m² Energiebezugsfläche an Heizleistung abdecken.

Beim Prinzip Kaskade muss wegen der Raumheizung auch im Durchströmbereich warme Zuluft zugeführt werden. Das Prinzip Verbund kommt hier nicht infrage.

Während des Heizbetriebs ist eine Bedarfsteuerung/Reglung nach Raumluftqualität nur sehr eingeschränkt möglich. Speziell bei tiefen Außentemperaturen ist ein Dauerbetrieb erforderlich. Wegen den tendenziell höheren Luftvolumenströmen und der Betriebsführung nach Heizlast muss geprüft werden, ob spezielle Massnahmen erforderlich sind, um die minimal geforderte Raumluftfeuchte zu erreichen.

Hinweise zu Luftheizungen finden sich in Kapitel 10.4.

Spezielle Funktionen

Im Rahmen des Lüftungskonzepts gilt es zu klären, ob die Komfortlüftung mit speziellen Funktionen ausgerüstet werden soll. Dies betrifft insbesondere:

- Kühlung oder Vorkühlung der Zuluft
- Spezielle Massnahmen für den Schutz der WRG vor Vereisung (s. Kapitel 9.5)

Dies kann dazu führen, dass ein Erdreich-Wärmeübertrager oder ein Multifunktionsgerät eingesetzt werden muss.

4.4 Einzelraumlüftung, kombiniert mit Abluftanlagen

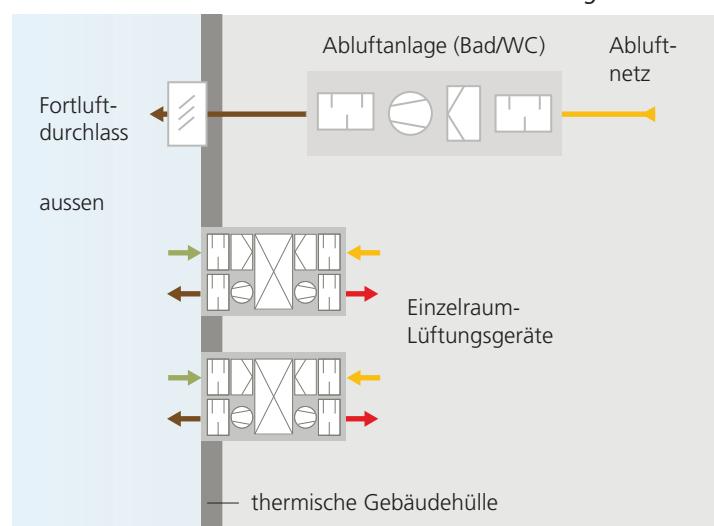
Funktion

Einzelraumlüftungsgeräte sind mit Zu- und Abluftventilator, Filtern und WRG ausgestattet. Die Luftbehandlung ist also gleich wie bei einer Komfortlüftung.

In der Praxis werden Einzelraumlüftungsgeräte meist mit Abluftanlagen kombiniert. Bad, Dusche und WC erhalten keine Einzelraumlüftungsgeräte. Stattdessen wird die Abluft (ohne WRG) ins Freie geblasen und die Ersatzluft strömt durch Unterdruck nach. Die Dimensionierung wird im Kapitel 8.1 behandelt.

Bild 4.4 zeigt ein System, bei dem Einzelraumlüftungsgeräte mit einer bedarfsgesteuerten Abluftanlage kombiniert sind.

Bild 4.4: Einzelraumlüftungsgeräte kombiniert mit Abluftanlage.



Einzelraumlüftungsgeräte und Luftführung

Es ist naheliegend, dass Einzelraumlüftungsgeräte in erster Linie für das Prinzip Einzelraum genutzt werden. Denkbar sind aber auch Lösungen bei denen sie mit dem Verbund-Prinzip kombiniert werden, beispielsweise für eine 2-Zimmer-Wohnung. Einige Geräte sind mit sogenannten Nebenraumanschlüssen erhältlich. Dabei lassen sich Nachbarräume über eine zusätzliche Luftleitung be- oder entlüften. Damit entsteht eine kleine Kaskadenlüftung. Grundsätzlich ist diese Lösung effizient und sinnvoll, aber sie fällt unter das Prinzip Kaskade.

Vorteile

- Einzelraumlüftungsgeräte eignen sich für Nachrüstungen in bestehenden Gebäuden. Zum Beispiel können sie gezielt in Schlafzimmern von Pollenallergikern oder an lärmbelasteten Lagen eingebaut werden.
- Die Einzelraumlüftung ist das einzige Wohnungslüftungssystem, bei dem eine raumweise Steuerung standardmäßig und ohne Mehrkosten machbar ist.
- Der Energiebedarf für die Luftförderung ist bei effizienten Geräten kleiner als bei einer Komfortlüftung.
- Bei qualitativ hochwertigen Geräten reduziert die WRG die Lüftungswärmeverluste um rund 60 %.
- Einzelne Geräte sind mit Enthalpieübertragern ausgerüstet. Damit lässt sich die relative Raumluftfeuchte im Winter um rund 5 % r. F. erhöhen.

Nachteile

- Die Ventilatoren befinden sich in den Zimmern! Dadurch sind Einzelraumlüftungsgeräte meist lauter als die anderen Systeme. Die auf dem Markt erhältlichen Geräte halten die von Normen geforderten Schallanforderungen teilweise nicht ein.
- Das Schalldämmmass gegenüber aussen ist geringer als bei Komfortlüftungen.
- Der Wartungsaufwand ist hoch, da in jedem Zimmer ein Gerät installiert ist. Die Filter müssen zwei- bis viermal jährlich ersetzt werden. Zudem müssen auch ver-

schmutzungsanfällige Teile wie Aussenluft- und Fliegengitter ein- bis zweimal im Jahr gereinigt werden. Eine Praxisuntersuchung [2] hat gezeigt, dass diese Wartungsintervalle erforderlich sind, um die geplante Luftzufuhr zu gewährleisten. Dies muss besonders bei Mietwohnungen bereits bei der Projektierung berücksichtigt werden (Zugang zu jedem einzelnen Schlafzimmer, Kosten). Auf jeden Fall kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Wartungsarbeiten von den Mieterinnen und Mietern erledigt werden.

- Wegen des Vereisungsschutzes der WRG schalten die meisten Geräte bei Aussen-temperaturen unter etwa -3°C ganz aus oder deaktivieren die WRG – beispielsweise durch Abschalten des Zuluftventilators. Das heisst: Bei tiefen Aussentemperaturen muss auf Fensterlüftung umgestellt oder in Kauf genommen werden, dass kalte Aussenluft durch Ritzen und Fugen in die Wohnung strömt. Damit kann bei der Dimensionierung der Raumheizung der Nutzen der WRG nicht berücksichtigt werden (vgl. Nachteile bei Abluftanlagen).
- Bei diversen Geräten werden Zu- und Abluftvolumenstrom stark vom Wind und von Verschmutzungen beeinträchtigt. Dadurch sinkt der energetische Nutzen.
- Die Lage der Aussenluftfassung lässt sich nicht frei wählen. Das heisst, dass allenfalls Aussenluft an einer Strassenfassade gefasst werden muss. An besonnten Fassaden kann im Sommer stark erwärmte Aussenluft angesaugt werden.
- Die architektonische Integration von Einzelraumlüftungsgeräten ist anspruchsvoll, besonders, weil ein guter Zugang für die Wartung gewährleistet werden muss.

Einsatzgrenzen

- Wegen dem Vereisungsschutz der WRG will der Einsatz von Einzelraumlüftungsgeräten bei kaltem Aussenklima gut überlegt sein. Wird der Vereisungsschutz bei -3°C aktiviert, dann wäre die WRG beispielsweise in Davos während rund 1800 h, also 2,5 Monaten im Jahr deaktiviert.
- Bei vielen Geräten reagiert der Luftstrom sehr empfindlich auf Druckschwankungen. Wind, ein starker Stack-Effekt (Auf-

trieb bei Temperaturdifferenzen, Kamineffekt) und Verschmutzungen verursachen ein massives Ungleichgewicht zwischen Zu- und Abluftströmen (Disbalancen), die die Lüftungsfunktion beeinträchtigen und den Nutzen der WRG schwächen. Bei Lagen mit starkem Windeinfluss, also auch bei Hochhäusern oder mehrgeschossigen Lüftungszonen (z.B. in EFH) kommen nur ausgewählte Produkte mit einer hohen Volumenstromstabilität in Frage.

Die Wirtschaftlichkeit lässt sich nicht klar beurteilen. Bei gleicher Qualität (Schall, Filter, Dauerhaftigkeit, Druckstabilität) sind aber im Neubau höhere Kosten zu erwarten als bei einer kostenbewusst geplanten Komfortlüftung. Auch die Wartungs- und Energiekosten sind typischerweise höher.

4.5 Einzel- versus Mehrwohnungsanlagen

Eine Einzelwohnungsanlage (EWA) versorgt eine einzelne Wohnung. Eine Mehrwohnungsanlage (MWA) bedient mehrere Wohnungen. Sowohl bei Abluftanlagen, als auch bei Komfortlüftungen sind beide Bauarten möglich. Bild 4.5 zeigt dies am Beispiel einer Komfortlüftung.

Der folgende Vergleich bezieht sich hauptsächlich auf die Komfortlüftung. Diverse Punkte gelten aber auch für Abluftanlagen.

Thermischer Komfort

Bei einer MWA lässt sich eine Zuluftnachwärmung bei Bedarf einfach realisieren. Dies hat besonders an Standorten mit tiefen Außentemperaturen Vorteile, also etwa in alpinen Lagen.

Schall

Das Risiko der Schallübertragung von Wohnung zu Wohnung ist bei EWA geringer. Bei fachgerechter Umsetzung besteht allerdings auch bei MWA nur ein kleines Risiko.

Umgekehrt kann mit qualitativ hochwertigen Wohnungslüftungsboxen bei MWA tendenziell ein tieferer Schallpegel in den

Zentral oder dezentral?

In Deutschland werden unter «dezentralen Anlagen» Einzelraumlüftungsgeräte verstanden. Die schweizerische «Einzelwohnungsanlage» ist in Deutschland eine «zentrale Anlage». Um Missverständnisse zu vermeiden, wird deshalb empfohlen, die Begriffe der SIA 382/5 zu verwenden.

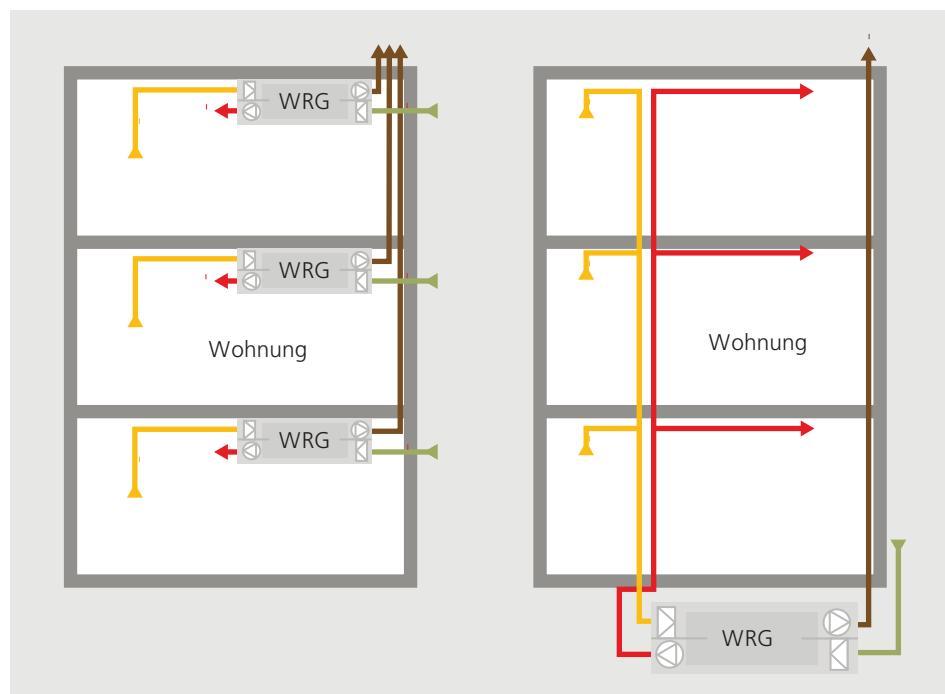


Bild 4.5: Komfortlüftung als Einzelwohnungsanlage (links) und Mehrwohnungsanlage.

Zimmern erreicht werden. Werden aber bei MWA kostengünstige Konstant-Volumenstromregler installiert, ist die EWA im Vorteil.

Bei EWA befinden sich die Lüftungsgeräte teilweise in der Wohnung, was akustisch ein Nachteil sein kann. Je nach Situation können die Geräte aber auch ausserhalb der Wohnung installiert werden.

Steuerung/Regelung

EWA können praktisch ohne Mehraufwand mit wohnungsweisen Bedarfssteuerungen und Regelungen ausgerüstet werden. Bei MWA ist dazu eine Wohnungslüftungsbox erforderlich. Der Minergie-Standard verlangt in Neubauten bei beiden Bauarten eine individuelle Steuerung oder Regelung.

Wartung

Bei MWA muss nur ein Lüftungsgerät gewartet werden. Vor allem für den Filterwechsel ist dies ein bedeutender Vorteil. Bei EWA wird der Filterwechsel dann besonders aufwändig, wenn hierfür jede Wohnung betreten werden muss. Es sind aber auch Lösungen möglich, bei denen der Zugang zu den Geräten von ausserhalb der Wohnung möglich ist, teilweise mit einem gemeinsamen Technikraum.

Elektrizitätsverbrauch

EWA haben zwar meistens ein kürzeres Verteilnetz, dafür ist der Ventilatorwirkungsgrad aber schlechter. In der Praxis schneiden EWA bezüglich Elektrizitätsverbrauch meistens besser ab. Die Ursache für den höheren Stromverbrauch von MWA liegt darin, dass dort oft höhere Druckverluste auftreten, als es die SIA 382/1 vorgibt. Häufig dürfte es an den Volumenstromreglern (Billigprodukte) und der Einregulierung liegen. Eine fachgerecht geplante und sorgfältig eingestellte MWA muss aber keinen höheren Stromverbrauch haben als eine EWA.

Wärme- und Feuchterückgewinnung, Abwärmenutzung

Lüftungsgeräte bei EWA gewinnen eher mehr Wärme zurück als solche bei MWA.

Zudem lässt sich bei ersteren auch eine Feuchterückgewinnung einfacher realisieren. Derzeit wird bei MWA von einer Wärmerückgewinnung (WRG) mit Rotoren noch abgeraten, da ein Risiko für eine Übertragung von Kochgerüchen besteht. Eventuell lässt sich das künftig mit speziellen Rotorbeschichtungen lösen.

Die Feuchterückgewinnung mit einem Platten-Wärmeübertrager (Enthalpieübertrager, meist auf Basis von wasserdurchlässigen Membranen) ist bei einer EWA und MWA möglich. Bei einer MWA muss mit dem Gerätelieferanten das Risiko der Geruchsübertragung geklärt werden. Zudem muss überlegt werden, wie mit einer gemeinsamen Zuluft für verschiedene Wohnung der Feuchteschutz gewährleistet wird (s. Kapitel 2.4).

Der Nutzen der WRG kann durch unerwünschte Wärmeflüsse, speziell in Installationszonen, reduziert werden (s. Kapitel 9.7). MWA sind diesbezüglich kaum problematisch. Bei EWA ist es im Wesentlichen eine Frage des Gerätestandortes (s. Kapitel 6.4). Mit einem Enthalpieübertrager lässt sich der Vereisungsschutz für die WRG bei EWA im schweizerischen Mittelland elegant lösen. Falls kein Enthalpieübertrager vorgesehen ist, lässt sich der Vereisungsschutz bei MWA einfacher und energieeffizienter lösen als bei EWA (s. Kapitel 9.5). Bei Abluftanlagen mit Abluftwärmepumpen ist es im Wesentlichen eine Frage der Warmwasserversorgung, ob eine MWA oder EWA besser geeignet ist. Bei einer dezentralen, das heisst wohnungsweisen Wassererwärmung ist eine EWA vorteilhafter. Bei einer zentralen Wassererwärmung ist eine MWA angemessen.

Brandschutz

Anlagen, die mehrere Lüftungsabschnitte versorgen, erfordern besondere Brandschutzmassnahmen – beispielsweise mehrere Steigleitungen oder Brandschutzklappen (siehe auch Kapitel 1.8). Dies gilt in erster Linie bei MWA. Aber auch EWA mit gemeinsamen Aussen- oder Fortluftleitungen können davon betroffen sein. Lüftungsgeräte, die mehrere Lüftungsabschnitte versorgen, müssen beim Abluft-

eintritt eine Rauchauslöseeinrichtung haben, die beim Ansprechen die Lüftungsanlage ausschaltet und die Brandschutzklappen schliesst.

Kosten

In kleinen MFH mit bis etwa 8 Wohnungen sind die Investitionen für EWA oft tiefer als die für MWA. Bei den Kosten sollen auch die Installationszonen berücksichtigt werden. Sie hängen bei MWA massgeblich vom Gerätestandort ab. Dabei gilt es zu beachten, dass der für das Gerät erforderliche Platz in der Wohnung teurer ist als im Keller. Tendenziell ergeben sich bei MWA kleinere Steigzonen.

Hinsichtlich der Betriebskosten sind die Preise für Ersatzfilter und der Arbeitsauf-

wand für den Filterersatz bei EWA oft relevant. In der Regel schneiden MWA hier besser ab.

4.6 Systemvergleich

Im Projekt [4] wurden Lüftungskonzepte für Wohnbauten umfassend verglichen. Eine Kernaussage dieser Arbeit ist, dass sich ein Vergleich nicht nur auf die Investitionen oder den Energieverbrauch reduzieren darf. In die Systemwahl sollen auch nicht oder nur schwer quantifizierbare Kriterien wie Gesundheit und Komfort einbezogen werden. Für den Vergleich hier, in diesem Buch, werden insgesamt zehn Kriterien gemäss Tabelle 4.1 berücksichtigt. Es sei aber darauf hingewiesen, dass Relevanz und Gewichtung der Kriterien stark

Kriterium	Indikatoren
Betriebsenergie	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung • Elektrizitätsbedarf für Hilfsenergie und Vereisungsschutz der WRG • Lüftungswärmeverluste unter Berücksichtigung des effektiven Nutzens der WRG (Disbalance, Vereisungsschutz) und von unerwünschten Wärmeflüssen (Verteilerverluste)
Graue Energie	Als Indikator für graue Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte sowie Rückbaubarkeit und Entsorgung
Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für die Erstellung und Erneuerung der lüftungstechnischen Einrichtungen • Raumkosten der lüftungstechnischen Einrichtungen
Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsaufwand für Unterhalt und Wartung • Materialaufwand im Betrieb (Ersatzfilter) • Wartungsfreundlichkeit • Ersatz von Komponenten
Schallschutz extern	<p>Schallschutz gegenüber externen Lärmquellen gem. SIA 181:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schwächung des Bau-Schalldämmmasses durch lüftungstechnische Einrichtungen
Schallschutz intern	<p>Schallschutz gegenüber internen Lärmquellen gem. SIA 181:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schwächung des Bau-Schalldämmmasses zwischen Wohnungen • Schwächung des Bau-Schalldämmmasses innerhalb der Wohnung • Geräusche der lüftungstechnischen Einrichtungen
Raumluftqualität	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Gehalt der Raumluft • Eintrag respektive Abscheidung von Aussenluftbelastungen (Feinstaub, Pollen) • Abtransport von Innenraumbelastungen aus Baustoffen und Einrichtungen
Raumluftfeuchte	<ul style="list-style-type: none"> • Risiko für niedrige Raumluftfeuchte im Winter • Feuchteschutz gemäss SIA 180
Thermische Behaglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Zuglufrisiko • Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz (Schwächung oder Unterstützung)
Robustheit	<p>Fähigkeit des Lüftungssystems, äusseren Veränderungen standzuhalten, respektive, die gestellten Anforderungen (Luftqualität, Komfort, Energieverbrauch etc.) auch unter veränderlichen Rahmenbedingungen zu erfüllen; dazu gehören etwa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Belegung von Wohnungen • Benutzerverhalten, speziell offene Fenster • Stellung von wohnungsinternen Türen • Wind • Verschmutzungen/Instandhaltung • Nachrüstbarkeit

Tabelle 4.1:
Kriterien und
Indikatoren für
den Vergleich von
Lüftungssystemen.

vom jeweiligen Objekt und seinen Rahmenbedingungen abhängen. Sie müssen von den Entscheidungsträgern jeweils individuell festgelegt werden.

In Bild 4.6 bis Bild 4.9 werden fünf Lüftungssysteme gemäss Tabelle 4.2 qualitativ miteinander verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf ein neues MFH mit fünf 4½- und fünf 5½-Zi-Wohnungen im schweizerischen Mittelland. Es wird davon ausgegangen, dass alle Anlagen die Normen erfüllen. Weiter wird angenommen, dass die Empfehlungen in diesem Buch eingehalten wurden (keine Zuluft im Durchströmbereich, kurze Leitungen, wenige Einlagen in Betondecken etc.).

Die Bewertung basiert auf der Methode von Studie [4] und den hier in Kapitel 4.1 bis 4.5 aufgeführten Vor- und Nachteilen der jeweiligen Lüftungssysteme. Bewertet wird mit 1 bis 5 Punkten, wobei 1 der

Tabelle 4.2: Kurzbeschrieb der Lüftungssysteme, die in den Bildern 4.6 bis 4.9 verglichen werden.

Kurzform	Beschreibung
KL MW	Komfortlüftung, Mehrwohnungsanlage: bedarfsgeregt, Enthalpieübertrager
KL EW	Komfortlüftung, Einzelwohnungsanlage: bedarfsgeregt, Enthalpieübertrager
ABL + WP	Abluftanlage mit ALD, Abluftwärmepumpe für Wassererwärmung
ERL + ABL	Einzelraumlüftung, kombiniert mit bedarfsgesteuerter Abluft in Bad/WC (Ein/Aus)
FeL + ABL	Fensterlüftung, kombiniert mit bedarfsgesteuerter Abluft in Bad/WC (Ein/Aus)

schlechteste und 5 der beste Wert ist. Zur Orientierung ist in jedem Diagramm auch die Bewertung der Fensterlüftung mit den bedarfsgesteuerten Abluftventilatoren (FeL + ABL) eingezeichnet.

Für alle Systeme gilt: Bessere Werte für Raumluftqualität, Raumluftfeuchte, thermische Behaglichkeit, Robustheit, Betriebsenergie und externen Schallschutz müssen stets durch höhere Investitionen und mehr graue Energie erkauft werden.

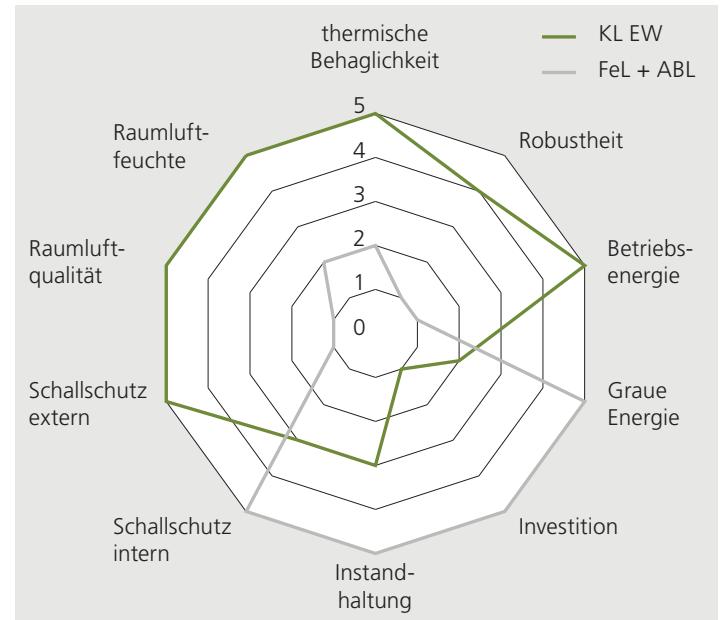
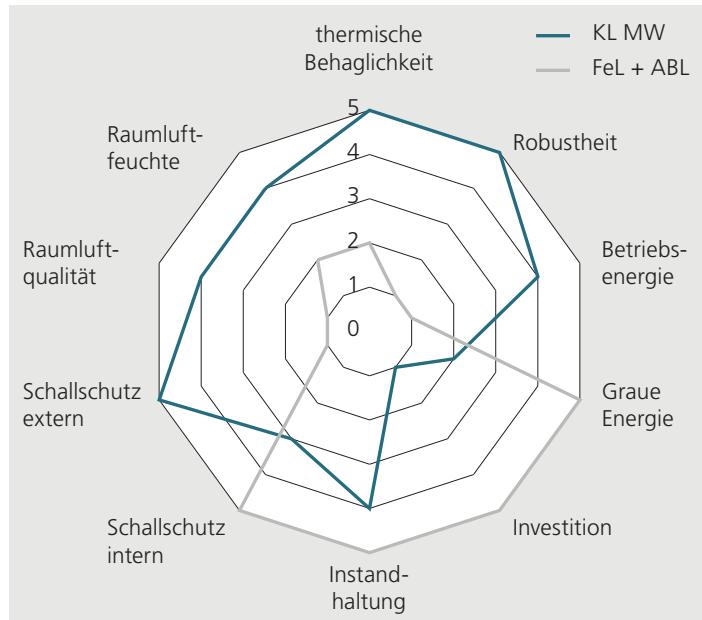
Beim internen Schallschutz ist es komplexer: Die Minimallösung «Fensterlüftung» verursacht kaum Lüftungsgeräusche und schwächt die interne Schalldämmung nicht. Bei der Komfortlüftung werden die akustischen Schwächen des Systems durch technisch Massnahmen wie Schalldämpfer oder angemessene ÜSLD weitgehend kompensiert.

Bei Systemen mit Lüftungselementen an der Fassade (ALD und Einzelraumlüftungsgeräte) besteht der folgende Konflikt: Entweder dämmt das Element den Außenlärm und wird dafür selbst zur Schallquelle (Ventilator) oder es produziert selbst keinen Schall, dämmt dafür aber den Außenlärm schlechter.

Bei der Instandhaltung besteht eine gewisse Analogie zum internen Schallschutz: Die technisch einfache Fensterlüftung verursacht kaum Wartungsaufwand. Bei der Komfortlüftung wird die Wartung der

Bild 4.6 (links): Qualitativer Vergleich der Komfortlüftung in Form einer Mehrwohnungsanlage (KL MW) versus eine Fensterlüftung, kombiniert mit Abluftventilatoren (FeL + ABL).

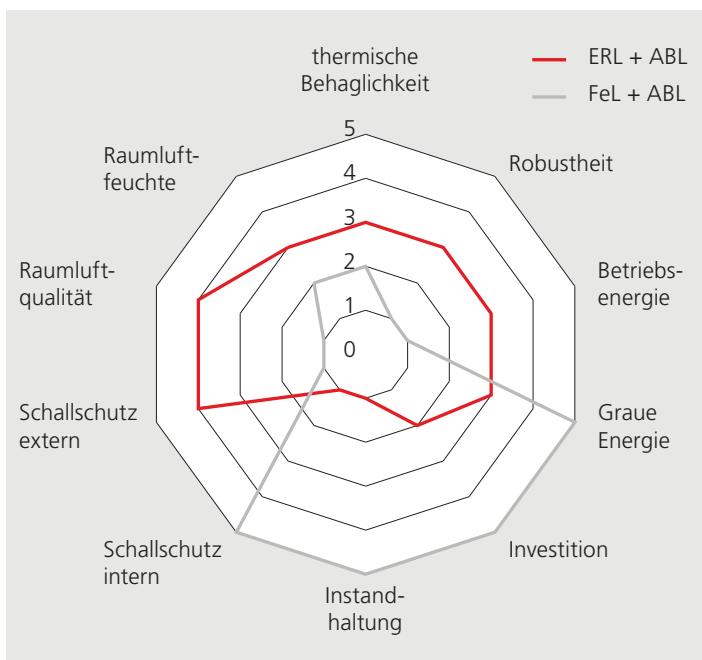
Bild 4.7 (rechts): Qualitativer Vergleich der Komfortlüftung in Form einer Einzelwohnungsanlage (KL EW) versus Fensterlüftung, kombiniert mit Abluftventilatoren (FeL + ABL).



Komponenten, die am meisten verschmutzen (Filter, Aussenluft-Durchlass und Fliegenschutzgitter), durch die Zentralisierung minimiert. Hier sind Systeme mit vielen Elementen an der Fassade deutlich im Nachteil. Weitere verschmutzende Elemente sind die Abluftdurchlässe und Abluftleitungen. Hier besteht aber kein relevanter Unterschied zwischen den Systemen.

Zu beachten ist, dass die Instandhaltung über die Lebensdauer betrachtet denselben finanziellen Stellenwert hat wie die Investition. So kosten normgerechte Ersatzfilter für ein Einzelraumlüftungsgerät zwischen 30 und 50 Fr. Bei einem mittleren Preis und dreimaligem Wechsel im Jahr kosten die Filter für eine 4-Zimmer-Wohnung im Jahr rund 500 Fr. – in 20 Jahren sind das 10 000 Fr. Für den Arbeitsaufwand inklusive Gerätgereinigung kommt mindestens nochmals die Hälfte hinzu. Zum Vergleich: Der Neupreis eines normgerechten, qualitativ mittelmässigen Einzelraumlüftungsgeräts liegt bei rund 1500 Fr. Bei Abluftanlagen liegen die Verhältnisse ähnlich. Bei Komfortlüftungen hingegen sind die Investitionen rund doppelt so hoch wie die über die Nutzungsdauer aufsummierten Instandhaltungskosten.

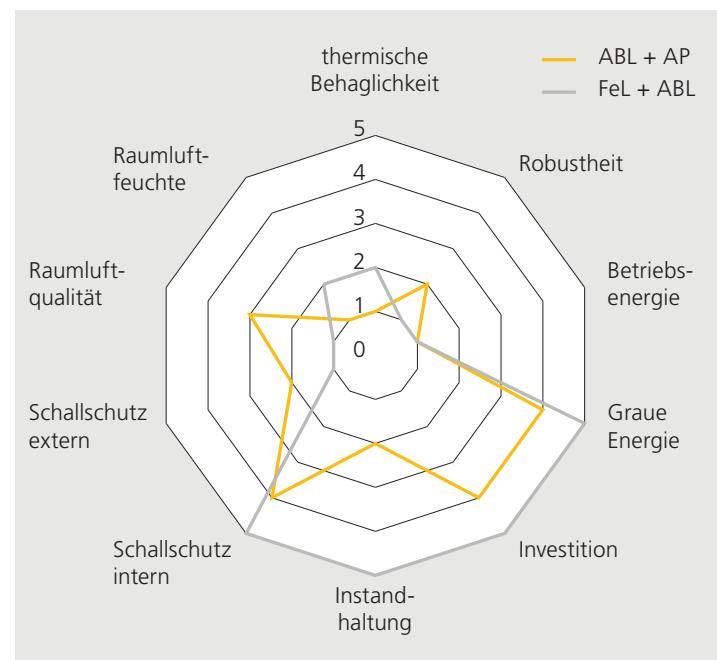
Bild 4.8: Qualitativer Vergleich: Einzelraumlüftung, kombiniert mit Abluftanlage (ERL + ABL) versus Fensterlüftung, kombiniert mit Abluftventilatoren (FeL + ABL).



4.7 Literatur

- [1] Hoffmann, Caroline: Fensterlüfter, Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, 2014
- [2] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien
- [3] Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK): Vollzugshilfe EN-105 Lüftungstechnische Anlagen, Ausgabe Dezember 2018. Download via www.endk.ch → Fachleute → Vollzugshilfen
- [4] Primas, Alex; Gianrico Settembrini; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021

Bild 4.9: Qualitativer Vergleich: Abluftanlage mit Abluftwärmepumpe (ABL + AP) versus Fensterlüftung, kombiniert mit Abluftventilatoren (FeL + ABL).



Hinweise zur Projektierung

5.1 Projektablauf

Basis für die Projektierung von Lüftungsanlagen ist ein Lüftungskonzept gemäss Kapitel 2.1. Damit ist die Luftführung in der Wohnung und in den Räumen mindestens konzeptionell festgelegt. Das Lüftungssystem ist ausgewählt, womit auch der Entscheid bezüglich Einzel- oder Mehrwohnungsanlage gefallen ist. Im Rahmen des Projekts werden folgende Themen bearbeitet:

- Berechnung der Luftvolumenströme
- Standort des Lüftungsgeräts und Lage der Installationszonen
- Lage von Aussen- und Fortluftdurchlass
- Art der Feinverteilung in der Wohnung
- Dimensionierung der Luftverteilung und deren Wärmedämmung
- Wahl des Lüftungsgeräts
- Steuerung/Regelung
- Umsetzung Brandschutzmassnahmen
- Reinigungskonzept
- Spezialfunktionen wie die Einbindung der Küchenabluft und Sicherheitsvorkehrungen bei Feuerstätten in der Wohnung
- Koordination der baulichen Details wie Kondensatablauf und Elektroanschlüsse

Es werden zudem folgende Dokumente erstellt:

- Prinzipschema
- Grundrisspläne im Massstab 1:50
- Bei Bedarf Detailpläne, beispielsweise vom Technikraum
- Anlagebeschreibung

Die Ausführungsplanung mit Materialauszug wird in diesem Buch nicht behandelt.

Koordination

Die korrekte Ausführung und Funktion einer Wohnungslüftung hängen entscheidend von einer guten Koordination ab. Tabelle 5.1 zeigt, mit welchen Fachdisziplinen beziehungsweise Gewerken die Lüftungsanlage abgestimmt werden muss.

Anforderungen und zu vermeidende Fehler

Die Checkliste gemäss Tabelle 5.2 hilft in der Praxis, Fehler zu vermeiden. Es empfiehlt sich, nach jeder Planungsphase damit zu prüfen, ob die Kriterien erfüllt sind – soweit sie für die jeweilige Anlage gelten. Sind elementare Anforderungen der Checkliste nicht erfüllt, muss das als Mangel bezeichnet werden.

KWL-Tool

Das Online-Programm «KWL-Tool» (<https://www.enerweb.ch/kwl.html>) unterstützt die Projektierung von Komfortlüftungen mit folgenden Funktionen:

- Dimensionierung der Luftvolumenströme
- Berechnung des Druckverlusts
- Schallberechnung für alle Räume
- Berechnung der elektrischen Aufnahmefähigkeit und des Temperaturverhältnisses, das beim Betrieb des Geräts resultiert.
- Dimensionierung der Wärmedämmung von Leitungen und Kanälen gemäss MuKE 2014.

Das «KWL-Tool» ist ein öffentlich zugängliches Werkzeug, das Fachleuten kostenlos zur Verfügung steht. Es enthält eine umfangreiche Produktebibliothek. Zudem besteht auch die Möglichkeit, Daten von nicht gelisteten Geräten von Hand einzugeben. Da webbasiert, ist keine Installation nötig. Die Produktdaten werden stets aktuell gehalten. Eine Hilfeseite und ein Kurzvideo erleichtern den Einstieg.

Beteiligte/Thema	Kapitel in diesem Buch	Ziffer in SIA 382/5	Lüftungs-konzept	Projekt und Ausführung
Auftraggeber, resp. deren Vertretung				
Nutzung (Belegung, spez. Anforderungen, spez. Aktivitäten)	2	2.2, 3.4	x	
Luftführung in der Wohnung und in den Räumen	3	4.4	x	
Wahl des Lüftungssystems (Vor- und Nachteile, Einsatzgrenzen, Kriterien)	4	4.1, 4.2	x	
Betriebsweise und Steuerung/Regelung	6.2, 7.4	5.3.8	x	
Kochstellenentlüftung	10.1	4.4.4	x	
Feuerung in der Wohnung	2.8, 10.2	2.4.2	x	
Zuluft-, Abluft- und Überströmdurchlässe	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5	x	x
Bedienungsanleitung, Kurzanleitung für Bewohner/-innen	12	6.4		x
Instruktion	12	6.4		x
Instandhaltung und Reinigung, z. B. Filterwechsel	12	7.2		x
Architektur				
Raumprogramm, Luftdichtheit, Radon	2	2.1	x	
Luftführung in der Wohnung und in den Räumen	3	4.4	x	
Standort Geräte und Hauptverteilung	6.4, 6.5, 7.5		x	x
Führung der Luftleitungen (z. B. in Betondecken), Art und Lage von Zu- und Abluftdurchlässen	6.3		x	x
Aussen- und Fortluftdurchlass	6.6	5.3.2	x	x
Zuluft-, Abluft- und Überströmdurchlässe	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5		x
Sämtliche weiteren Punkte, die unten folgen			x	x
Energieplanung				
Energiestandard (z. B. Minergie)	2.13	2.3	x	
Sommerlicher Wärmeschutz	1.6, 4.1, 9.5	2.1.3	x	
Lüftung mit Heizfunktion und/oder Abluftwärmepumpe	4.2, 9.10	5.4.5, 5.4.2.3.3	x	
Luftbehandlung, spez. Wärmerückgewinnung, Vereisungsschutz	9.1 – 9.5	4.3, 5.4.4.2	x	x
Energiebedarf	9.8	5.5	x	x
Statik/Bauingenieurwesen				
Leitungsführung, spez. bei Leitungen in Decken	6.3		x	
Durchführung AUL und FOL durch Gebäudehülle	6.4, 6.5	5.3.2	x	
Bauliche Massnahmen bei Erdreich-Wärmeübertrager	6.7	5.3.3		x
Akustik				
Standard Schallschutz und Anforderungen, Aussenlärm	11.1	2.2.7	x	
Baulicher Schallschutz in der Wohnung (Überströmdurchlässe)	3.8	5.3.5	x	x
Schallpegel der Lüftungsanlage und Massnahmen Telefonie	11.5	2.2.7		x
Schallschutz gegen aussen	11.6		x	x
Brandschutz				
Brandabschnitte und Lüftungsabschnitte	1.8	2.4.3	x	
Mehrwohnungsanlagen	4.5, 6.5		x	x
Sanitärinstallationen				
Kondensatablauf für Lüftungsgerät	6.4, 5.1		x	
Bei Multifunktionsgeräten: Kalt- und Warmwasser	9.10		x	x
Elektroinstallationen				
Elektroschema und Steuerung	6.2, 7.4		x	
Anschluss Bedieneinheiten und Sensoren			x	x
Anschluss der Geräte (über Wohnungszähler?)			x	x
Evtl. Anschluss Vereisungsschutz, Nachwärmer und WP	9.5, 9.10		x	x

Tabelle 5.1:
Koordination
bei der Planung
von Wohnungs-
lüftungsanlagen.

Beteiligte/Thema	Kapitel in diesem Buch	Ziffer in SIA 382/5	Lüftungs-konzept	Projekt und Ausführung
Heizungsinstallationen				
Art und Lage der Wärmeabgabe (wegen Zuluftdurchlässen)	3.1, 7.6		x	x
Dimensionierung der Heizung (Lüftungswärmeverluste)	4.2	Anhang D	x	x
Bei Erdreich-Sole-Wärmeübertrager: Dimensionierung und Anschluss	6.7	5.3.4		
Evtl. Anschluss Luftherziter	4.5, 6.5, 9.5		x	x
Küchenbau				
Evtl. Einbindung der Kochstellenentlüftung	10.1	4.4.4	x	x
Ofenbau/Feuerstätten				
Massnahmen bei einer Feuerung in der Wohnung: Druckhaltung und Sicherheitsvorkehrungen	2.8, 10.2	2.4.2	x	x
Verbrennungsluftzufuhr	10.2	2.4.2	x	x

Fortsetzung
Tabelle 5.1.

Kriterien	Abschnitt in diesem Buch	Ziffer in SIA 382/5
Aussenluft darf nicht ebenerdig oder in einem Lichtschacht gefasst werden.	6.6	5.3.2
Bei mechanischen Lüftungsanlagen wird für die Aussenluft ein Feinstaubfilter der Klasse ISO ePM1 50 % gefordert.	9.1	5.3.6
Bei ALD ist teilweise die Klasse ISO ePM10 50 % zulässig.	7.6	
Luftfilter sind Einwegprodukte. Sie können in der Regel nicht gereinigt oder gewaschen werden, weil sie dadurch fast die ganze Wirkung verlieren. Zudem können beim Hantieren mit verschmutzten Filtern Personen kontaminiert werden.	9.1, 12.4, 12.5	5.3.6
Sämtliche Anlagenteile müssen gereinigt oder ersetzt werden können.	5.5, 6.8, 7.6, 8.6, 9.1, 12	2.4.4
In keinem Anlagenteil darf sich stehendes Wasser ansammeln. Anlageteile, in denen Wasser anfallen kann (z. B. Erdreich-Wärmeübertrager), müssen kontinuierlich entwässert werden.	6.6, 6.7	2.4.4
Lüftungsanlagen und -komponenten dürfen den Schallschutz gegen Aussenlärm nicht soweit schwächen, dass die Anforderungen der SIA 181 verletzt werden. Speziell zu beachten sind Einzelraumlüftungsgeräte und Aussenluft-Durchlässe von Abluftanlagen.	7.6, 8.2, 11.7	2.2.7
Eine Lüftungsanlage oder ein Lüftungsgerät darf in einem Wohn- oder Schlafzimmer einen Standard-Schalldruckpegel von max. 25 dB(A) erzeugen. Dies entspricht den erhöhten Anforderungen der SIA 181. Diese Anforderung muss im Normalbetrieb eingehalten werden.	11.1–11.6	2.2.7
Keine lüftungstechnische Einrichtung darf einen Unterdruck verursachen, der eine Feuerung (z. B. Holzofen) in der Wohnung stört.	2.8, 7.2, 8.5, 9.5, 10.1	2.4.2, 4.3.4, 4.4.4, 4.4.5
Keine lüftungstechnische Einrichtung darf zu Luftübertragungen zwischen Wohnungen führen.	2.8, 2.10	2.2.5, 5.5.6
Die Luftvolumenströme müssen pro Raum eingestellt, gemessen und protokolliert werden.	5.4, 12.2	6.2
Die Benutzer/-innen müssen instruiert werden. Es muss eine detaillierte Betriebsdokumentation abgegeben werden.	7.6, 12.4	6.4
Die Wärmedämmung von Leitungen, die in Betondecken oder engen Installationszonen geführt werden, darf nicht reduziert werden.	6.3, 6.4, 9.7	5.5.4

Tabelle 5.2: Checkliste mit elementaren Anforderungen und zu vermeiden- den Fehlern.

5.2 Dimensionierung von Luftleitungen

Luftgeschwindigkeiten

Die zulässigen Luftgeschwindigkeiten in Luftleitungen sind in der SIA 382/1 und in den MuKen festgelegt. Luftleitungen werden stets auf den Normalbetrieb dimensioniert.

Empfehlenswert ist, dass der Druckverlust der Luftleitungen inklusive des Zuschlags für Formstücke (Zeta-Werte) bei rund 1 Pa pro Meter Länge des Verteilnetzes liegt. Bei kleinen Luftleitungen, wie Zuleitungen zu einzelnen Räumen, sind teilweise bis zu 2 Pa/m erforderlich, um nicht allzu grosse Durchmesser zu erhalten.

In Tabelle 5.3 sind die maximalen Luftvolumenströme für Standarddurchmesser von runden Blechrohren aufgeführt. Angegeben sind die empfohlenen Werte und die maximal zulässigen Werte gemäss SIA 382/1. Tabelle 5.4 gilt analog für runde Kunststoffrohre. Massgebend sind immer die Innendurchmesser.

Für andere Querschnitte und grössere Luftvolumenströme gilt Tabelle 5.5. Neben den Maximalwerten der SIA 382/1 sind die Empfehlungen von TopMotors.ch [1] für Anlagen mit 8000 h/a Laufzeit aufgeführt.

Tabelle 5.3: Maximale Luftvolumenströme für runde Blechrohre.

Tabelle 5.4: Maximale Luftvolumenströme für runde Kunststoffrohre.

Nenn-Durchmesser in mm	maximaler Luftvolumenstrom in m ³ /h	
	Empfehlung	SIA 382/1
NW 63	24	28
NW 80	43	54
NW 100	75	85
NW 125	127	132
NW 160	225	217
NW 200	375	339

Nenn-Durchmesser in mm	Innen-Durchmesser in mm	maximaler Luftvolumenstrom in m ³ /h	
		Empfehlung	SIA 382/1
NW 75	61	22	26
NW 90	74	35	38
NW 110	93	62	73
NW 125	110	94	102
NW 140	122	120	126
NW 160	142	170	171

5.3 Leitungsarten und -materialien

Graue Energie

Bei Komfortlüftungen enthält die Luftverteilung 40 bis 60 % der grauen Energie der gesamten Anlage. Die Spanne ist gross – einerseits wegen unterschiedlichen Leitungslängen bei verschiedenen Installationskonzepten, andererseits wegen der gewählten Materialien.

Dichtheit

Unabhängig von Material und Konstruktion soll für die Lüftungsanlage die Dichtheitsklasse C gefordert werden. Details finden sich in der Norm SIA 382/1. Zu beachten ist, dass bei der Luftdichtheit von Lüftungsanlagen A die schlechteste und D die beste Klasse ist (also anders, als bei anderen Klassierungssystemen).

Spiralfalzrohre

Sogenannte Spiro-Rohre sind günstig und einfach zu installieren. Die Dichtheit der Rohre hängt von der Falztechnik ab. Runde Rohre von renommierten Herstellern sind in der Regel sehr dicht. Bei Billigprodukten ist aber Vorsicht geboten. Potenzielle Schwachstellen sind die Verbindungen: Wenn kein System mit Lippendichtungen eingesetzt wird, müssen die Stösse mit Kleb- oder Kalschrumpfbändern abgedichtet werden. Für sichtbare Installationen sind auch lackierte Spiralfalzrohre erhältlich.

Ovalrohre sind in der gleichen Technik gefertigt; bezüglich Dichtheit gilt deshalb dasselbe wie bei runden Rohren. Die Verbindungen sind aber tendenziell weniger dicht. Der Vorteil von Ovalrohren ist die geringe Höhe (ab 80 mm). Formstücke zu Ovalrohren sind teuer.

Tabelle 5.5: Maximale Luftgeschwindigkeiten in Luftleitungen.

Luftvolumenstrom in m ³ /h	Maximale Luftgeschwindigkeit in m/s	
	Empfehlung TopMotors	SIA 382/1
bis 40	2,5	2,5
41 bis 1000	3,0	3,0
1001 bis 2000	3,5	4,0
2001 bis 4000	4,0	5,0
4001 bis 10000	4,5	6,0
> 10000	5,0	7,0

Material- und Platzbedarf von Kanälen

Zum Veranschaulichen des unterschiedlichen Bedarfs an Material, Platz und grauer Energie werden hier vier verschiedene Kanalgeometrien verglichen. Bei allen Varianten ist der Luftvolumenstrom gleich gross und der längenspezifische Druckverlust beträgt 1,0 Pa/m. Dabei ist ein Widerstandsbeiwert (Zeta-Wert) von 0,04 pro Meter Länge des Verteilnetzes mit eingerechnet.

Die Ausgangslage (Variante 1) ist ein runder Kanal mit 315 mm Aussendurchmesser und 1109 m³/h Luftvolumenstrom. Bei Variante 2 wird ein quadratischer Blechkanal gewählt. Bei Variante 3 wird der Luftstrom auf zwei parallele runde Leitungen aufgeteilt. Variante 4 ist es ein rechteckiger Blechkanal mit einem Seitenverhältnis von 1:2.

Die Kanäle in den Varianten 2 bis 4 entsprechen nicht Standardmassen, sondern wurden so festgelegt, dass der gleiche Druckverlust resultiert wie mit Variante 1. Beim Gewicht wird bei den runden Kanälen mit 15 % Zuschlag für Verbindungen und Aufhängungen gerechnet. Beim rechteckigen Querschnitt beträgt der Zuschlag 30 %, da insbesondere die Flansche buchstäblich ins Gewicht fallen. Die graue Energie ist bei Luftkanälen proportional zum Gewicht.

Der Flächenbedarf der Steigzone wird für nicht gedämmte Kanäle berechnet. Bei den rechteckigen Kanälen werden zusätzlich 22 mm für Flansche angenommen, bei den runden Kanälen kommen 5 mm für die Befestigung mit Briden hinzu. Die Grundfläche der Steigzone wird als Rechteck definiert, das um 10 mm grössere Seitenlängen aufweist als die Aussenmasse der Kanäle plus der Flansche respektive Briden.

Bild 5.1 und Tabelle 5.6 zeigen die Resultate des Vergleichs. Bei gleichem Volumenstrom und Druckabfall benötigt der quadratische Kanal gut 80 % mehr verzinktes Blech als der runde. Damit ist auch die graue Energie rund 80 % höher. Bei nicht gedämmten Kanälen bietet der rechteckige Querschnitt auch hinsichtlich des Platzbedarfs keine Vorteile. Mit Dämmung würde der runde Kanal etwas mehr Fläche beanspruchen als der quadratische.

Selbst bei Seitenverhältnissen von 1:2 ist die graue Energie der runden Varianten tiefer als beim rechteckigen Kanal. Allerdings nimmt der Flächenbedarf bei der runden Variante mehr zu als bei der rechteckigen.

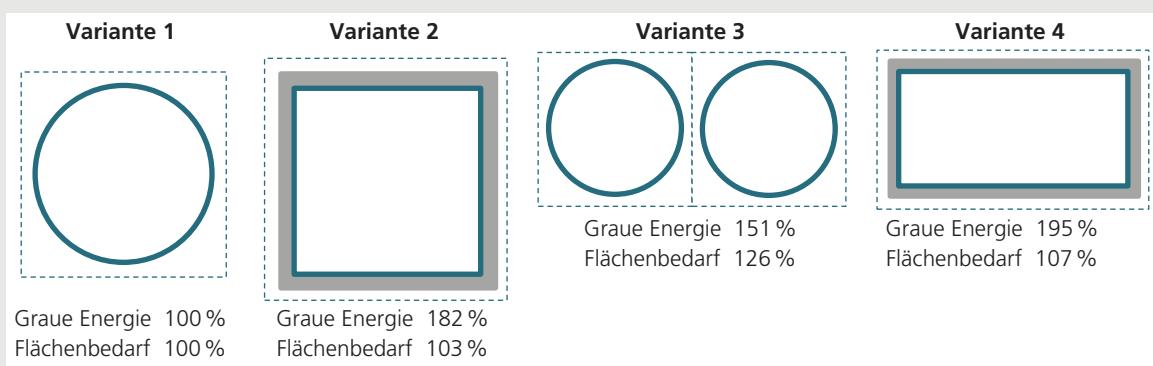


Bild 5.1: Varianten von runden und rechteckigen Blechkanälen für 1109 m³/h Luftvolumenstrom und 1,0 Pa/m Druckverlust.

Grösse	Einheit	Variante			
		1	2	3	4
Aussenmasse	mm	Ø 315	286 x 286	2 x Ø 237	204 x 408
Blechdicke	mm	0,6	1,0	0,6	1,0
Luftgeschwindigkeit	m/s	4,0	3,8	3,5	3,7
Gewicht pro Meter Länge	kg	6,4	11,7	9,7	12,5
Flächenbedarf Steigzone	m ²	0,141	0,144	0,170	0,150

Tabelle 5.6: Details zu den Varianten aus Bild 5.1.

Rechteckige Bleckkanäle

Rechteckige Bleckkanäle enthalten pro Meter Leitungslänge deutlich mehr graue Energie als Spiro-Rohre (s. Kasten). Klassische Bleckkanäle sollen für kleine Anlagen nicht eingesetzt werden.

Wärmedämmung

Kalte Leitungen in warmen Räumen und warme Leitungen in kalten Räumen müssen wärmegedämmt werden. Unter «kalten Räumen» werden solche verstanden, die ausserhalb der thermischen Gebäudehülle liegen (Keller, Garage, Kaltdach etc.). Mit «kalten Leitungen» sind die Aussenluft- und Fortluftleitungen gemeint. «Warme Leitungen» sind die Zuluft- und Abluftleitungen. Weiter müssen Leitungen gedämmt werden, wenn das Risiko besteht, dass Luftfeuchte an ihnen kondensiert.

Die Wärmedämmung der Luftleitungen muss gemäss Vollzugshilfe EN-105 zur MuKEn 2014 ausgeführt werden. Die jeweiligen Anforderungen sowie der Einfluss von Wärmeverlusten in Luftleitungen auf den Nutzen einer WRG sind in Kapitel 9.7 behandelt.

5.4 Einregulierung und Messung

Der Zu- und der Abluftvolumenstrom müssen in jedem Raum einreguliert, gemessen und protokolliert werden. Bei Einzelwohnungsanlagen werden der gesamte Zu- und der Abluftvolumenstrom einer Wohnung am Lüftungsgerät eingestellt. Bei Mehrwohnungsanlagen geschieht dies in der Regel mit Volumenstromreglern (Wohnungslüftungsbox). Sowohl die Einregulierung als auch die Messung müssen jederzeit mit einem vertretbaren Aufwand durchgeführt werden können. Dies muss im Projekt berücksichtigt werden.

Regulierarmaturen und Drosselemente erzeugen Strömungsgeräusche. Wenn eine Drosselung mithilfe von einstellbaren Zuluft- und Abluftdurchlässen geplant wird, muss deshalb beurteilt werden, ob die Strömungsgeräusche die Normenforderungen bei den zu erwartenden Einstel-

lungen erfüllen. In dieser Hinsicht ist die Einstellung der Luftvolumenströme direkt am Abgang des Verteilers oder am Eingang des Sammlers akustisch oft vorteilhafter.

Vom Einsatz von Konstant-Volumenstromreglern für einzelne Räume wird abgeraten. Sie verursachen hohe Druckverluste und behindern einen mehrstufigen Betrieb.

5.5 Hygiene und Reinigung

Bezüglich Hygiene müssen die Anforderungen der SWKI-Richtlinie VA 104-01 [2] eingehalten werden. Hinweise auf hygienisch relevante Details finden sich auch in den Abschnitten zu den Filtern (Kapitel 9.1), zu Verteilsystemen (Kapitel 6.8) sowie zu Übergabe und Betrieb (Kapitel 12). Generell gilt: Glattwandige Oberflächen können besser gereinigt werden als gewellte oder poröse.

5.6 Literatur

- [1] TopMotors Merkblatt 24 Luftförderung. Download via www.topmotors.ch → Wissen → Merkblätter
- [2] SWKI VA104-01 Raumlufttechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte

Projektierung Komfortlüftung

Stellschrauben bei der Komfortlüftung

Bei der Projektierung tragen folgende Punkte wesentlich zur Qualität einer Lüftungsanlage bei.

Einzelwohnungsanlagen

- Gerätestandort nahe bei der thermischen Gebäudehülle
- Aussen- und Fortluftleitungen innerhalb der thermischen Gebäudehülle minimieren; keinesfalls in warme Betondecken einlegen
- Zu- und Abluftleitungen ausserhalb der thermischen Gebäudehülle minimieren; keinesfalls in kalte Betondecken einlegen.
- Lüftungsgerät mit Energieklasse A oder besser
- Wärmerückgewinnung vorzugsweise mit einem Enthalpieübertrager
- Kein Elektroheizregister, weder als Vereisungsschutz der WRG noch für die Nachwärmung

Mehrwohnungsanlagen

- Die Steigzonen sollen im Grundriss nahe bei den Wohnungsverteilern liegen
- Horizontalverteilung (zwischen Lüftungsgerät und Steigzonen) kurz halten
- Hauptverteilung mit runden Querschnitten (Spiro-Rohre)
- Spezifische interne Ventilatorleistung des Lüftungsgeräts $SPF_{int} \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ respektive $800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})^1$
- Vordruck der Wohnungslüftungsbox respektive des Variabel-Volumenstromreglers max. 20 Pa

Luftverteilung mit Prinzip «Kaskade»

- Keine Zuluft im Wohnbereich
- Kurze Zuluftleitungen, z. B. mit Zuluftdurchlässen über den Zimmertüren
- Prüfen, ob eine Verteilung ohne in Betondecken eingelegte Leitungen möglich ist
- Bei in Betondecken eingelegten Leitungen: Keine Kreuzungen von Luftleitungen
- Bei Räumen, die lange Zuluftleitungen, eventuell mit Kreuzungen, erfordern würden: Mischlösung mit dem Prinzip «Verbund» prüfen (siehe Anlagenbeispiel 3.1).
- Bei einer Bedarfsregelung nach der Luftqualität: im Nachtbetrieb die Anlage mit dem Auslegungsluftvolumenstrom betreiben

Luftverteilung mit Prinzip «Verbund»

- Zuluftvolumenstrom der Wohnung nicht höher auslegen als beim Prinzip «Kaskade»
- Ganztägige Bedarfsregelung nach der Luftqualität

Steuerung/Regelung

Alternativ zur Bedarfsregelung kommen bei Einzelwohnungsanlagen gut sichtbare und zugängliche dreistufige Handschalter infrage; bei Mehrwohnungsanlagen sollten sie mindestens zweistufig sein. Allenfalls ist es sinnvoll, die Handschalter mit einem Zeitprogramm pro Wohnung zu kombinieren.

¹ Dieser Wert muss gemäss EnEV vom Lieferanten des Lüftungsgeräts deklariert werden.

6.1 Massgebender Luftvolumenstrom

Vorgehen

Der massgebende Luftvolumenstrom einer Wohnung wird in sechs Schritten festgelegt:

1. Der **minimale Zuluftvolumenstrom** wird entsprechend dem Prinzip der Luftführung bestimmt. Hinzu kommt noch der Bedarf von allenfalls vorhandenen untergeordneten Räumen, die von derselben Anlage versorgt werden.
2. Der **minimale Abluftvolumenstrom** setzt sich aus der Summe der minimalen Abluftvolumenströme aller Ablufräume zusammen. Hinzu kommt noch der Bedarf von allenfalls vorhandenen Nebenräumen und untergeordneten Räumen, die von derselben Anlage versorgt werden.
3. Der **massgebende Luftvolumenstrom** für die Auslegung entspricht dem höheren Wert aus den ersten beiden Schritten. Auf jeden Fall muss aber der minimale erforderliche Volumenstrom gemäss SIA 382/5 eingehalten sein.
4. Es wird abgeschätzt, ob der **Feuchteschutz** bei Winterbedingungen eingehalten ist. Wenn nötig wird der Luftvolumenstrom erhöht. Um den Feuchteschutz während des ganzen Jahres zu gewährleisten, werden betriebliche Massnahmen definiert.
5. Es wird abgeschätzt, bei welchen Bedingungen die **minimale Raumluftfeuchte** erfüllt ist. Um die Anforderungen für die minimale Raumluftfeuchte ganzjährig zu

erfüllen, werden betriebliche Massnahmen definiert. Wenn der Luftvolumenstrom reduziert werden muss, geht es zurück zu Schritt 1.

6. Der massgebende Volumenstrom gilt für Zu- und Abluft und wird anschliessend auf die Räume aufgeteilt.

Weil Überlegungen zum Anlagenkonzept miteinbezogen werden müssen, ist das Verfahren iterativ. Das heisst: Wenn das vorgängig definierte Anlagenkonzept nicht mit dem hier ermittelten massgebenden Luftvolumenstrom oder den Massnahmen vereinbar ist, kommt auch eine Anpassung der Luftführung oder des ganzen Konzepts infrage.

Die Kontrolle des Feuchteschutzes und der minimalen Raumluftfeuchte sind nur als Schätzungen zu verstehen. Ein Grund dafür ist, dass sich die Feuchteproduktion in einer Wohnung nie genau voraussagen lässt. Zudem sind auch das Lüftungsverhalten der Bewohnenden (mechanische Anlage und Fensterlüftung) und die Infiltration nicht voraussagbar.

Rechenbeispiel 6.1: 4½-Zimmer-Wohnung «Glatt 1»

Die Anlage aus dem Anlagenbeispiel 3.1, «Glatt 1», soll rein als «Kaskade» statt als Mischung zwischen «Kaskade» und «Verbund» ausgelegt werden.

Rahmenbedingungen:

- 4½-Zimmer-Wohnung mit Wohnzimmer im Durchströmbereich
- Die Auslegung der Anlage und die Schätzung zum Feuchteschutz basieren auf einer Belegung mit drei Personen.

■ Die Schätzung zur Einhaltung der minimalen Raumluftfeuchte basiert auf einer Belegung mit zwei Personen.

■ Eine Nutzungsvereinbarung existiert nicht. Es wird mit der Standardnutzung nach SIA 2024 und den Standardbedingungen für den Feuchteschutz nach SIA 180 gerechnet.

■ Die Küche ist ein geschlossener Raum.

■ Vorerst wird von einer Anlage mit Feuchterückgewinnung und Bedarfsregelung ausgegangen.

Schritt	Beschreibung/Bemerkung	Luftvolumenstrom in m ³ /h	
		Zuluft	Abluft
1	Minimaler Zuluftvolumenstrom 3 Zuluftzimmer à 30 m ³ /h	90	–
2	Minimaler Abluftvolumenstrom Gemäss Tabelle 3.2: Bad 30 m ³ /h, Küche 20 m ³ /h	–	50
3	Minimale Luftvolumenströme der Wohnung Höchster Wert aus Schritt 1 und Schritt 2 (der Minimalwert gemäss SIA 382/5 läge bei 50 m ³ /h – und ist in diesem Fall nicht relevant)	90	90
4	Abschätzen des Feuchteschutzes und Massnahmen Gemäss Schritt 3 beträgt der Luftvolumenstrom pro Person 30 m ³ /h. Aus Bild 2.2 lässt sich für die Station «Zürich MeteoSchweiz» ¹⁾ ablesen, dass der Feuchteschutz damit bis ca. +5 °C eingehalten ist. Massnahme für höhere Aussentemperaturen oder höheren Feuchteanfall: Eine Feuchteüberwachung übersteuert die Reduktion des Luftvolumenstroms (Dauerbetrieb statt Bedarfsregelung). Übersteigt der Tagesmittelwert der Aussentemperatur 15 °C, wird die Feuchterückgewinnung deaktiviert (Sommerbetrieb). Der Luftvolumenstrom muss nicht erhöht werden.	90	90
5	Abschätzen der minimalen Raumluftfeuchte und Massnahmen Bei der in diesem Schritt angenommenen Belegung mit zwei Personen ergibt sich aus Schritt 4 ein Luftvolumenstrom von 45 m ³ /h pro Person. Aus Bild 2.2 wird für die Station «Zürich MeteoSchweiz» abgelesen, dass die minimale Raumluftfeuchte von 30 % erst bei Aussentemperaturen unter ca. –2 °C nicht mehr erreicht wird. Damit kann angenommen werden, dass die Anforderung der zulässigen Unterschreitungsdauer von max. 10 % gut eingehalten wird. Der in Schritt 4 bestimmte Luftvolumenstrom ist also von daher in Ordnung. Massnahmen für den Fall einer unterdurchschnittlichen Feuchteproduktion: Benutzeranleitung und Instruktion mit Hinweis auf den bedarfsgerechten Betrieb der Anlage und eventuell zusätzliche Feuchteproduktion (z.B. Raumluftbefeuchter)	90	90
6	Aufteilung auf die Räume Zuluftvolumenstrom pro Zimmer 30 m ³ /h Abluftvolumenstrom Bad 40 m ³ /h, Küche 50 m ³ /h Bemerkung: Die Überströmluftdurchlässe für Bad und Küche müssen den Volumenströmen angepasst werden – 7 mm Luftspalt unter der Tür sind zu knapp.	90	90

1) In SIA 2028 heisst die Station «Zürich MeteoSchweiz», auf der Webseite von MeteoSchweiz heisst sie aber «Zürich/Fluntern».

Tabelle 6.1: Beispiel für die Bestimmung des massgebenden Luftvolumenstroms mit Prinzip Kaskade.

Variantendiskussion

Der Luftvolumenstrom für eine Anlage nach dem Prinzip «Kaskade» bleibt bei 90 m³/h – gleich wie beim real ausgeführten Mischsystem. Der Unterschied ist nur, dass bei der Kaskadenlüftung die 30 m³/h Zuluft allen Zimmern direkt zugeführt wird. Deshalb fallen gegenüber der realen Anlage der Verbundlüfter für Zimmer 3 und die Zuluft im Wohnzimmer respektive im Korridor weg.

Würde die Wohnung nach dem Prinzip «Verbund mit aktiver Verteilung» mit 50 m³/h Luftvolumenstrom pro Verbundlüfter ausgelegt, resultierte ebenfalls derselbe massgebende Luftvolumenstrom von

90 m³/h. Der Unterschied ist, dass die gesamte Zuluft im Wohnzimmer oder Korridor zugeführt würde. Realisiert man die Verbundlüftung mit freier Verteilung über offene Zimmertüren, könnte ein massgebender Luftvolumenstrom von 60 m³/h gewählt werden. Allerdings sollte dabei wegen des Feuchteschutzes entweder auf die Feuchterückgewinnung oder die Bedarfsregelung verzichtet werden. Eine der beiden Massnahmen sollte aber wegen der minimalen Raumluftfeuchte unbedingt umgesetzt werden.

6.2 Steuerung/Regelung und Bedienung

Wie aus dem Beispiel zur Bestimmung des massgebenden Luftvolumenstroms geschlossen werden kann, hängt die Frage der richtigen Steuerung/Regelung mit dem Prinzip der Luftführung und einer allenfalls vorhandenen Feuchterückgewinnung zusammen. Sowohl bei der Feuchterückgewinnung als auch bei einer Bedarfsregelung soll die Abluftfeuchte überwacht werden.

Bei einer Regelung nach der Raumluftqualität ist nicht sichergestellt, dass bei tiefem CO₂-Gehalt der Raumluft der Feuchteschutz eingehalten ist. Beim Prinzip «Kaskade» sollen auch die Hinweise in Kapitel 3.3 beachtet werden. Bezuglich des Brandschutzes gilt allgemein Kapitel 1.8.

6.3 Luftverteilung in der Wohnung

Hinweise zu Verbundlüftern finden sich in Kapitel 3.4. Hier wird nur die Luftverteilung für das Prinzip «Kaskade» behandelt.

Stern- und Baumstruktur

Die Zuluft- und Abluftleitungen zu bzw. von den Räumen können in einer Stern- oder in einer Baumstruktur angeordnet werden, wie sie in Bild 6.1 dargestellt sind. Die Vorteile der Baumstruktur sind:

■ Insgesamt kürzere Leitungslänge und damit weniger graue Energie als bei der Sternverteilung (bei gleichem Leitungsma- terial)

- Keine Verteilerkästen
- Geringerer Platzbedarf, da der Verteilerkasten wegfällt

Ein wesentlicher Nachteil der Baumstruktur ist, dass zwischen Räumen Schall übertragen werden kann. Deshalb erfordert sie oft den Einbau von Telefonieschalldämpfern. Der Vorteil der Sternstruktur ist, dass die Verteilerkästen eine namhafte Schalldämmwirkung aufweisen. Es stehen Produkte mit schalldämmender Auskleidung zur Verfügung, die sowohl Telefonieschall als auch Ventilatorgeräusche dämpfen. Die Verteilerkästen müssen für Inspektion und Reinigung zugänglich sein, in der Regel über einen Revisionsdeckel.

Leitungsführung unter der Decke

Die Installation der Kanäle unter der Decke eignet sich vor allem bei Zuluft- und Abluftdurchlässen oberhalb der Tür. Ein grosser Vorteil ist die Systemtrennung zwischen der Tragstruktur und den technischen Installationen.

Aus ästhetischen Gründen werden die Kanäle meistens durch eine abgehängte Decke verkleidet. Dies reduziert die lichte

Bild 6.2: Luftleitung in abgehängter Decke.

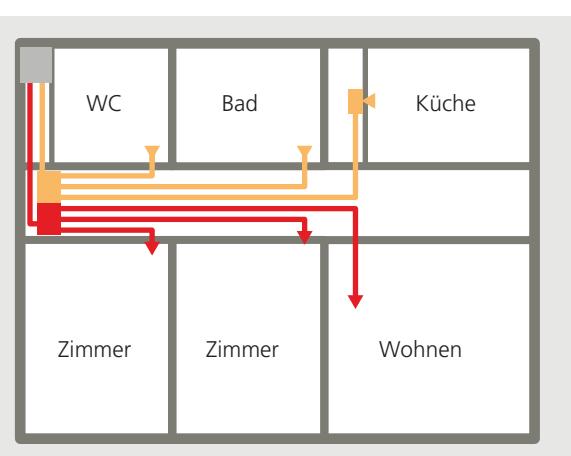
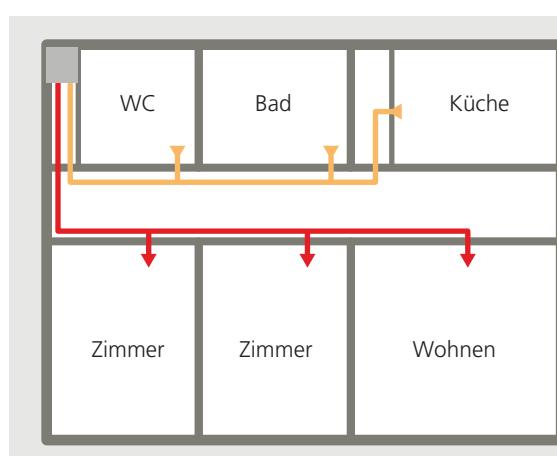
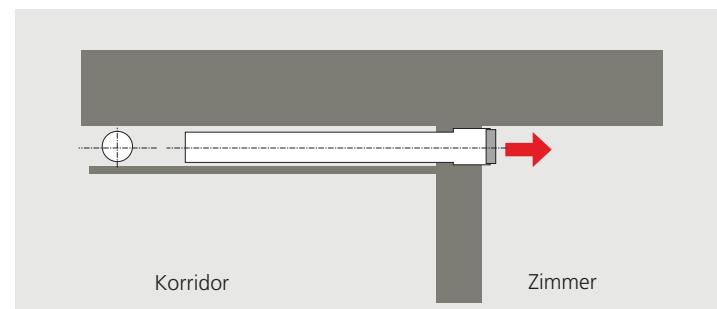


Bild 6.1: Luftverteilung in der Wohnung mit Baumstruktur (links) und Sternstruktur.

Raumhöhe um etwa 12 bis 15 cm, was im Korridor in den meisten Fällen architektonisch vertretbar ist. Im Hohlraum lassen sich bei Bedarf auch Verteilerkästen und Schalldämpfer installieren, sofern sie via Revisionsdeckel zugänglich sind. Bild 6.2 zeigt eine Luftleitung in einer abgehängten Decke. Grundsätzlich können die Kanäle aber auch offen montiert werden.

Leitungsführung in der Betondecke

Wegen der einfachen Planung und Installation werden Lüftungsrohre oft in Betondecken eingelegt. Voraussetzung ist, dass die Decke mindestens 25 cm stark ist. Zudem muss vom Bauingenieur geklärt werden, ob sich die Armierung für das Einlegen von Lüftungskanälen eignet. Je nach statischen Gegebenheiten und Leitungsführung könnte die Armierung Verstärkungen benötigen.

Ein Nachteil dieser Variante ist, dass sich die Leitungen nicht ersetzen lassen. Das Einbetonieren widerspricht der Systemtrennung, die beim nachhaltigen Bauen gefordert wird. Bei dieser Verlegeart ist zu beachten:

- Kreuzungen von Leitungen müssen vermieden werden. Beim Kreuzen von runden Leitungen wären Betondecken von 30 cm oder mehr erforderlich. Flache Kreuzungsstücke behindern die Reinigung.
- Bei Bodenauslässen durchdringt die Leitung oder der Anschlusskasten des Luftdurchlasses die Trittschalldämmung. Um Schallbrücken zu vermeiden, sind eine akustische Entkopplung und sorgfältiges Arbeiten erforderlich.
- Einlegearbeiten in Betondecken finden im rauen Rohbauklima statt. In dieser Phase ist eine Baustelle nass und aus lüftungstechnischer Sicht schmutzig. Beson-

ders bei Bodenauslässen besteht das Risiko für Verschmutzungen und das Eindringen von Wasser.

Zu- und Abluftleitungen dürfen nur in «warmen» Betondecken verlegt werden. Besonders bei Decken über unbeheizten Räumen gilt es deshalb, die Lage der Wärmedämmung zu beachten. Leitungen in kalten Decken lassen sich kaum soweit wärmedämmen, dass die geforderte Zulufttemperatur eingehalten wird respektive, dass in der Abluft kein Kondensationsrisiko auftritt. Die Dämmstärken der Kanäle müssten zwischen 50 und 100 mm liegen, was zu Aussendurchmessern der gedämmten Leitungen von rund 20 bis 30 cm führt. Dies wäre sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich unsinnig. Bild 6.3 zeigt eine Luftleitung, die in einer Betondecke eingelegt ist.

Leitungsführung in der Fassade

Bei Erneuerungen mit Wärmedämmung der Fassade besteht allenfalls die Möglichkeit, Zu- und Abluftleitungen entlang der Fassade zu führen. In einem Forschungsprojekt der Fachhochschule Nordwestschweiz von 2010 [1] wurden vorfabrizierte Fassadenelemente für Modernisierungen mit integrierten Lüftungsleitungen entwickelt. Der zugehörige Bericht liefert viele wertvolle Hinweise für die Leitungsführung an Fassaden. Bild 6.4 zeigt die Leitungsführung an der Fassade.

Bei dieser Verlegeart gilt es zu beachten:

- Brandschutzanforderungen bei MFH: Die Leitungen werden ausserhalb des Brandabschnitts der Wohnung geführt. Diesbezüglich empfiehlt es sich unbedingt, frühzeitig Kontakt mit den örtlichen Brandschutzbehörden aufzunehmen.

Bild 6.3: Luftleitung in Betondecke eingelegt.

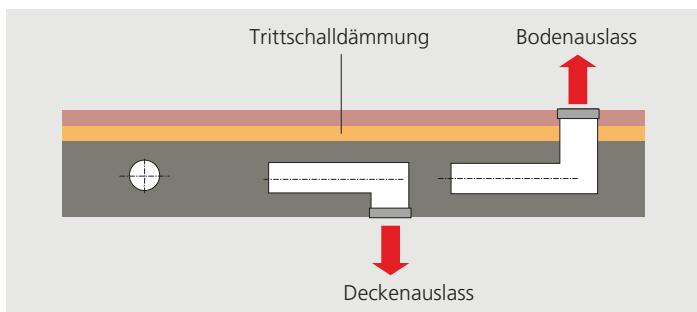


Bild 6.4: Leitungsführung an der Fassade.



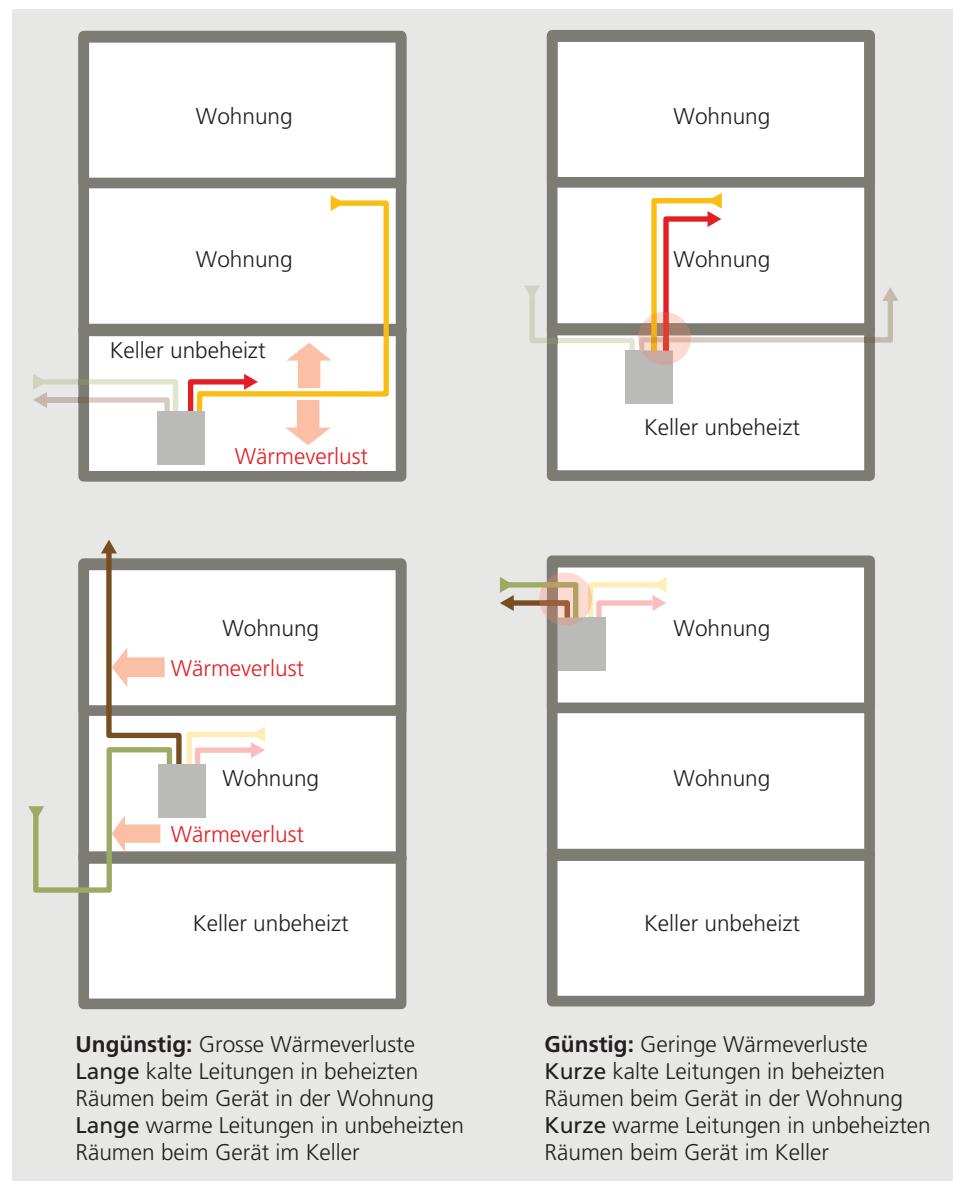
- Der Wärmedurchgangswiderstand (R-Wert) von der Luftleitung gegen aussen soll etwa viermal grösser sein als der R-Wert von der Luftleitung gegen den Innenraum.
- Bei Gebäuden mit mehr als drei Geschossen resultieren sehr lange Leitungen. Dies erschwert die Reinigung.

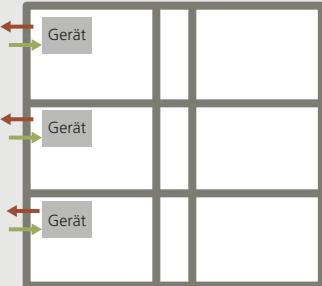
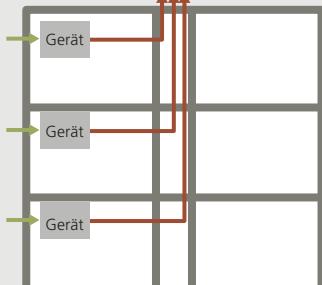
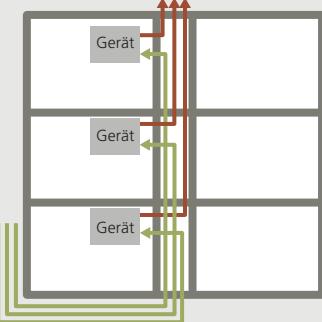
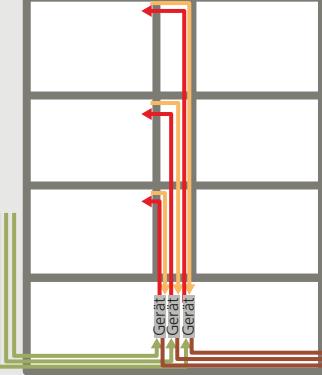
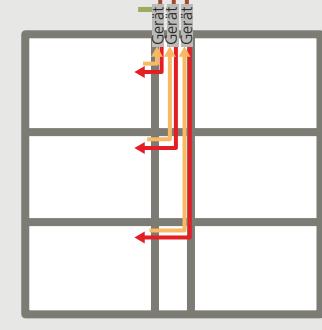
6.4 Layout von Einzelwohnungsanlagen

Gerätestandort

Wird das Lüftungsgerät innerhalb der thermischen Gebäudehülle platziert, muss darauf geachtet werden, dass Aussenluft- und Fortluftleitungen im beheizten Bereich möglichst kurz sind (Bild 6.5). Diese Leitungen müssen je nach Situation mit 30 bis 100 mm Wärmedämmung ausgerüstet werden (siehe Kapitel 9.7). Der Aussen-durchmesser (inkl. Dämmung) liegt damit im Bereich von 200 bis 400 mm.

Wenn vorgesehen ist, dass das Gerät in der Wohnung steht, dann sollte es also nicht im Kern der Wohnung stehen, son-



Skizze	Variante	Vorteile	Nachteile
	A) Geräte in den Wohngeschossen, AUL- und FOL-Durchlässe an der Fassade Hinweis: AUL- und FOL-Leitungen nicht in die Betondecke einlegen.	<ul style="list-style-type: none"> Keine Wärmeverluste in den ZUL- und ABL-Leitungen Sehr geringe Wärmeverluste in AUL- und FOL-Leitungen möglich Keine Luftleitungen in der Steigzone Bezüglich Brandschutz unproblematisch 	<ul style="list-style-type: none"> FOL an Fassade ist nicht immer zulässig Das Gerät soll möglichst nahe bei einer Außenwand stehen Der minimale Abstand von AUL- und FOL- Durchlässen verschiedener Wohnungen muss gewährleistet sein
	B) Geräte in den Wohngeschossen, AUL-Durchlässe an der Fassade, FOL über Dach Hinweis: AUL-Leitungen nicht in die Betondecke einlegen.	<ul style="list-style-type: none"> Keine Wärmeverluste in den ZUL- und ABL-Leitungen Geringe Wärmeverluste der AUL-Leitungen möglich Keine AUL-Leitungen in der Steigzone 	<ul style="list-style-type: none"> Wärmeverluste der FOL-Leitungen Grosser Platzbedarf der wärmedämmten FOL-Leitungen in der Steigzone Brandschutzbauvorschriften beachten
	C) Geräte in den Wohngeschossen, AUL via Steigzone, FOL über Dach	<ul style="list-style-type: none"> Keine Wärmeverluste in den ZUL- und ABL-Leitungen Keine Luftdurchlässe an der Fassade Frostschutz mit Erdreich-Wärmeübertrager oder zentraler Vorwärmung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Wärmeverluste der AUL- und FOL-Leitungen Grosser Platzbedarf der wärmedämmten Leitungen in der Steigzone Brandschutzbauvorschriften beachten
	D) Geräte im UG, ZUL und ABL via Steigzone	<ul style="list-style-type: none"> Sehr geringe Wärmeverluste in allen Luftleitungen möglich Keine Luftdurchlässe an der Fassade Frostschutz mit Erdreich-Wärmeübertrager oder zentraler Vorwärmung möglich Zentraler Zugang zu den Geräten 	<ul style="list-style-type: none"> Platzbedarf in den Steigzonen (dafür ungedämmte Leitungen) Die Geräte sollen möglichst nahe bei den Steigzonen stehen Brandschutzbauvorschriften beachten
	E) Geräte auf dem Dach, ZUL und ABL via Steigzone	<ul style="list-style-type: none"> Sehr geringe Wärmeverluste in allen Luftleitungen möglich Keine Luftdurchlässe an der Fassade 	<ul style="list-style-type: none"> Platzbedarf in den Steigzonen (dafür ungedämmte Leitungen) Spezielle Geräte erforderlich Zugang zu den Lüftungsgeräten muss gelöst werden Brandschutzbauvorschriften beachten

dern nahe der Außenwand. Befindet sich das Gerät außerhalb der thermischen Gebäudehülle, benötigen die Zuluft- und Abluftleitungen bis zum Eintritt in den beheizten Bereich 30 bis 100 mm Wärmedämmung. Dabei gilt es zu beachten, dass Geräte mit Kondensatablauf, Heizungs- oder Wasseranschlüssen in frostfreien Räumen platziert werden müssen.

Der Aufstellungsort soll zudem so gewählt werden, dass das Lüftungsgerät keinen Schall in die Wohnung abstrahlt. Im Aufstellungsraum selbst darf es auch nicht zu laut sein, weil sonst Schall über das Gerätegehäuse oder die Luftleitungen in die Wohnung gelangen kann.

Tabelle 6.2 zeigt mögliche Varianten für die Gerätestandorte und die Hauptverteilung mit ihren Vor- und Nachteilen. Die Varianten B bis E sind bewusst so dargestellt, dass die Anlagen keine gemeinsamen Leitungen aufweisen. Teilweise werden Außen- oder Fortluftleitungen zusammengefasst, um kleinere Steigzonen zu erhalten. Dabei besteht das Risiko von Geruchsübertragungen bei unterschiedlichen Betriebszuständen der einzelnen Geräte. Rückschlagklappen zum Vermeiden von Rückströmungen sind nicht zu empfehlen, da sie hohen Druckverlust und Geräusche verursachen. Zudem schliessen sie oft nicht dicht. Motorklappen sind teuer und erfordern zusätzliche Wartung.

Eine weitere Lösung bei gemeinsamen Leitungen besteht darin, dass die Geräte auch im Aus-Modus mit minimaler Ventilatordrehzahl betrieben werden. Dabei muss aber speziell bei Eigentumswohnungen

geklärt werden, ob dieser Betriebsmodus akzeptiert wird und wie die Brandfallsteuerung gelöst wird. Wenn mehrere Einzelwohnungsanlagen gemeinsame Leitungen haben, werden sie aus Sicht des Brandschutzes zu einer einzigen Anlage, siehe dazu Hinweise in Kapitel 1.8.

In einer Untersuchung der Hochschule Luzern von 2021 [2] wurden die fünf Varianten am Beispiel eines neuen MFH mit fünf 4½-Zimmer- und fünf 5½-Zimmer-Wohnungen verglichen. Tabelle 6.3 zeigt den Vergleich für den Elektrizitätsverbrauch, die Lüftungswärmeverluste und die graue Energie. Da die Kennwerte ja nach Situation variieren, ist noch die übliche Spannweite angegeben. Ergänzend zur Betrachtung in [2] wurde der jährliche Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie abgeschätzt. Dabei wurde eine WP-Heizung mit einer Jahresarbeitszahl von 3,5 angenommen. Der Primärenergiefaktor für elektrische Energie ist in Anlehnung an den aktuellen Wert der EU mit 2,0 eingesetzt. Die graue Energie wird über eine Nutzungsdauer von 30 Jahren abgeschrieben.

Variante A schneidet bei allen aufgeführten Einflussfaktoren am besten ab. Die Varianten D und E wurden in [2] recht konservativ beurteilt. Bei günstigen Voraussetzungen ist eine gleich gute Bewertung wie bei System B möglich. Der Vergleich berücksichtigt die Instandhaltung nicht. Im Falle einer Wartung durch eine externe Firma würde System D klar am besten abschneiden.

Tabelle 6.3: Einfluss des Layouts von Komfortlüftungen (Einzelwohnungsanlagen) auf den Energiebedarf. Die Varianten beziehen sich auf Tabelle 6.2.

Einflussfaktor	Basiswert ¹⁾		Variante				
			A	B	C	D	E
Elektrizitätsverbrauch	2 kWh/m ² _{el}	Mittelwert	60 %	80 %	100 %	120 %	100 %
		Bereich	50–70 %	70–100 %	90–120 %	100–140 %	90–120 %
Lüftungswärmeverluste	10 kWh/m ² _{th}	Mittelwert	90 %	100 %	105 %	95 %	95 %
		Bereich	80–100 %	90–110 %	95–115 %	85–105 %	85–105 %
Graue Energie	120 kWh/m ² _{eq}	Mittelwert	60 %	75 %	110 %	140 %	100 %
		Bereich	50 %–90 %	60–90 %	80–140 %	100–170 %	80–120 %
Primärenergie, Heizung mit Wärmepumpe	13 kWh/m ² _p	Mittelwert	80 %	90 %	110 %	120 %	100 %
		Bereich	65–85 %	80–100 %	105–115 %	100–140 %	90–115 %
Investitionskosten, exkl. Raumbedarf	140 Fr./m ²	Mittelwert	80 %	90 %	105 %	120 %	100 %
		Bereich	60–100 %	70–110 %	80–120 %	100–140 %	80–120 %

1) bezogen auf die Energiebezugsfläche

Bild 6.6 zeigt beispielhaft, wo Lüftungsgeräte in einem Wohngeschoß platziert werden können:

- **Standort 1** im Bad (passt zu Variante A und B von Tabelle 6.2) ist akustisch gut lösbar. Im Beispiel von Bild 6.6 ist auch die Luftverteilung in der Wohnung einfach zu bewerkstelligen.
- Bei **Standort 2** im Kochbereich (passt zu Variante A und B) ist das Gerät stehend oder liegend im Schrank über der Küchenkombination eingebaut. Aus akustischen Gründen sollte dieser Standort nur bei Küchen mit Türen gegen den Rest der Wohnung gewählt werden.
- Beim **Standort 3 im Korridor** (passt zu Variante B und C) ist das Gerät in einem Schrank eingebaut. Aus akustischen Gründen sollte dieser Standort möglichst nur bei Korridoren mit Türen gegen den Rest der Wohnung gewählt werden.
- Bei **Standort 4 im Abstellraum** (passt zu Variante C) ist im Beispiel wahlweise ein Zugang vom Treppenhaus oder von

der Wohnung her möglich. Akustisch ist Standort 4 eine sehr gute Lösung. Bei einem Zugang vom Treppenhaus her müssen die Brandschutzanforderungen beachtet werden.

- Ein **Standort 5 auf dem Balkon oder in einem Erschließungsbereich außerhalb der thermischen Gebäudehülle** (passt zu Variante A) führt je nach Rahmenbedingungen zu sehr kurzen Zu- und Abluftleitungen. Speziell beim Platzieren auf dem Balkon sind die Geruchsemisionen von darunter liegenden Balkonen (Rauchen, Grillieren) heikel. Zudem gilt es auch, die Geräusche von Aussen- und Fortluftdurchlässen zu beachten. Die Geräte müssen für die Aufstellung an kalten Standorten geeignet sein. Da zudem auch ein Kondensatablauf nur schwer machbar ist, kommen praktisch nur Geräte mit Enthalpieübertragern infrage.

Wegen ihrer Geräuschentwicklung sollten Lüftungsgeräte nicht in Wohn- oder

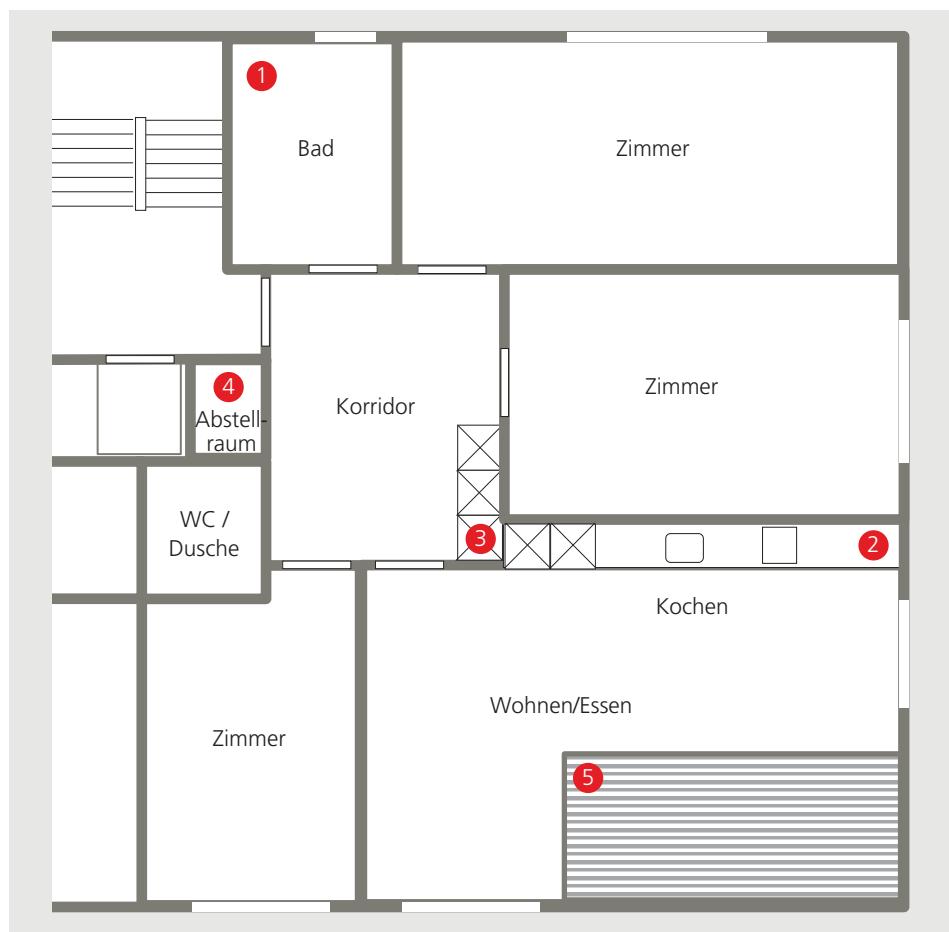


Bild 6.6: Beispiele für Standorte von Lüftungsgeräten in einem Wohngeschoß.

Schlafzimmern respektive in offenen Wohn-/Ess-/Kochbereichen platziert werden. Falls keine anderen Standorte infrage kommen, ist dies aber mit speziellen akustischen Massnahmen und leisen Geräten dennoch möglich. Das Gerät muss dann in einen akustisch speziell ausgebildeten Schrank eingebaut werden. Der Schrank muss luftdicht sein. Unter anderem erfordert dies eine Tür mit umlaufender Dichtung sowie einen Beschlag mit genügender Schliesskraft. Für solche Lösungen sollte immer ein Akustikexperte beigezogen werden.

Druckverlust

Der Druckverlust der Aussenluft-/Zuluftseite entspricht dem Druckverlust vom Aussenluft-Durchlass bis zum Geräteeintritt plus dem Druckverlust vom Gerätetaustritt bis zum Zuluftraum. Analoges gilt für die Abluft-/Fortluftseite. Da diese Druckverluste ausserhalb des Lüftungsgeräts anfallen, werden sie als externe Druckverluste bezeichnet.

Tabelle 6.4 zeigt den Ziel- und Grenzwert für die externen Druckverluste gemäss SIA 382/5. Dabei ist zu beachten, dass in der Norm die externen Druckverluste von Aussenluft-/Zuluftseite und Abluft-/Fortluftseite addiert sind. Daher werden dort doppelt so hohe Werte aufgeführt.

Lüftungsgeräte für Einzelwohnungsanlagen

Gemäss der schweizerischen Energieeffizienzverordnung (EnEV) müssen Lüftungsgeräte nach der Verordnung (VO) EU 1254/2014 deklariert werden. Darin wird verlangt, dass der Geräteleferant unter anderem die Leistungskenndaten gemäss Tabelle 6.5 ausweist. Es wird empfohlen, die Werte der mittleren Spalte zu fordern, respektive die aufgeführte Klasse der Norm SN EN 13142:2021. Ergänzend muss gefordert werden, dass ein Zuluftfilter mindestens der Klasse ISO ePM1 50 % vorhanden ist und dass das Gerät mit diesem Filter geprüft wurde.

Empfehlenswert ist zudem, Geräte mit Enthalpieübertragern einzusetzen. Weitere Hinweise zu Geräten und zum Vereisungsschutz finden sich in Kapitel 9.

6.5 Layout von Mehrwohnungsanlagen

Gerätestandort

Tabelle 6.6 zeigt mögliche Varianten für die Gerätestandorte und die Hauptverteilung mit ihren Vor- und Nachteilen. Gemäss dem Vergleich in [2] liegen die Unterschiede bei Betriebsenergie, grauer Energie und Investitionskosten im Bereich von $\pm 5\%$, wobei die Kosten der Varianten A

Anforderung	Max. externer Druckverlust ¹⁾	Beschreibung
Zielwert	50 Pa	Verteilnetze mit geringer Ausdehnung, z. B. Prinzip «Verbund»
Grenzwert	75 Pa	Verteilnetze mit mittlerer und grösserer Ausdehnung sowie speziellen Komponenten wie externem Vereisungsschutz, zusätzlicher Filterbox etc.

1) gilt sowohl für die Aussenluft-/Zuluftseite als auch für die Abluft-/Fortluftseite

Tabelle 6.4: Druckverluste von Einzelwohnungsanlagen.

Bezeichnung gemäss VO EU 1254/2014	Empfohlener Wert	Von SN EN 13142 empfohlene Klasse
Klasse des spezifischen Energieverbrauchs	A	
Temperaturänderungsgrad der WRG	$\geq 73\%$	TRS 3
Spezifische Eingangsleistung (deutsch SEL, englisch SPI)	$\leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ resp. $\leq 720 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	SPI 1
Äussere Leckluftquote	$\leq 1,0\%$	A1 oder B1 oder C1
Innere Leckluftquote (für Platten-Wärmeübertrager)	$\leq 1,0\%$	A1
Übertragung (für Rotoren)	$\leq 3,0\%$	B2 oder C2

Tabelle 6.5: Leistungskenndaten von Wohnungslüftungsgeräten (WLA) gemäss VO EU 1253/2014 und von SN EN 13142 empfohlene Klasse.

Tabelle 6.6: Varianten für Gerätetestandorte und Hauptverteilung bei Komfortlüftungen (Mehrwohnungsanlagen).

Skizze	Variante	Vorteile	Nachteile
	A) Ein Gerät auf dem Dach	<ul style="list-style-type: none"> Kurze AUL und FOL-Leitungen Kein Platzbedarf im UG 	<ul style="list-style-type: none"> Wärmeverluste ZUL- und FOL-Leitungen auf Dach Gerät für Aussenauflistung nötig (höhere Kosten und graue Energie) Wartung auf dem Dach Belegung von hochwertiger Dachfläche
	B) Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	<ul style="list-style-type: none"> Kurze AUL- und FOL-Leitungen Kurze AUL- und ZUL-Leitungen Kein Platzbedarf im UG 	<ul style="list-style-type: none"> Mehrere Geräte für Aussenauflistung nötig Wartung auf dem Dach Belegung von hochwertiger Dachfläche
	C) Ein Gerät im UG	<ul style="list-style-type: none"> Einfach zugänglich für die Wartung Erdreich-Wärmeübertrager möglich Kurze Leitungen für Anschluss von Heiz-/Kühlregistern 	<ul style="list-style-type: none"> Raumbedarf im UG Horizontale Leitungsführung im UG (evtl. grösere Geschosseshöhe) Oft lange, gedämmte Verrohrung für AUL und FOL Grosse Steigzone, wenn FOL über Dach geführt
	D) Ein Gerät pro Steigzone im UG	<ul style="list-style-type: none"> Einfach zugänglich für die Wartung Erdreich-Wärmeübertrager möglich Kurze Leitungen für Anschluss von Heiz-/Kühlregistern Im UG kurze ZUL- und ABL-Leitungen 	<ul style="list-style-type: none"> Raumbedarf im UG Oft lange, gedämmte Verrohrung für AUL und FOL Grosse Steigzone, wenn FOL über Dach geführt Mehrere Geräte nötig (Kosten, graue Energie, Instandhaltung)
	E) Ein Gerät im UG, ein Gerät auf dem Dach	<ul style="list-style-type: none"> Minimierte Steigzonen Geringerer Raumbedarf im UG Für hohe schlanke Gebäude geeignet (Hochhäuser) 	<ul style="list-style-type: none"> Da die Geräte im UG und auf dem Dach stehen, gelten hier die Nachteile beider Aufstellungsvarianten

bis D sehr ähnlich sind und Variante F im oberen Bereich liegt.

Die grossen Unterschiede resultieren beim Raumbedarf (Technikräume, Steigzonen) im Gebäude. Die Varianten A und B benötigen hier nur rund 10 % des Volumens der Varianten C und D. Variante E liegt dazwischen. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass bei Geräten auf dem Dach ein grosser Konflikt mit Attikawohnungen, Dachgärten etc. besteht.

Wohnungslüftungsbox und Steuerung/Regelung

Bei Mehrwohnungsanlagen muss entschieden werden, ob die Lüftungsstufe in den Wohnungen wählbar sein soll oder nicht. Diese Frage stellt sich bereits beim Bestimmen des massgebenden Luftvolumenstroms (siehe Kapitel 6.1). Zudem verlangt Minergie bei Neubauten eine Bedarfssteuerung und/oder eine Regelung pro Wohnung. Bild 6.7 zeigt eine Variante mit einstufigem Betrieb und eine Variante mit Bedarfssteuerung/Regelung.

Eine wohnungsweise Bedarfssteuerung/Regelung wird für die Prinzipien «Kaskade» und «Verbund» mit aktiver Verteilung empfohlen. Beim Prinzip «Verbund» mit freier Verteilung hängt es vom gewählten Luftvolumenstrom ab (siehe Kapitel 3.5): Wenn nur die minimal notwendigen 20 m³/h pro Person zugeführt wer-

den, stellt sich die Frage, ob der Aufwand für einen mehrstufigen Betrieb gerechtfertigt ist. Wie aus dem Rechenbeispiel 6.1 hervorgeht, sollte bei einstufigem Betrieb aber ein Enthalpieübertrager vorhanden sein.

Bei einer Bedarfssteuerung/Regelung wird pro Wohnung eine sogenannte Wohnungslüftungsbox eingesetzt. Bei diesen Geräten sind Variabel-Volumenstromregler, Schalldämpfer und Steuerung in einem Gehäuse zusammengebaut.

Eine Untersuchung der Fachhochschule Nordwestschweiz von 2012 [3] hat verschiedene Produkte verglichen und daraus die folgenden Empfehlungen für Planung und Auswahl von Wohnungslüftungsboxen ableitet:

- Der erforderliche Vordruck bei Normalbetrieb sollte maximal 20 Pa erreichen.
- Die Luftverteilung und die Ventilatorregelung sollen so ausgelegt werden, dass der Vordruck in keiner Betriebsstufe über 50 Pa steigt. Um dies zu gewährleisten, ist auch eine sorgsame Inbetriebnahme erforderlich.
- Beim maximalen Vordruck sollte der an die Zuluft und der an die Abluft abgegebene Schalleistungspegel bei maximal 30 dB (A) liegen. Damit sind meistens keine zusätzlichen Schalldämpfer erforderlich.
- Beim maximalen Vordruck sollte die Gehäuseabstrahlung höchstens 25 dB (A) er-

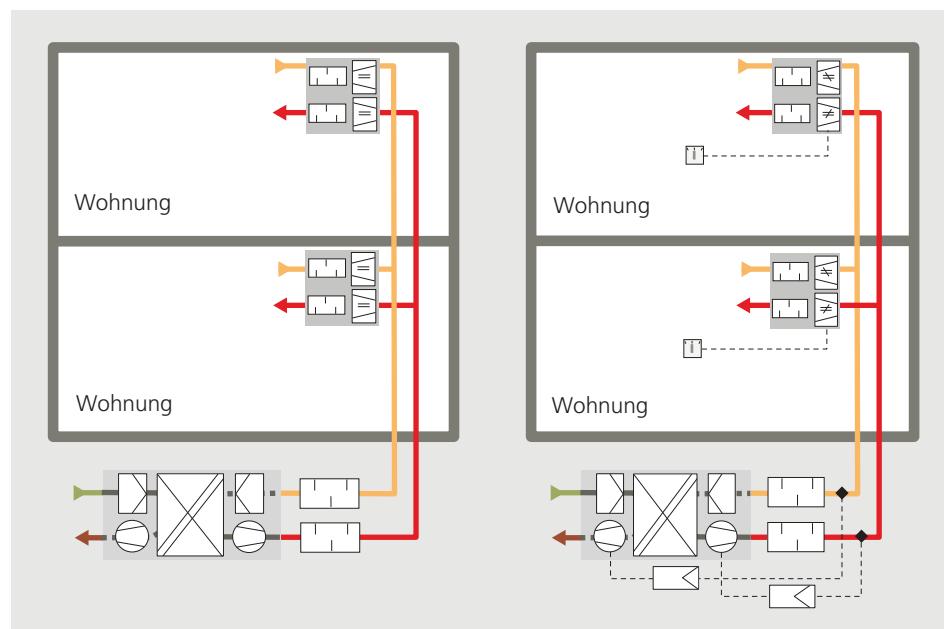


Bild 6.7: Prinzip von Mehrwohnungsanlagen mit einstufigem Betrieb (links) und mit Bedarfsteuerung.

reichen. Ist dies nicht zu erfüllen, müssen bauliche Massnahmen geprüft werden, etwa die Installation in einem Technikraum.

■ Die durchschnittliche elektrische Aufnahmleistung der Steuerung sollte 2 W nicht überschreiten. Bei einigen Fabrikaten ist der Strömungssensor der Hauptverbraucher.

■ Die Leckrate sollte bei einem Prüfdruck von 100 Pa nicht höher als 2 % sein.

Schallmessungen im Labor werden üblicherweise bei ungestörter Anströmung durchgeführt. Wenn Wohnungslüftungsboxen nahe bei Bögen, T-Stücken oder anderen Strömungsstörstellen eingesetzt werden, muss mit dem Lieferanten geklärt werden, ob spezielle akustische Massnahmen erforderlich sind.

Es empfiehlt sich, Produkte einzusetzen, bei denen Volumenstromregler, Steuerung und Schalldämpfer fix in einem Gehäuse zusammengebaut sind. Ratsam ist auch, Systemlösungen zu wählen, bei denen neben der Wohnungslüftungsbox auch das Lüftungsgerät und dessen Steuerung enthalten sind.

Wie in Bild 6.7 dargestellt, bedingt eine Bedarfssteuerung/Regelung auch drehzahlgeregelte Ventilatoren. Die Drucksensoren werden idealerweise unmittelbar vor der ersten Verzweigung in der Zu- und Abluftverteilung installiert.

Druckverluste und Energiebedarf für die Luftförderung

Eine sorgfältig geplante und einregulierte Mehrwohnungsanlage benötigt für die Luftförderung 2 bis 3 kWh Strom pro m² Energiebezugsfläche. Dies gilt für den Fall, dass die minimalen Luftvolumenströme gemäss Kapitel 3 und 6.1 gewählt wurden und eine Bedarfssteuerung/Regelung vorhanden ist. Weiter müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Der Druckverlust der Zuluftverteilung in der Wohnung liegt bei höchstens 40 Pa. Dasselbe gilt für die Abluftverteilung.
- Der Vordruck der Wohnungslüftungsbox respektive des Volumenstromreglers beträgt höchstens 20 Pa.
- Der Druckverlust der Hauptverteilung inklusive den Formstücken beträgt höchstens 1 Pa/m (vgl. Kapitel 5.2)
- Der Druckverlust vom Aussenluft-Durchlass bis zum Eintritt in das Lüftungsgerät liegt bei höchstens 40 Pa. Dasselbe gilt für die Fortluftseite.

Lüftungsgeräte für Mehrwohnungsanlagen

Gemäss der schweizerischen Energieeffizienzverordnung (EnEV) müssen Lüftungsgeräte nach der EU-Verordnung 1253/2014 deklariert werden. Letztere verlangt, dass der Gerätelieferant unter anderem die Leistungskennwerte gemäss Tabelle 6.7 ausweist. Für die Auslegung ist

Bezeichnung gemäss VO EU 1253/2014	Empfohlener Wert	Mind. empfohlene Klasse gem. Norm
Thermischer Übertragungsgrad der Wärmerückgewinnung	≥ 73 %	SN EN 13053: Klasse H2
Innere spezifische Ventilatorleistung von Lüftungsbauteilen (deutsch SVL_{int} , englisch SFP_{int})	≤ 0,22 W/(m ³ /h) resp. ≤ 800 W/(m ³ /s)	
Anströmgeschwindigkeit bei Auslegungs-Luftvolumenstrom	≤ 2 m/s	SN EN 13053: Klasse V3
Äussere Leckluftquote	≤ 0,5 %	SN EN 16798-3: Klasse ATC3
Innere Leckluftquote (für Platten-Wärmeübertrager)	≤ 1 %	
Übertragung (nur für Rotoren) ¹⁾ (Bezeichnung gemäss EN 308: EATR)	≤ 3 %	SN EN 16798-3: Klasse 1
Energetische Eigenschaften der Filter, vorzugsweise Energieeinstufung	Enddruckdifferenz Zuluftfilter ≤ 200 Pa	Eurovent Energieklasse A

1) Sie beschreibt die Übertragung von Abluft in die Zuluft

Tabelle 6.7: Leistungskennwerte von Nichtwohnungs-Lüftungsgeräten (NWLA) gemäss VO EU 1253/2014 und empfohlene Anforderung.

es sinnvoll, die Werte der Spalte «Empfohlener Wert» zu fordern, respektive die Klasse gemäss der angegebenen Norm. Ergänzend fordert die SIA 382/5, dass der Zuluftfilter mindestens die Klasse ISO ePM1 50 % hat und dass die Leistungskenndaten mit der deklarierten oder einer besseren Filterklasse ermittelt wurden.

Bei Mehrwohnungsanlagen werden vermehrt Enthalpieübertrager eingesetzt. So wohl bei Rotoren als auch bei Plattenübertragern muss aber die Frage von Geruchsübertragungen zwischen Wohneinheiten im Auge behalten werden. Besonders Kochgerüche werden schon in kleinsten Spuren wahrgenommen und berechtigterweise von Bewohnern reklamiert. Deshalb muss bei der Geräteauswahl geklärt werden, dass die vorgesehene WRG keine Gerüche überträgt.

Um die Gefahr von Geruchsübertragungen zu verringern, werden die Beschichtungen von Rotoren und die Membranen von Plattenübertragern aber laufend verbessert. Damit kann davon ausgegangen werden, dass Enthalpieübertrager künftig auch bei Mehrwohnungsanlagen zum Standard werden.

Enthalpieübertrager erhöhen übrigens nicht nur die Raumluftfeuchte, sondern eignen sich auch sehr gut als Vereisungsschutz. Bei Gerätestandorten nach den Varianten C und D aus Tabelle 6.6 kommt als Vereisungsschutz auch ein Erdreich-Wärmeübertrager infrage. Sein Vorteil ist, dass er im Sommer die Außenluft auch vorkühlt. Schliesslich ist als Vereisungsschutz auch ein Bypass über der WRG geeignet. Wegen der tiefen Austrittstemperatur aus der WRG ist dabei meistens eine Nachwärmung der Zuluft erforderlich.

6.6 Außen- und Fortluftdurchlässe

Aussenluft-Durchlass

Aussenluftfassungen dürfen nicht direkt am Boden oder in einem Lichtschacht angeordnet werden. Bei Fassungen auf öffentlich zugänglichem Grund oder gemeinschaftlich genutzten privaten Arealen (z.B. Spielplatz) sollte die minimale Höhe

über Boden 3 m betragen. In den übrigen Fällen soll die minimale Höhe bei Mehrwohnungsanlagen bei 1,5 m liegen.

Der horizontale Abstand zu relevanten Schadstoff- und Geruchsquellen sollte mindestens 8 m betragen. Zu den relevanten Quellen gehören:

- Verkehrsreiche Strassen
- Abfallsammelstellen und Kompostanlagen
- Parkplätze für mehr als drei Fahrzeuge
- Haltestellen für Busse mit Verbrennungsmotoren
- Kamine
- Fortluft von gewerblichen Küchen, Fast-food-Ständen usw.

Die Unterkante der Außenluftfassung muss auf einer Höhe liegen, die mindestens der 1,5-fachen maximalen lokalen Schneehöhe entspricht. Im Sommer soll keine stark erwärmte Luft von Plätzen, Dächern und Wänden angesaugt werden.

Wenn der Außenluft-Durchlass frei positioniert werden kann, gelten folgende Prioritäten:

1. Bei Lagen an verkehrsreichen Strassen: An einer von der Strasse abgewandten Seite.
2. An der windexponierten Seite
3. An einer Stelle mit gutem Zugang für Kontrolle und Reinigung
4. So hoch wie möglich, aber unterhalb von Kaminmündungen und Fortluftdurchlässen

Bei Mehrfamilienhäusern sind Außenluftfassungen oberhalb von Balkonen, Sitzplätzen und Eingangsbereichen ungeeignet, da an diesen Orten oft geraucht und teilweise gegrillt wird.

Die Außenluft-Durchlässe sollen mit einem Insektenschutzgitter (Maschengrösse mindestens 5 mm bis höchstens 10 mm) geschützt werden. Die effektive Luftgeschwindigkeit, bezogen auf die Nettofläche des Durchlasses, soll maximal 2 m/s erreichen. In Gebieten mit starkem Nebel werden 1,5 m/s empfohlen, um dem Eindringen von Nässe respektive einer Vereisung vorzubeugen. Um diese Strömungsgeschwindigkeiten zu erreichen, muss der

Aussenluft-Durchlass bei runden Querschnitten mindestens eine, eher aber zwei Dimensionen grösser sein als die Aussenluftleitung.

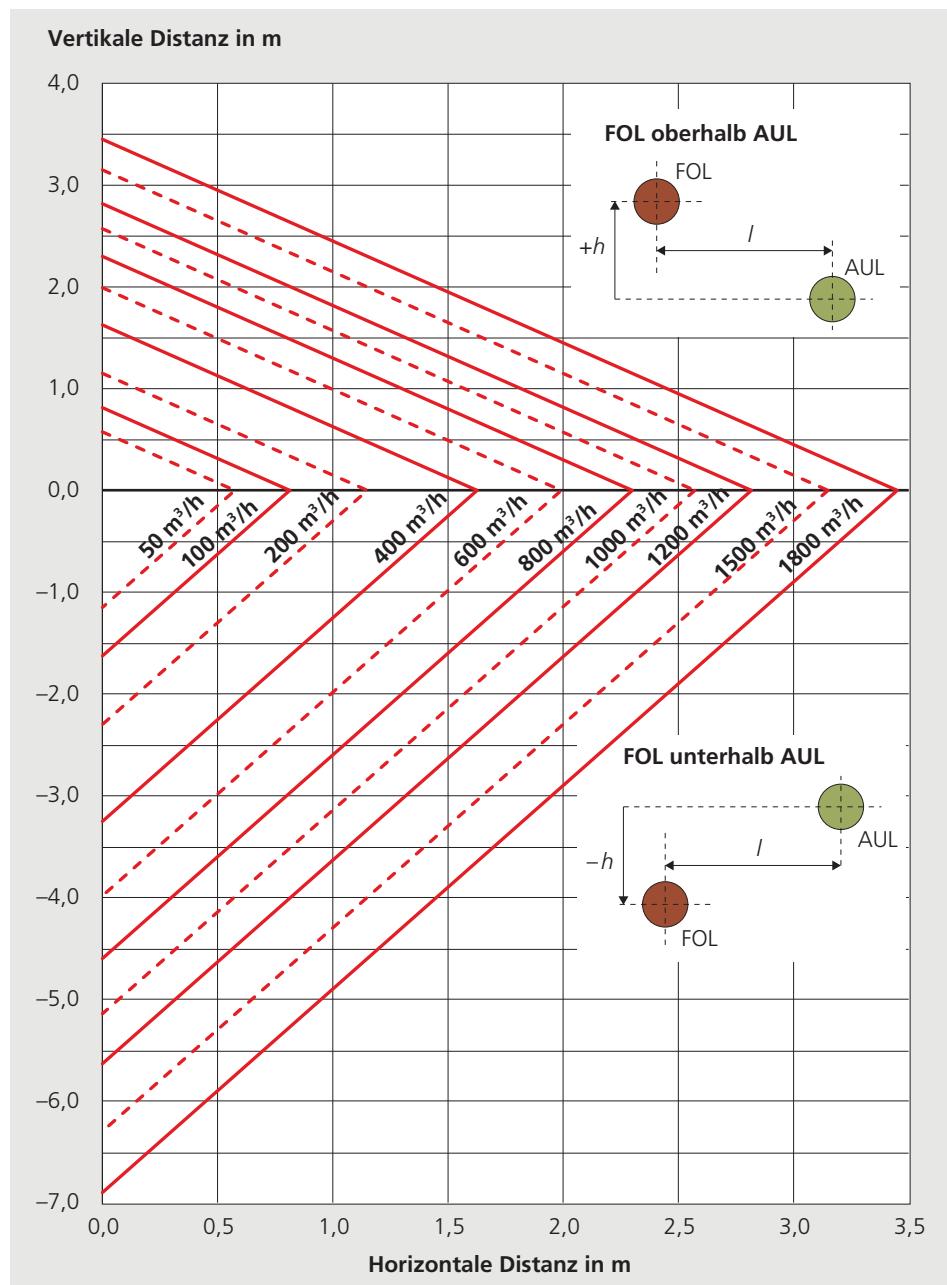
- Luftvolumenstrom maximal 1800 m³/h
- Distanz zum Nachbargebäude mindestens 8 m

Fortluft

Zur Lage von Fortluftdurchlässen gelten teilweise kommunale Vorgaben. Die Fortluft darf an Fassaden ausgeblasen werden, wenn alle folgenden Punkte eingehalten sind:

- Keine Kochstellenabluft oder Luft von Wohnungen, die auch Fortluft von Kochstellen (Dunstabzugshauben) enthält

In anderen Fällen muss die Fortluft über Dach geführt werden. Keinesfalls darf die Fortluft in kalte Hohlräume (Kaltdach, Hinterlüftungen) geblasen werden. Grund: Bei hoher relativer Feuchte in der Fortluft kann Wasser an kalten Oberflächen kondensieren.



Distanz zwischen Aussen- und Fortluftdurchlass

Aussenluft- und Fortluftdurchlässe sollen so angeordnet werden, dass keine Kurzschlüsse entstehen. Das gilt sowohl für die eigene Anlage, als auch gegenüber anderen Anlagen.

Bild 6.8 dient zur Bestimmung der minimalen Abstände zwischen einem Aussenluft- und einem Fortluftdurchlass von Einzel- und Mehrwohnungsanlagen bis 1800 m³/h Luftvolumenstrom. Allerdings darf es sich nicht um Kochstellenabluft handeln oder um Luft von Wohnungen, die auch Fortluft von Kochstellen (Dunstabzugshauben) enthält. Das Diagramm gilt für Fortluft und Aussenluft an derselben Fassade oder wenn die Fortluft nach oben ausgeblasen wird.

Bild 6.9 gilt für 1800 m³/h Luftvolumenstrom und mehr, wenn die Fortluft nach oben ausgeblasen wird. Neben der normalen Wohnungsabluft enthält das Diagramm eine Kurve für Fortluft von Kochstellen aus Wohnungen. Falls Fortluft von gewerblichen Küchen oder ähnlich stark belastete Luft vorhanden ist, braucht es grössere die Distanzen – sie werden gemäss SIA 382/1 bestimmt.

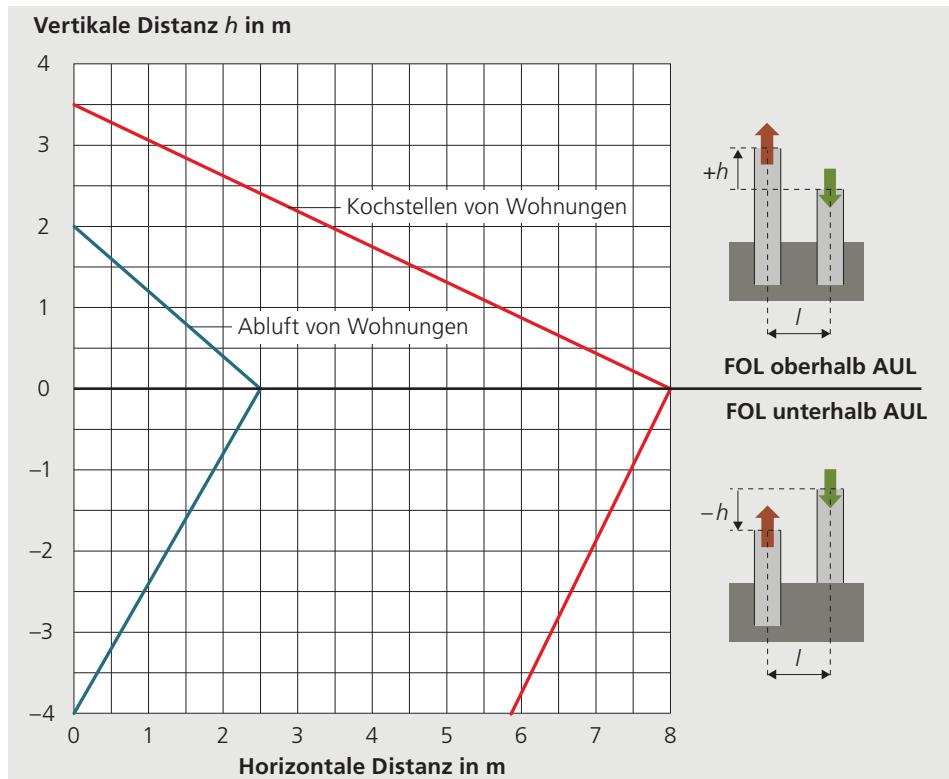
6.7 Erdreich-Wärmeübertrager

Zuluft kann erwärmt und gekühlt werden, indem man sie via einen Wärmeübertrager durch das Erdreich führt. Neben Luft-Erdreich-Wärmeübertragern kommen Sole-Erdreich-Wärmeübertrager in Frage. Bei

Ablesebeispiel zu Bild 6.9

In einem Mehrfamilienhaus befinden sich sowohl der Fortluftdurchlass der Kochstellen (Dunstabzugshauben) als auch die Aussenluftfassung der Komfortlüftung auf dem Flachdach. Der horizontale Abstand beträgt 4,5 m.

Gemäss der oberen roten Kurve in Bild 6.9 muss der Fortluftdurchlass der Kochstellenabluft 1,5 m oberhalb des Aussenluft-Durchlasses angeordnet werden.



Luft-Erdreich-Wärmeübertragern werden Lüftungsrohre im Erdreich verlegt. Bei Sole-Systemen wird die Wärme aus dem Erdreich an einen Solekreislauf übertragen und danach in einem klassischen Lamellenwärmeübertrager an die Zuluft abgegeben. Erdreich-Wärmeübertrager haben folgende Vorteile:

- Einfacher Vereisungsschutz
- Weniger Kondensat im Lüftungsgerät und damit längere Lebensdauer
- Höhere Zulufttemperatur und damit je nach Zuluftdurchlässen besserer thermischer Komfort
- Geringfügiger Wärmegewinn
- Im Sommer geringfügiger Kühleffekt

Damit im Sommer eine maximale Kühlleistung möglich ist, sollten Geräte mit Sommerbypass eingesetzt werden. Luft-Erdreich-Wärmeübertrager sind hygienisch heikler als Sole-Erdreich-Wärmeübertrager. Dies betrifft insbesondere das Risiko von stehendem Wasser in den Luftleitungen und der damit verbundenen Gefahr von Schimmelpilzwachstum.

Erdreich-Luft-Wärmeübertrager

Erfahrungsgemäss sind Luft-Erdreich-Wärmeübertrager recht anfällig für Schäden. Zum einen können vor allem bei flexiblen Rohren durch Senkungen im Untergrund Wasseransammlungen im Rohrinnern entstehen. Ein anderes häufiges Problem sind Quetschungen, die entstehen, wenn die verlegten Rohre vor dem vollständigen Überdecken durch Baumaschinen befahren wurden.

Luft-Erdreich-Wärmeübertrager werden vorzugsweise bei Anlagen für EFH eingesetzt. Für die Filtervorwärmung (rund 3 K) reichen paar wenige Meter verlegte Rohre. Für den Vereisungsschutz sind im Schweizer Mittelland bei $150 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom und feuchtem Erdreich zwei parallele Rohre (Innendurchmesser rund 150 mm) mit jeweils etwa 8 m Länge erforderlich. Bei trockenem Erdreich sind rund 15 m lange Rohre nötig. Der Druckverlust liegt in beiden Fällen um 10 Pa. Hinweise zur Ausführung und Dimensio-

nierung von Luft-Erdreich-Wärmeübertragern liefern Fachbücher, wie [4] und [5].

Erdreich-Sole-Wärmeübertrager

Luftseitig müssen Wärmeübertrager (WÜ) durch einen Filter in der Aussenluft vor Verunreinigung geschützt werden. Der Druckverlust von WÜ und Filter liegt im Bereich von 10 bis 20 Pa.

Der Solekreislauf braucht eine Umwälzpumpe, eine Sicherheitsgruppe (Sicherheitsventil und Manometer) und ein Ausdehnungsgefäß. Die Pumpe läuft je nach Temperatursollwerten und Aussenklima rund 500 bis 1000 h pro Jahr.

Bei horizontalen Registern werden im Erdreich Kunststoffrohre mit 20 bis 40 mm Aussendurchmesser verlegt. Produkteneutrale Dimensionierungshinweise sind kaum zu finden. Deshalb wurden die folgenden Richtwerte aus Unterlagen von Systemanbietern abgeleitet. Für die genaue Dimensionierung ist der Systemanbieter zuständig.

- Die Verlegetiefe liegt bei 1,2 bis 2 m.
- Der Rohrabstand beträgt 0,6 bis 1,0 m.
- Der Abstand vom Gebäude und von Wasserleitungen beträgt mindestens 1 m.
- Das Kollektorfeld darf nicht überbaut oder versiegelt werden.

Für $1 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom kann als Richtwert eine Rohrlänge von 0,2 bis 0,5 m angenommen werden. Der niedrigere Wert gilt für feuchte Böden und der höhere für trockene, sandige Böden.

Wenn ein Gebäude mit einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe beheizt wird, kann die Erdwärmesonde gleichzeitig für die Aussenluft-Vorwärmung respektive Kühlung genutzt werden. Um den zusätzlichen Leistungsbedarf zu decken, muss die Erdwärmesonde aber grösser dimensioniert werden. Die exakte Dimensionierung ist Sache des Sondenlieferanten. Aufgrund von Erfahrungswerten lässt sich schätzen, dass Erdsonden im Mittelland bei einem Luftvolumenstrom von $1 \text{ m}^3/\text{h}$ um 0,07 bis 0,1 m länger sein müssen.

6.8 Reinigung und Hygiene

Die Luftverteilung muss so geplant werden, dass sie jederzeit inspiziert und gereinigt werden kann. Bei der Projektierung werden Reinigungsabschnitte definiert, die mindestens von einer Seite her zugänglich sind. Mögliche Zugänge sind:

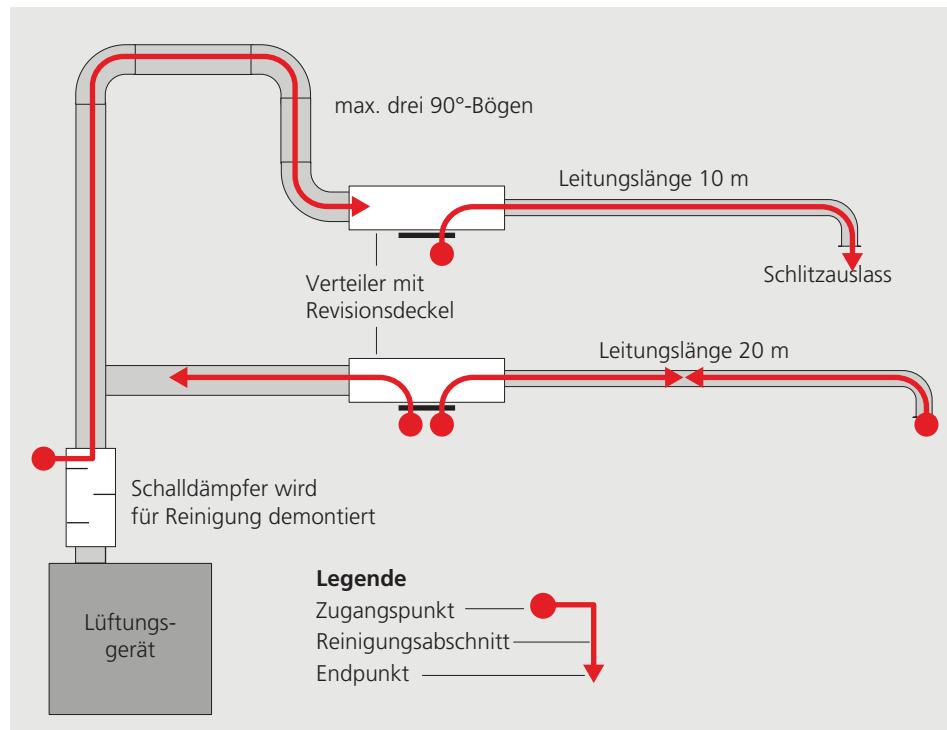
- Anschlüsse am Lüftungsgerät
- Verteil- und Sammelboxen
- Luftpuffertüren
- Frei zugängliche Leitungen

Die Zugänge müssen geometrisch so ausgestaltet sein, dass sich die Reinigungswerkzeuge einführen lassen. Schlitzdurchlässe oder Deckenanschlüsse mit Kniestücken sind für Reinigungswerkzeuge teilweise nicht oder nur erschwert passierbar. Verteil- oder Sammelboxen können von Reinigungswerkzeugen nicht durchquert werden. Diese Komponenten benötigen daher immer einen Revisionsdeckel. Innerhalb eines Reinigungsabschnitts dürfen keine Klappen, Volumenstromregler, Schalldämpfer oder andere Komponenten fest eingebaut werden. Falls solche Komponenten vorhanden sind, müssen sie für die Reinigung ausgebaut werden können. Ein Reinigungsabschnitt, der nur von einer Seite her zugänglich ist, soll höchstens

12 m lang sein. Bei einem beidseitigen Zugang gilt die doppelte Länge. Heute sind aber verschiedene Reinigungsfirmen in der Lage, bis zu 30 m lange Leitungen zu reinigen. Der Aufwand und die Kosten steigen mit zunehmender Länge. Zudem können sehr lange Rohre bei starker Verschmutzungen eventuell nur teilweise gereinigt werden.

Umlenkungen sollen mindestens 100 mm Biegeradius aufweisen. Ein Reinigungswerkzeug soll nicht mehr als drei 90°-Bögen oder vier 45°-Bögen passieren müssen, damit der Reibungswiderstand für die Reinigungsroute nicht zu hoch wird.

Die inneren Oberflächen sollen möglichst glatt sein und der mechanischen Belastung des Reinigungswerkzeuges (inkl. Welle oder Schlauch) standhalten. Bauteile mit porösen, faserhaltigen, leicht verformbaren oder instabilen Oberflächen müssen für die Reinigung ausgebaut werden können. Darunter fallen etwa schalldämmende Auskleidungen, Lüftungsschlüsse und flexible Rohre. Hinweise zur Erstreinigung und den Kontrollintervallen finden sich in Kapitel 12.



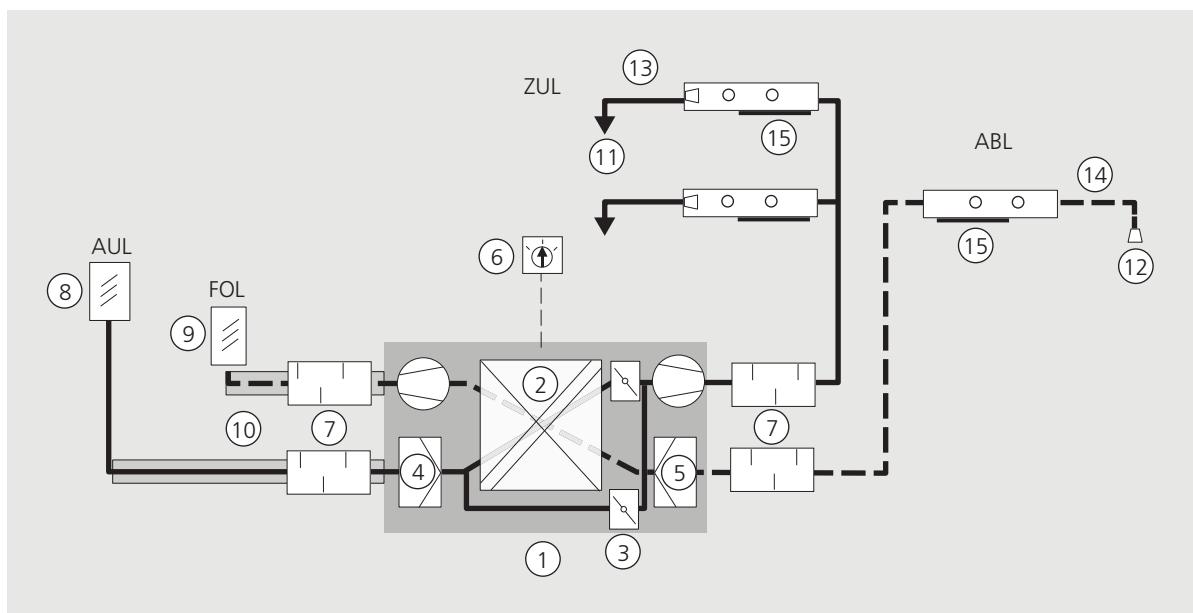


Bild 6.11: Prinzip-schema für ein Ein-familienhaus (Bei-spiel).

Kurzbeschreibung und Legende		Pos.
Anlagentyp	Komfortlüftung, Einzelwohnungsanlage	–
Lüftungsgerät	Energieklasse A; Zu- und Abluftvolumenstrom im Normalbetrieb je 150 m ³ /h; Platzierung im Technikraum im UG, innerhalb der thermischen Gebäudehülle	1
Wärmerückgewinnung	Platten-Wärmeübertrager, mit Feuchterückgewinnung (Enthalpie-Wärmeübertrager), Temperaturverhältnis $\eta_t = 80\%$, Feuchteverhältnis $\eta_x = 65\%$	2
Kondensatablauf	nicht erforderlich	–
Vereisungsschutz	Enthalpie-Wärmeübertrager, Einsatzgrenze –10 °C	–
Sommerbypass	Ja, mit Klappen für Bypass und WRG	3
Filter Zuluft	ISO ePM1 50 % (F7), im Gerät	4
Filter Abluft	ISO Coarse 80 (G4), im Gerät	5
Steuerung/Regelung	Dreistufiger Betrieb mit Handschalter und Zeitprogramm, Bedieneinheit im Korridor	6
Schallschutz	Schalldämpfer in Zu- und Abluft sowie Aussen- und Fortluft	7
Aussenluft-Durchlass	Nordseite, 1,5 m über Boden	8
Fortluftdurchlass	Ostseite, 1,5 m über Boden	9
Wärmedämmung	Diffusionsdichte Dämmung; Längen in der thermischen Gebäudehülle, Dämmstärken: • AUL: Länge 4 m, Dämmstärke 60 mm • FOL: Länge 2 m, Dämmstärke 30 mm	10
Zuluftdurchlässe	5 Deckendurchlässe in den Schlafzimmern und im Arbeitszimmer; Volumenströme und Lage siehe Grundrisspläne	11
Abluftdurchlässe	4 Deckendurchlässe in Küche, Bad, Dusche, Gäste-WC; Volumenströme und Lage siehe Grundrisspläne	12
Durchströmbereich	Wohnzimmer (kein Zuluftdurchlass)	–
Überströmdurchlässe	Luftspalt (7 mm) unter den Türen	–
Zuluftverteilung	Sternverteilung, in Betondecke eingelegte Kunststoffleitungen; Verteilerkasten in den Decken über EG und OG; Einregulierung mit Drossellementen im Verteiler	13
Abluftverteilung	Sternverteilung, in Betondecke eingelegte Kunststoffleitungen; Verteilerkasten in Decke über EG; Einregulierung an den Abluftdurchlässen	14
Reinigungskonzept	Zu- und Abluftleitungen sind über die Verteiler (Revisionsdeckel) und die Luftdurchlässe zugänglich; Aussen- und Fortluftleitungen sind von aussen und dem Technikraum her zugänglich	15
Küchenabluft	separate Fortluft-Dunstabzugshaube	–
Sommerlicher Wärmeschutz	Nachtlüftung über Fenster, handbetätigt	–
Feuerung in der Wohnung	keine	–
Brandschutz	keine besonderen Massnahmen, da EFH	–

6.9 Dokumentation

Das Projekt wird mit einem Prinzipschema, den Grundrissplänen im Massstab 1:50 und einer Anlagenbeschreibung dokumentiert. Allenfalls sind ergänzenden Detailpläne, beispielsweise zum Aufstellungsraum des Lüftungsgeräts und zur Installation von Aussenluft- und Fortluftdurchlass erforderlich.

Im Prinzipschema werden alle für die Funktion erforderlichen Komponenten grafisch dargestellt. Die Beschreibung und die Spezifikationen können in dem Schema selbst oder in einer Legende dazu festgehalten werden. Das Schema in Bild 6.11 zeigt ein Beispiel für die Lüftung in einem EFH. Die Luftverteilung wird so weit im Prinzipschema eingetragen, wie es zweckmässig ist. Bei kleinen Anlagen lassen sich eventuell sämtliche Zuluft- und Abluftdurchlässe darstellen. Bei mittleren und grösseren Anlagen ist es oft übersichtlicher, die Verteilung nur anzudeuten. Es kann ein separates Schema mit der Verteilung gezeichnet werden oder die Zuluft- und Abluftdurchlässe werden tabellarisch zusammenge stellt.

6.10 Literatur

- [1] Kobler, René L.; Binz, Armin; Steinke, Gregor: Nachhaltige Wohnbauerneuerung, Schlussbericht der Module A3, A4 im CCEM Forschungsprojekt, Vorfabrizierte Fassaden- und Dachmodule. Muttenz: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Institut Energie am Bau (IEBau), 2010
- [2] Primas, Alex; Settembrini, Gianrico; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021
- [3] Huber, Heinrich; Helfenfinger, Dominique: Individuelle Luftmengenregulierung bei Mehrwohnungsanlagen. Zürich: Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2013 [online].
- [4] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2016. ISBN 978-3-481-03405-4 (Buch-Ausgabe), ISBN 978-3-481-03406-1 (E-Book-Ausgabe als PDF)
- [5] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung. Grundlagen, Planung, Ausführung und Praxis von Komfortlüftungen. Zürich: Faktor Verlag 2006. ISBN-13: 978-3-905711-01-1

Projektierung Abluftanlagen

Stellschrauben bei Abluftanlagen

Folgende Anforderungen tragen massgebend zur Qualität von Anlagen bei, die für einen Dauerbetrieb ausgelegt sind. Hinweise zu Anlagen für kurze Betriebszeiten finden sich in den Kapiteln 7.1 und 7.3.

Luftdichte Gebäudehülle

- Eine dichte Gebäudehülle ist eine elementare Voraussetzung für die Funktion einer Abluftanlage mit ALD.
- Zur Überprüfung der Dichtheit der Gebäudehülle sowie als Grundlage für Dimensionierung und Einregulierung der Anlage ist eine Blower-Door-Messung empfehlenswert.
- Die Luftdurchlässigkeit soll mindestens den Zielwert für Neubauten nach SIA 180 erfüllen – auch bei bestehenden Gebäuden.
- Um Luftübertragungen (Gerüche, Schadstoffe) innerhalb des Gebäudes zu minimieren, muss auch die Dichtheit zwischen Wohnungen sehr hoch sein.

Dimensionierung Druck und Volumenstrom

In Abluftanlagen muss der erforderliche Aussenluft-Volumenstrom via ALD (beim Prinzip «Kaskade» typischerweise 30 m³/h) in der Regel bei 4 Pa Unterdruck nachströmen. Bei den meisten auf dem Markt verfügbaren Produkten sind dazu für ein Zimmer zwei ALD erforderlich.

Wegen der Infiltration ist der Abluftvolumenstrom einer Wohnung rund 30 % höher als der Aussenluft-Volumenstrom, der durch die ALD nachströmt. Hinweise für präzise Berechnungen finden sich in Kapitel 7.2 und 7.3.

Thermische Behaglichkeit

- Der Luftstrahl eines ALD soll möglichst tangential zur Aussenwand geführt werden.
- Erfahrungen zeigen, dass bei Raumheizungen mit Heizkörpern weniger Zugerscheinungen beanstandet werden als bei Fussbodenheizungen.
- Die Positionierung muss den Vorgaben des Lieferanten des ALD entsprechen.

Schallschutz

Ein ALD schwächt immer den Schutz gegen Aussengeräusche. Damit der Schallschutz nach SIA 181 erfüllt ist und die Schwächung in einem akzeptablen Mass bleibt, ist die Beurteilung durch einen Bauakustiker sehr zu empfehlen.

Schon nur die korrekte Interpretation von Herstellerangaben oder eine überschlagsmässige Beurteilung des Schallschutzes setzt viel Wissen zur Akustik voraus. Wer beispielsweise einen R_w -Wert nicht von einem $D_{n,e,w}$ -Wert unterscheiden kann, soll unbedingt eine Fachperson beziehen. Als Richtwert gilt: Der $(D_{n,e,w} + C_{tr})$ -Wert eines ALD sollte mindestens 9 dB höher sein als der $(R'_{w} + C_{tr})$ -Wert eines typischen Zimmer-Fensters (rund 2 m²). Hinweise für eine korrekte Berechnung finden sich in Kapitel 7.6.

Hygiene und Wartung

Nach Schweizer Normen müssen ALD immer mit Filtern ausgerüstet werden. An Lagen mit hoher Feinstaubbelastung, wie stark befahrenen Strassen und Bahnlinien, sind sogar Feinstaubfilter der Klasse ISO ePM1 50 % (F7) gefordert.

Bei ALD müssen nicht nur die Filter regelmässig gewechselt, sondern auch die Aussenluft- oder Insektenschutzgitter gereinigt werden. Dies erfordert in der Regel den Einsatz von Fachpersonal. Wie Erfahrungen zeigen, sind Mieter nicht in der Lage, die ALD fachgerecht instand zu halten. Wartungsverträge mit mindestens einem Servicegang pro Jahr sind unbedingt zu empfehlen. Dabei müssen Bewohnerinnen und Bewohner auch akzeptieren, dass jedes Schlafzimmer betreten wird.

7.1 Typen von Abluftanlagen

Abluftanlagen lassen sich in drei Typen gemäss Tabelle 7.1 unterteilen, für alle gilt:

- Die Aussenluft (Ersatzluft) strömt über Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) in die Wohnung.
- Für die Luftführung innerhalb der Wohnung sind Überströmluftdurchlässe (ÜSLD) erforderlich.
- Sie können technisch auf Basis von Einzelraumgeräten, Einzelwohnungsanlagen oder Mehrwohnungsanlagen umgesetzt werden.
- Auf Wunsch lässt sich eine mehrstufige oder stufenlose Bedarfsteuerung/Regelung realisieren.

Bei den Typen, die für die Entlüftung einzelner Räume bestimmt sind, muss die Lüftung der übrigen Räume der Wohnung durch weitere lüftungstechnische Einrichtung gelöst werden. Im Kapitel 8 wird auf die Kombination mit Einzelraumlüftungsgeräten eingegangen. In Kapitel 4.2 wird auf die Möglichkeit und die Pflicht der Ab-

wärmevernung (AWN) mit Abluftwärmepumpen (ABL-WP) hingewiesen.

7.2 Druckverhältnisse und Luftvolumenströme

Durch den Unterdruck in der Wohnung strömt Luft über zwei Wege in die Wohnung:

- Definierte Aussenluftzufuhr über die ALD
- Infiltration durch Lecks in der Gebäudehülle und zwischen Wohnungen

Weil die Lage der Lecks unbekannt ist, kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich die Infiltrationsluft gleichmässig auf die Räume aufteilt. Infiltrationsluft kann über Wege nachströmen, die aus hygienischer Sicht fragwürdig oder mindestens unbekannt sind (Treppenhaus, Steigzonen, Kabelleerrohre, Nachbarwohnung).

Typ	Beschreibung
Raumabluft mit Ein/Aus-Betrieb	Die Abluftanlage entlüftet einen Abluftraum im Ein/Aus-Betrieb. Der Abluftvolumenstrom ist auf die Luftbelastung im Abluftraum ausgelegt.
Raumabluft mit Dauerbetrieb	Die Abluftanlage entlüftet einen Abluftraum im Dauerbetrieb. Der Abluftvolumenstrom ist auf die Luftbelastung des Abluftraum ausgelegt.
Wohnungsabluft (Dauerbetrieb)	Die Abluftanlage entlüftet alle Ablufträume einer Wohnung im Dauerbetrieb. Der Abluftvolumenstrom ist so ausgelegt, dass sowohl die Luftbelastung aus den Ablufträumen abgeführt wird, als auch die ganze Wohnung mit dem hygienisch angemessenen Luftvolumenstrom versorgt wird. Dazu gehört eine entsprechende Auslegung und Anordnung der ALD und ÜSLD.

Tabelle 7.1: Typen von Abluftanlagen.

Bild 7.1 zeigt die Luftvolumenströme schematisch. Unten im Bild sind zudem die Unterdrücke eingetragen, die sich bei der Auslegung nach SIA 382/5 für die Be- und Entlüftung einer eingeschossigen Wohnung (Typ Wohnungsabluft) bei geschlossenen Zimmertüren einstellen. Das heisst: Die ALD werden auf 4 Pa Unterdruck ausgelegt und die ÜSLD auf 1 Pa Druckabfall. Bei zweigeschossigen Wohnungen herrscht unter mittleren Winterbedingungen im oberen Geschoss ein rund 2 Pa geringerer Unterdruck als im unteren. ALD im oberen Geschoss sollen deshalb auf 3 Pa und im unteren auf 5 Pa Unterdruck ausgelegt werden. Im oberen Geschoss nimmt der Aussenluftvolumenstrom bei tiefen Aussenemperaturen um etwa 20 % ab und bei hohen um etwa 20 % zu. Im unteren Geschoss ist der Temperatureinfluss genau gegenläufig. Bei Wohnungen oder EFH, die über drei oder mehr Geschosse offene Lufträume haben, lassen sich ALD nicht so auslegen, dass die Luftzufuhr über das ganze Jahr planbar wäre. Die erwähnten Auslegungsdrücke gelten insbesondere für den Typ «Raumabluft mit Dauerbetrieb». Zum Typ «Raumabluft mit Ein/Aus-Betrieb» äussert sich die Norm nicht explizit. Hier wird empfohlen, die Unterdrücke gegenüber den Werten der SIA 382/5 zu verdoppeln.

Der mechanisch geförderte Abluftvolumenstrom $q_{v,ABL}$ entspricht der Summe der

Aussenluft-Volumenströme durch alle ALD $\sum q_{v,ALD}$ plus der Infiltration $q_{v,inf}$:

$$q_{v,ABL} = \sum q_{v,ALD} + q_{v,inf} \quad (7.1)$$

Bei bekannter Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle kann die Infiltration berechnet werden mit:

$$q_{v,inf} = q_{a,50} \cdot A_{inf} \left(\frac{\Delta p}{50} \right)^{0,6} \quad (7.2)$$

wobei $q_{a,50}$ der Leckvolumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz, A_{inf} die Hüllfläche der Wohnung in m^2 und Δp der mittlere Unterdruck in der Wohnung in Pa ist.

Bild 7.2 zeigt Richtwerte für die Infiltration bei ein- und zweigeschossigen Wohnungen oder EFH mit 4 Pa mittlerem Unterdruck und verschiedenen Luftdurchlässigkeiten der Hüllfläche. Dabei wurde von Gebäudequadranten mit einem Verhältnis von Breite zu Länge zwischen 1 und 3 ausgegangen. Die lichte Raumhöhe ist mit 2,8 m eingesetzt.

Dargestellt ist zum einen die Infiltration für Neubau und Erneuerung auf Basis der Zielwerte von SIA 180. Zum anderen enthält die Grafik auch die Kurven für typische Minergie-P-Gebäude. Zwar verlangt

Bei Abluftanlagen darf der zusammenhängende Luftraum höchstens zwei Geschosse umfassen. Sind es mehr, braucht es luftdichte Türen zwischen den Geschossen.

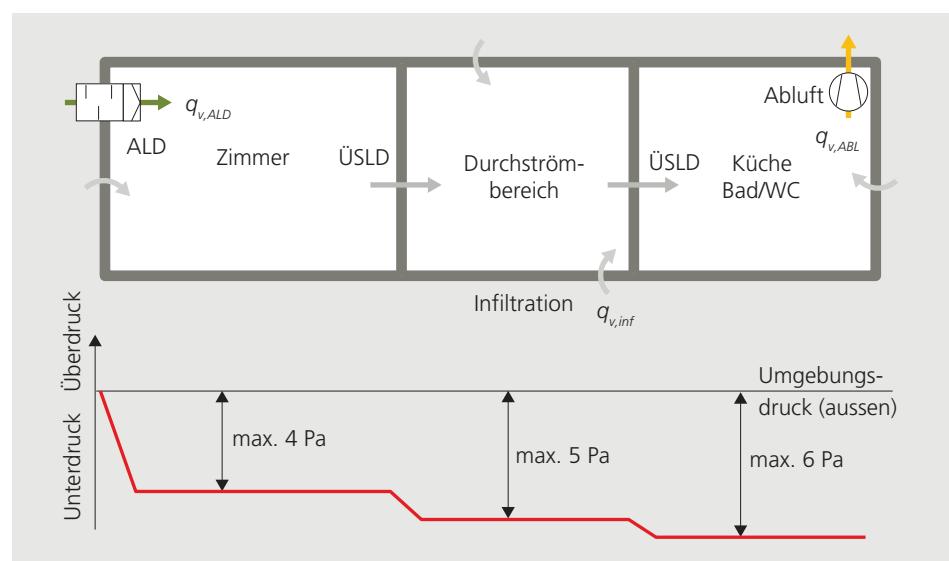


Bild 7.1: Luftvolumenströme und Durchverhältnisse bei einer Abluftanlage für Dauerbetrieb. ■ Aussenluft ■ Abluft ■ Raumluft/Überströmluft

Minergie-P nur die Einhaltung des SIA-Zielwerts. Weil Gebäude mit diesem Label in der Realität offensichtlich deutlich dichter sind, kann bei ihnen für die Auslegung von Abluftanlagen ein um etwa ein Drittel besserer Wert als der SIA-Zielwert angenommen werden.

Generell soll bei der Auslegung von Abluftanlagen aber davon ausgegangen werden, dass die Infiltration nicht grösser ist als der Zielwert der SIA 180. Die Formeln 7.1 und 7.2 respektive die aus Bild 7.2 abgelesenen Werte bilden nun die Basis für die Auslegung der ALD und des Abluftventilators.

Hinweis zur SIA 382/5: In der Norm wird für die Auslegung statt der Infiltration $q_{v,inf}$ ein Faktor f , verwendet, der für das Verhältnis des Abluftvolumenstroms zur Summe aller Aussenluft-Volumenströme durch alle ALD steht. Dieser Faktor gilt aber nur für die Auslegung von Anlagen des Typs Wohnungsabluft; zudem basiert er auf Annahmen für typische Wohnungen.

Wegen der eingeschränkten Gültigkeit wird f in diesem Buch nicht verwendet.

7.3 Auslegung Luftvolumenströme

Raumabluft mit Ein/Aus-Betrieb

Die minimalen Abluftvolumenströme werden aus der Tabelle 3.2, Spalte «bedarfsgesteuert Ein/Aus» gewählt. Die Auslegung des Unterdrucks hängt von der Positionierung der ALD ab (siehe Bild 7.1). Tabelle 7.2 zeigt die entsprechenden Werte. Die Infiltration kann mit Formel 7.2 berechnet werden. Alternativ kann der Wert aus Bild 7.2 abgelesen und mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden.

Speziell bei Erneuerungen, aber auch bei Neubauten mit nur einem Bad ergibt die Umkehrung von Formel 7.2 oft, dass gar kein ALD erforderlich wäre. Es wird aber dringend empfohlen, die ALD auf mindestens 50 % des Abluftvolumenstroms auszulegen. Ein Grund ist, dass sonst bei un-

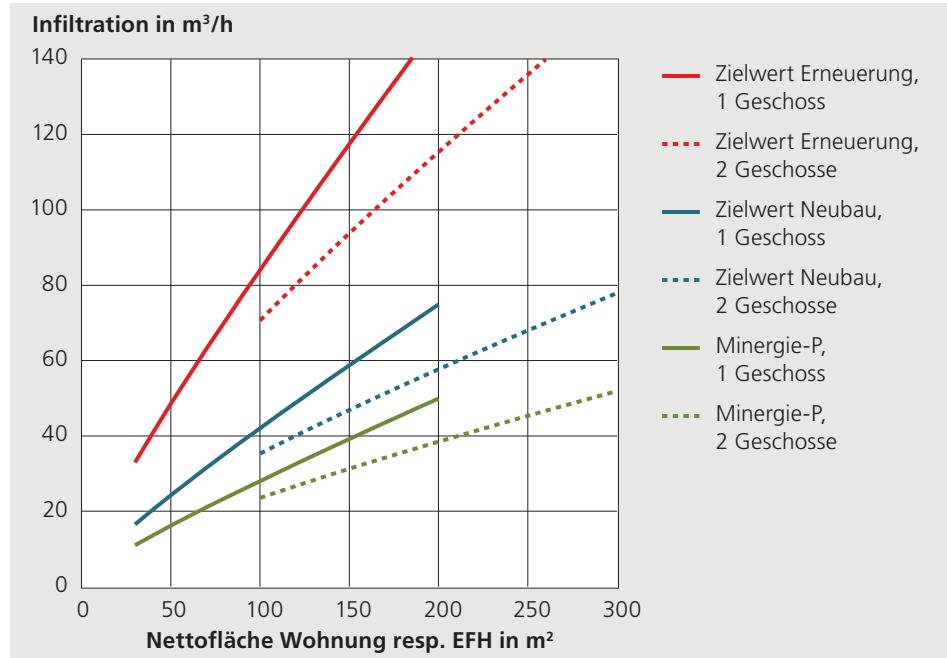


Bild 7.2: Richtwerte für die Infiltration in Funktion der Nettofläche von ein- und zweigeschossigen Wohnungen oder EFH bei 4 Pa Unterdruck und verschiedenen Luftdurchlässigkeiten der Hüllfläche.

Tabelle 7.2: Unterdruck bei der Auslegung von ALD für Raumabluft mit Ein/Aus-Betrieb.

Positionierung der ALD	Auslegung der ALD auf einen Unterdruck von
ALD direkt im Abluftraum	12 Pa
Eine Türe respektive ein Überströmdurchlass zwischen ALD und Abluftraum	10 Pa
Zwei Türen (in Serie) respektive zwei Überströmdurchlässe (in Serie) zwischen ALD und Abluftraum	8 Pa

glücklicher Verteilung der Leckagen fast die gesamte Ersatzluftmenge aus Nachbarwohnungen, Treppenhaus, Keller etc. nachströmen könnte. Ein weiterer Grund ist, dass der genaue Wert der Undichtheit nur selten bekannt ist. Wenn die ALD nicht direkt in den Ablufräumen angeordnet sind, müssen die Überströmdurchlässe (ÜSLD) der Ablufräume auf den gesamten Abluftvolumenstrom ausgelegt werden. Bezuglich der Nachlaufzeit gibt SIA 382/5 vor, dass die Ventilatoren nach dem Ausschaltsignal noch so lange laufen müssen, bis sie mindestens ein Raumvolumen Luft abführen (1-facher Luftwechsel). Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass der Feuchteschutz durch diese Abluftmenge nicht gewährleistet ist. Dies muss zusammen mit den lüftungstechnischen Einrichtungen und Massnahmen in der gesamten Wohnung überprüft werden.

Raumabluft mit Dauerbetrieb

Die minimalen Abluftvolumenströme für Raumabluftanlagen mit Dauerbetrieb werden aus der Tabelle 3.2, Spalte «Dauerbetrieb» gewählt. Die ALD werden für 4 Pa Unterdruck ausgelegt. Die Infiltration ergibt sich aus Formel 7.2 oder Bild 7.2. Wie bei den Abluftanlagen mit Ein/Aus-Betrieb sollen mindestens 50 % der Ersatzluft durch die ALD nachströmen. Wenn die ALD nicht in den Ablufräumen angeordnet sind, müssen die Überströmdurchlässe (ÜSLD) dort auf den gesamten Abluftvolumenstrom ausgelegt werden.

Analog zur Auslegung für die Wohnungsabluftanlagen muss geklärt werden, ob einerseits der Feuchteschutz gewährleistet ist und andererseits die Anforderung der minimalen Raumluftfeuchte eingehalten ist (siehe unten).

Raumabluftanlagen im Dauerbetrieb wurden im Projekt FENLEG der Fachhochschulen FHNW und HSLU von 2020 [1] untersucht. Wie auch aus dem folgenden Bei-

Rechenbeispiel 7.1: Auslegung von ALD bei Ein-/Aus-Betrieb

Eine neue 4-Zimmer-Wohnung mit 110 m² Nettofläche verfügt über zwei Bäder, die mit bedarfsgesteuerten Abluftventilatoren ausgerüstet werden. Tabelle 3.2 gibt als minimalen Abluftvolumenstrom 50 m³/h pro Bad vor. Aus Komfortgründen entscheidet sich die Bauherrschaft aber für 60 m³/h pro Bad respektive für 120 m³/h, wenn beide Ventilatoren laufen. Wie müssen die ALD ausgelegt werden?

Nach Bild 7.2 erreicht die Infiltration beim Zielwert für Neubauten (4 Pa Unterdruck) 46 m³/h. Multipliziert mit dem Faktor 1,5 (da die ALD auf ca. 10 Pa Unterdruck ausgelegt werden) ergeben sich 69 m³/h, die auf 70 m³/h gerundet werden. Die Umstellung von Formel 7.1 ergibt:

$$\sum q_{v,ALD} = q_{v,ALD} - q_{v,inf} = 120 \text{ m}^3/\text{h} - 70 \text{ m}^3/\text{h} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Damit wäre das Kriterium, dass mindestens 50 % der Aussenluft durch die ALD nachströmt, nicht erfüllt. Deshalb werden die ALD für 60 m³/h ausgelegt. Um das Zugluftrisiko zu reduzieren, wird dieser Aussenluft-Volumenstrom auf zwei ALD aufgeteilt, durch die jeweils 30 m³/h Luft nachströmen. Bei der Platzierung im Durchströmbereich liegt der Auslegungs-Unterdruck bei 10 Pa.

Die ÜSLD vom Durchströmbereich in die Bäder werden jeweils für 60 m³/h ausgelegt. Werden die ÜSLD als Luftspalt unter der Tür realisiert, muss die Spalthöhe 15 mm betragen (Bild 3.19).

Jedes Bad hat 25 m³ Raumvolumen. Damit müssen die Ventilatoren mindestens 25 Minuten nachlaufen. Bei diesen Nachlaufzeiten kann davon ausgegangen werden, dass jeder Abluftventilator pro Tag zwei Stunden in Betrieb ist. Damit ergeben sich im Tagesmittel 5 m³/h Abluftvolumenstrom. Damit ist der Feuchteschutz offensichtlich noch nicht gewährleistet.

spiel herausgeht, lässt sich mit ihnen eine Grundlüftung für die gesamte Wohnung erreichen. Die in der SIA 382/5 geforderte Raumluftqualität können sie aber nicht gewährleisten.

Wohnungsabluft

Wenn eine Abluftanlage sowohl die Luftbelastung aus den Ablufträumen abführen und gleichzeitig auch die ganze Wohnung mit dem hygienisch angemessenen Luftvolumenstrom versorgen soll, dann werden die Luftvolumenströme der Räume in acht Schritten festgelegt:

1. Die minimalen Aussenluftvolumenströme durch die ALD werden entsprechend dem Prinzip der Luftführung bestimmt. Typischerweise kommt das Kadenprinzip infrage, es ist aber beispielsweise auch das Prinzip «Verbund mit freier Verteilung» denkbar.

2. Die Infiltration wird gemäss Formel 7.2 oder Bild 7.2 abgeschätzt.

3. Der minimale Abluftvolumenstrom setzt sich aus der Summe der minimalen Abluftvolumenströme pro Abluftraum zusammen. Dazu kommt noch der Bedarf von allfälligen Nebenräumen und untergeordneten Räumen, die von der gleichen Anlage versorgt werden.

4. Der massgebende Abluftvolumenstrom der Wohnung entspricht dem höchsten der folgenden drei Werte:

- Summe der minimalen Aussenluft-Volumenströme durch die ALD plus der Infiltration oder
- minimaler Abluftvolumenstrom
- Minimalwert für die gesamte Wohnung gemäss SIA 382/5.

5. Der massgebende Aussenluft-Volumenstrom durch die ALD entspricht dem massgebenden Abluftvolumenstrom abzüglich der Infiltration.

Rechenbeispiel 7.2: Auslegung ALD für Dauerbetrieb

Die 4-Zimmer-Wohnung aus dem Beispiel 7.1 für Raumabluft mit Ein-/Aus-Betrieb wird nun für den Dauerbetrieb ausgelegt.

Tabelle 3.2 gibt einen minimalen Abluftvolumenstrom von 30 m³/h pro Bad vor, der von der Bauherrschaft übernommen wird. Die Umstellung von Formel 7.1 ergibt:

$$\Sigma q_{v,ALD} = q_{v,ALD} - q_{v,in} = 60 \text{ m}^3/\text{h} - 46 \text{ m}^3/\text{h} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Wiederum wird das Kriterium, dass mind. 50 % der Aussenluft durch die ALD nachströmt, nicht erfüllt. Deshalb werden die ALD für insgesamt 30 m³/h ausgelegt.

Um eine Grundlüftung der gesamten Wohnung zu erreichen, wird in allen drei Schlafzimmern je ein ALD platziert, der für 10 m³/h bei 4 Pa Unterdruck ausgelegt wird. Da bei 4 Pa Unterdruck eine Infiltration im Bereich von 46 m³/h geschätzt wird, kann aber nicht garantiert werden, dass tatsächlich 10 m³/h über jeden ALD nachströmen. Falls dies beabsichtigt würde, müsste nach dem Typ Wohnungsabluft (siehe Rechenbeispiel 7.3) ausgelegt werden.

Die ÜSLD vom Durchströmbereich in die Bäder werden für jeweils 30 m³/h ausgelegt, was mit einem 7 mm hohen Luftspalt unter der Tür gut möglich ist.

Bei einer Belegung mit drei Personen ergeben sich pro Person 20 m³/h Abluftvolumenstrom. Damit ist gemäss Bild 2.2 der Feuchteschutz gegeben. Bei derselben Belegung muss davon ausgegangen werden, dass im Mittelland unterhalb etwa +2 °C Aussentemperatur die Raumluftfeuchte von 30 % unterschritten wird. Da in den Schlafzimmern aus Gründen der Raumluftqualität noch zusätzlich gelüftet werden muss (beispielsweise über die Fenster), lässt sich die Anforderung der minimalen Raumluftfeuchte ohne ergänzende Massnahmen voraussichtlich nicht erreichen. In der Betriebsanleitung und Instruktion für die Bewohner muss deshalb bei einer Belegung mit drei oder weniger Personen eine Überwachung der Raumluftfeuchte und ein bedarfswesener Einsatz von Raumluftbefeuchtern erwähnt werden.

Rechenbeispiel 7.3: Auslegung ALD für Wohnungsabluftanlage

Für die Wohnung aus dem Anlagenbeispiel 3.1, «Glatt 1», wird eine Wohnungsabluftanlage ausgelegt. Dabei gelten dieselben Voraussetzungen wie im Beispiel 6.1 für die Auslegung als Komfortlüftung. Ein wesentlicher Unterschied ist aber, dass bei einer

Abluftanlage keine Feuchterückgewinnung möglich ist. Die Wohnung hat 80 m^2 Nettofläche. Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle entspricht dem Zielwert für Neubauten.

Schritt	Beschreibung/ Bemerkung	Luftvolumenstrom in m^3/h		
		ALD	Infiltration	Abluft
1	Minimaler Zuluftvolumenstrom 3 Zuluftzimmer à $30 \text{ m}^3/\text{h}$	90	–	–
2	Infiltration Richtwert gemäss Bild 7.2: $35 \text{ m}^3/\text{h}$	–	35	–
3	Minimaler Abluftvolumenstrom Gem. Tabelle 3.2: Bad $30 \text{ m}^3/\text{h}$, Küche $20 \text{ m}^3/\text{h}$	–		50
4	Massgebender Abluftvolumenstrom der Wohnung <ul style="list-style-type: none"> Minimaler Zuluftvolumenstrom plus Infiltration: $125 \text{ m}^3/\text{h}$ Minimaler Abluftvolumenstrom: $50 \text{ m}^3/\text{h}$ Minimalwert gemäss SIA 382/5: $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 	–	125	
5	Massgebender Aussenluft-Volumenstrom durch die ALD Wert von Schritt 4 minus Wert von Schritt 2	90		
6	Abschätzung des Feuchteschutzes und Massnahmen Der Luftvolumenstrom gemäss Schritt 4 ergibt bei Belegung mit 3 Personen einen Luftvolumenstrom von $42 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person. Aus Bild 2.2 ergibt sich für Zürich MeteoSchweiz, dass der Feuchteschutz ganzjährig eingehalten ist. Es sind keine Massnahmen erforderlich. Der Luftvolumenstrom muss nicht erhöht werden.	90	35	125
7	Abschätzung der minimalen Raumluftfeuchte und Massnahmen Der Luftvolumenstrom gemäss Schritt 4 ergibt bei Belegung mit zwei Personen einen Luftvolumenstrom von $63 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person. Aus Bild 2.2 ergibt sich für Zürich MeteoSchweiz, dass die minimale Raumluftfeuchte von 30 % unterhalb etwa $+4^\circ\text{C}$ Aussentemperatur nicht mehr erreicht wird. Die Anforderung der zulässigen Unterschreitungsdauer von max. 10 % wird voraussichtlich nicht eingehalten. Massnahmen: In Benutzeranleitung und Instruktion darauf hinweisen, dass die Anlage bedarfsgerecht betrieben werden und/oder allenfalls zusätzliche Feuchte eingebracht werden soll, beispielsweise mit Raumluftbefeuchtern	90	35	125
8	Aufteilung auf die Räume Luftvolumenstrom durch ALD pro Zimmer $30 \text{ m}^3/\text{h}$ Abluftvolumenstrom Bad $60 \text{ m}^3/\text{h}$, Küche $65 \text{ m}^3/\text{h}$ Bemerkung: Die Überströmdurchlässe müssen beachtet werden (7 mm Luftspalt sind zu knapp)	90	35	125

Tabelle 7.3: Beispiel für Bestimmung des massgebenden Luftvolumenstroms einer Abluftanlage mit Prinzip Kas-kade.

Variantendiskussion

Bei geringen Komfortansprüchen könnte das Prinzip «Verbund mit freier Verteilung über offene Zimmertüren» zur Diskussion gestellt werden. Dabei betragen der minimale Luftvolumenstrom durch die ALD $60 \text{ m}^3/\text{h}$ und der massgebende Abluftvolumenstrom $95 \text{ m}^3/\text{h}$. Die ALD können weiterhin in den Zimmern platziert werden. Pro Zimmer wird ein ALD mit

$20 \text{ m}^3/\text{h}$ gewählt. Der Feuchteschutz ist bis $+10^\circ\text{C}$ Aussentemperatur gewährleistet. Bei höheren Aussentemperaturen ist ein Dauerbetrieb zu empfehlen. Das Problem der zu tiefen Raumluftfeuchte entschärft sich etwas, aber in der Benutzeranleitung soll weiterhin der bedarfswise Einsatz von Raumluftbefeuchtern erwähnt werden.

6. Es wird abgeschätzt, ob der Feuchteschutz bei Winterbedingungen eingehalten ist. Allenfalls wird der Luftvolumenstrom erhöht. Massnahmen für die ganzjährige Einhaltung des Feuchteschutzes werden definiert.

7. Es wird abgeschätzt, unter welchen Bedingungen die minimale Raumluftfeuchte erfüllt ist. Es werden Massnahmen definiert, um die Anforderung zu erfüllen. Wenn der Luftvolumenstrom reduziert werden muss, geht es zurück zu Schritt 1.

8. Der massgebende Aussenluft-Volumenstrom durch die ALD und der massgebende Abluftvolumenstrom werden auf die Räume aufgeteilt.

Bezüglich Anlagenkonzept, Feuchteschutz und minimaler Raumluftfeuchte gelten dieselben Bedingungen wie bei der Komfortlüftung (siehe Kapitel 6.1).

7.4 Steuerung/Regelung und Bedienung

Bei einer Raumabluft mit Ein/Aus-Betrieb gilt es, die Nachlaufzeit zu beachten (siehe Kapitel 7.3). Ansonsten gelten dieselben Anforderungen und Empfehlungen wie bei der Komfortlüftung sowie die Brandschutzregeln aus Kapitel 1.8. Allgemein empfiehlt sich bei Abluftanlagen eine Bedarfsteuerung oder Regelung.

7.5 Layout von Abluftanlagen

Einzelraum-Abluftanlage mit separater Fortluft

Das Konzept der Einzelraum-Abluftanlage mit separater Fortluft eignet sich für Räume mit Ein/Aus-Betrieb, bei denen eine kurze Abluftleitung möglich ist, etwa in Form eines Fortluftdurchlasses an der Fassade. Häufig werden hier kompakte und kostengünstige Axialventilatoren eingesetzt. Ein Vorteil solcher Anlagen ist, dass sie die Schall- und Geruchsübertragung zwischen Ablufträumen und Wohnungen praktisch ausschliessen. Nachteilig kann der Schallpegel der Abluftventilatoren sein, insbesondere bei längeren Nachlauf-

zeiten. Weiter bildet jeder Fortluftdurchlass eine Wärmebrücke.

Einrohr-Abluftanlage

Bei Einrohr-Abluftanlagen sind alle Ablufträume mit eigenen Ventilatoren ausgerüstet, die an einer gemeinsamen Abluftleitung angeschlossen sind. Wegen des erforderlichen Förderdrucks werden Radialventilatoren eingesetzt. Die Geräte verfügen über Filter und dichte Rückschlagklappen. Die Ventilatoren können ein- oder mehrstufig betrieben werden.

Je nach Schallpegel und Dauerhaftigkeit des Ventilators kommt ein Dauerbetrieb infrage. Dabei ist auch der Einsatz einer Abluftwärmepumpe möglich. Die Eignung für den Dauerbetrieb muss vom Lieferanten der Ventilatoren aber ausdrücklich bestätigt werden.

Bei der Dimensionierung der Abluftleitung kann eine Gleichzeitigkeit für die Benutzung der Ablufträume berücksichtigt werden. Da dies in der Schweiz nicht durch Normen geregelt wird, sollen die Lieferantenangaben berücksichtigt werden. Bild 7.3 zeigt links das Schema einer Einrohr-Abluftanlage ohne Abluftwärmepumpe.

Einzelwohnungs-Abluftanlage

Bei Einzelwohnungs-Abluftanlagen saugt ein einzelner Ventilator die Abluft einer ganzen Wohnung ab. Dies ist dann sinnvoll, wenn ein Dauerbetrieb zur Be- und Entlüftung der ganzen Wohnung vorgesehen ist.

Optional kann eine Abluftwärmepumpe zur Wassererwärmung eingesetzt werden. Auf dem Markt gibt es sogenannte Multifunktionsgeräte, in denen Abluftventilator, Filter, Wärmepumpe, Warmwasserspeicher und Steuerung in einer kompakten Einheit zusammengefasst sind. Sie sind eine mögliche Lösung, wenn in einem bestehenden EFH ein Elektrowassererwärmer (Elektro-Boiler) ersetzt und nebenbei noch eine Wohnungslüftung realisiert werden soll.

Mehrwohnungs-Abluftanlage

Bei Mehrwohnungs-Abluftanlagen sammelt ein Abluftventilator die Abluft von mehreren Wohnungen. Je nach Anlagengrösse und Steuerung/Regelung schreiben die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn) eine Abluftwärmepumpe vor (siehe Kapitel 4.2). Analog zur Einzelwohnungs-Abluftanlage erwärmt die Wärmepumpe das Brauchwasser mit der Wärme aus der Abluft. Teilweise wird auch die Raumheizung unterstützt. Bild 7.3 zeigt rechts beispielhaft eine solche Lösung.

Bei bescheidenen Komfortansprüchen kommt ein einstufiger Dauerbetrieb in Frage. Bei einem mittleren oder gehobenen Standard werden die Ablufräume mit einfachen Volumenstromreglern ausgerüstet. Diese sogenannten Abluftautomaten erlauben meistens einen zweistufigen Betrieb mit Grundlüftung und Bedarfslüftung.

tung. Neben Hand- und Zeitsteuerungen (mit Nachlaufzeit) werden auch Feuchtergelungen angeboten. Bei solchen Anlagen gilt es unbedingt, die Schallübertragung zwischen den Ablufträumen von unterschiedlichen Wohnungen zu beachten.

Lüftungsgeräte für Abluftanlagen

Gemäss der schweizerischen Energieeffizienzverordnung (EnEV) müssen Lüftungsgeräte nach der Verordnung (VO) EU 1254/2014 deklariert werden. Dort wiederum wird verlangt, dass der Gerätelieferant unter anderem die Leistungskenndaten gemäss Tabelle 7.4 ausweist.

Bei Anlagen, die für Dauerbetrieb bestimmt sind, empfiehlt es sich, die Werte aus der Spalte «Empfohlener Wert» respektive die Klassen aus der Spalte «Empfohlene Klasse gemäss SN EN 13142» von Tabelle 7.3 zu verwenden. Bei Anlagen für Ein/Aus-Betrieb kann wegen der geringen

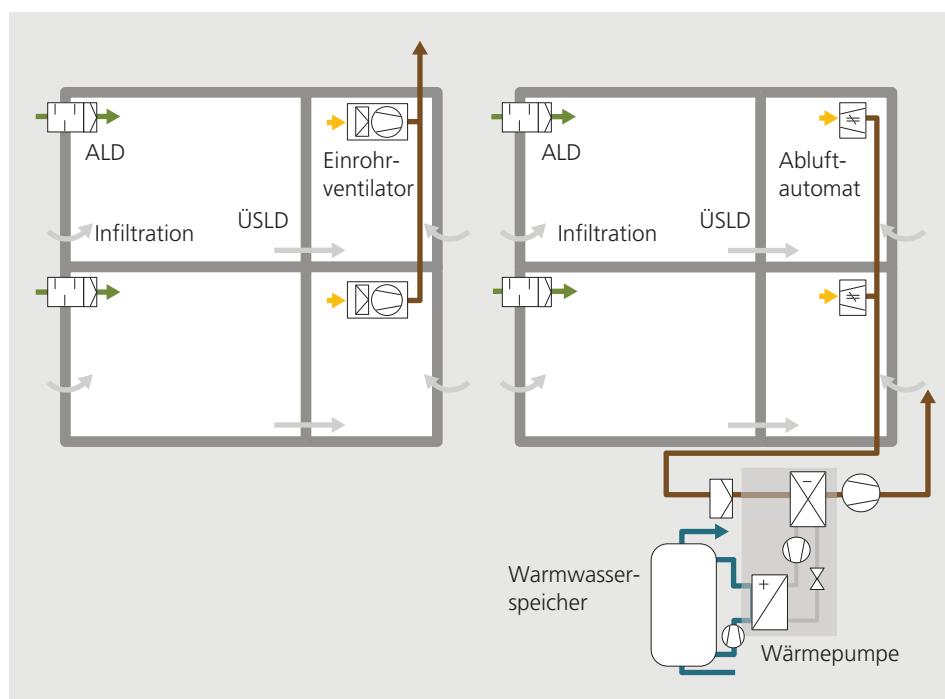


Bild 7.3: Einrohr-Abluftanlage (links) und Mehrwohnungs-Abluftanlage mit Abluftwärme pumpe (rechts).

Tabelle 7.4: Empfohlene Leistungskenndaten von Lüftungsgeräten (WLA) für Abluftanlagen gemäss VO EU 1253/2014 und empfohlene Klassen gemäss SN EN 13142:2021.

Bezeichnung gemäss VO EU 1254/2014	Empfohlener Wert	Von SN EN 13142 empfohlene Klasse
Klasse des spezifischen Energieverbrauchs	C	
Spezifische Eingangsleistung (deutsch SEL, englisch SP)	$\leq 0,10 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ resp. $\leq 360 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq \text{SPI } 1$
äussere Leckluftrate (bei 250 Pa)	$\leq 7 \%$	$\leq \text{A2}$
Empfindlichkeit des Luftstroms bei $\pm 20 \text{ Pa}$	$\leq 20 \%$	$\leq \text{S2}$

Betriebszeiten eine Klasse höher (z. B. SPI 2 statt SPI 1) akzeptiert werden. Das entspricht rund 50 % höheren Werten.

Die Empfindlichkeit des Luftstroms wird bei den Einzelraumlüftungsgeräten erläutert. Empfehlungen für Geräte mit Abluft-WP finden sich in Kapitel 9.10.

7.6 Aussenbauteil- Luftdurchlässe (ALD)

Welchen Komfort und Nutzen eine Abluftanlage bietet, hängt zu einem erheblichen Teil von der Qualität, Auslegung und Positionierung der ALD ab.

Strömungstechnische Auslegung

Die Druckverhältnisse und die Luftvolumenströme der gesamten Abluftanlage werden in Kapitel 7.3 behandelt. Hier geht es darum, die Typen und die Anzahl der ALD so zu bestimmen, dass beim geforderten Luftvolumenstrom der zulässige Druckabfall nicht überschritten wird. Dabei wird von sauberen Filtern ausgegangen.

Einige Lieferanten stellen Diagramme zur Verfügung, mit denen der Auslegepunkt bestimmt werden kann. Andere nennen nur einen Luftvolumenstrom bei einem bestimmten Druckabfall. Im zweiten Fall ist eine Umrechnung gefordert. Formel 7.3 zeigt, wie der Volumenstrom eines ALD im geplanten Normalbetrieb berechnet wird:

$$q_{v,ALD,N} = q_{v,ALD,m} \cdot \left(\frac{\Delta p_N}{\Delta p_m} \right)^n \quad (7.3)$$

Dabei ist $q_{v,ALD,m}$ der Aussenluft-Volumenstrom beim Messpunkt gemäss Herstellerangaben, Δp_N der Druckabfall des ALD beim Normalbetrieb und Δp_m der Druckabfall des ALD beim Messpunkt gemäss

Herstellerangaben. Wenn keine Herstellerangaben vorhanden sind, wird mit $n = 0,55$ gerechnet.

Filter

SIA 382/5 fordert allgemein für die Zuluft eine Filterklasse ISO ePM1 50 % (F7). Bei ALD kann von dieser Anforderung abgewichen werden, wenn die Aussenluft sauber ist, also die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) eingehalten sind. Zudem müssen die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- Eine Verschmutzung der ALD lässt sich durch Laien gut erkennen.
- Der Zugang zu verschmutzten Teilen ist ohne Werkzeuge und ohne Leiter gewährleistet.
- Verschmutzte Teile können mit einfachen Mitteln (Lappen und Wasser) und ohne Werkzeuge durch die Nutzer/Bewohner gereinigt werden.
- Die Bewohnerinnen und Bewohner erhalten eine Instruktion und eine schriftliche Anleitung für die Reinigung.

Wenn all dies erfüllt ist, fordert SIA 382/5 immer noch einen Filter der Klasse ISO ePM10 50 % (M5). Im Vergleich zu früheren Anforderungen der SIA 2023 oder auch zu ausländischen Normen ist dies anspruchsvoll. Nur wenige ALD-Typen erfüllen dies.

Thermische Behaglichkeit

Im Projekt ENABL [1] wurden Raumluftströmung und thermische Behaglichkeit bei ALD ausgiebig untersucht. Die Erkenntnisse des Projekts lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

Rechenbeispiel 7.4: Auslegung ALD nach Druckverlust

In einem Zimmer soll im Normalbetrieb bei 4 Pa Unterdruck ein Aussenluft-Volumenstrom von 30 m³/h durch die ALD strömen. Der gewählte ALD verursacht nach Herstellerangaben bei 25 m³/h Luftvolumenstrom 10 Pa Druckverlust. Gemäss Formel 7.3 ergibt sich für den Aussenluft-Volumenstrom durch den ALD im Normalbetrieb:

$$q_{v,ALD,N} = 25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (4 \text{ Pa}/10 \text{ Pa})^{0,55} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vom gewählten Typ müssen also pro Zimmer zwei ALD eingesetzt werden.

- Mit wandparalleler Einführung des Luftstrahls und Anordnung der ALD im oberen Raumbereich wird in der Regel das geringste Zuglufttrisiko erreicht. Dies gilt insbesondere, wenn zusätzlich ein Heizkörper unter dem ALD steht.
- Vorstehende Flächen oberhalb des ALD, etwa Vorhangbretter, können das Zuglufttrisiko erhöhen, wenn sie den Kaltluftstrahl in den Raum umlenken.
- Das horizontale Einführen der Luft ist bezüglich Behaglichkeit ungünstig. Die kalte Zuluft gelangt so in die Aufenthaltszone. In diesem Fall kann ein Heizkörper die Zuglufterscheinungen verstärken, in dem die Warmluftwalze die kalte Außenluft weit in den Raum hinträgt.
- Hinter Vorhängen angeordnete ALD verursachen ein wesentlich kleineres Zuglufttrisiko. Allerdings wurde in der Praxis schon beobachtet, dass helle Vorhänge verschmutzen können, besonders, wenn kein angemessener Filter vorhanden ist.

Bild 7.4 zeigt bewährte und kritische Anordnungen von ALD. Bewohnerbefragungen im Projekt FENLEG [2] haben gezeigt, dass bei Abluftanlagen in Wohnungen mit Heizkörpern prozentual weniger Zuglufterscheinungen gemeldet wurden als bei Wohnungen mit Fußbodenheizungen. Renommierte Hersteller haben das Zuglufttrisiko ihrer Produkte untersucht und können präzise Planungs- und Montagevorgaben liefern.

Akustische Auslegung

ALD schwächen den Schallschutz gegenüber Außenlärm. Trotzdem müssen die Anforderungen der SIA 181, Ziff. 3.1, eingehalten werden.

Bei geringer bis mässiger Lärmbelastung (Nacht-Wert $L_n = 52$ dB, Tag-Wert $L_d = 60$ dB) beträgt die Mindestanforderung $D_e = 27$ dB. Bei erhöhten Anforderungen gelten um 3 dB erhöhte Werte. Bei erheblicher oder starker Lärmbelastung gelten als Mindestanforderung in der Nacht $D_e = L_n - 25$ dB und am Tag $D_e = L_d - 33$ dB. Die genannten D_e -Werte gelten bei mittlerer Lärmempfindlichkeit, also beispielsweise für Wohn- und Schlafräume. Für die Projektierung müssen gleichzeitig zwei Anforderungen erfüllt werden:

Anforderung 1: Der Projektierungswert (für den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen) $D_{e,d}$ darf den Anforderungswert D_e nicht unterschreiten:

$$D_{e,d} = D_{45^\circ, nT, w} + C_{tr} - K_p \geq D_e \quad (7.4)$$

Anforderung 2: Das resultierende bewertete Bau-Schalldämmmass der Außenbauenteile, inklusive Spektrum-Anpassungswert muss um 5 dB höher sein als der Anforderungswert D_e :

$$(R'_{45^\circ, w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5 \text{ dB} \quad (7.5)$$

Dabei sind:

$D_{45^\circ, nT, w}$ Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz der Gebäudehülle in dB

C_{tr} Spektrum-Anpassungswert in dB

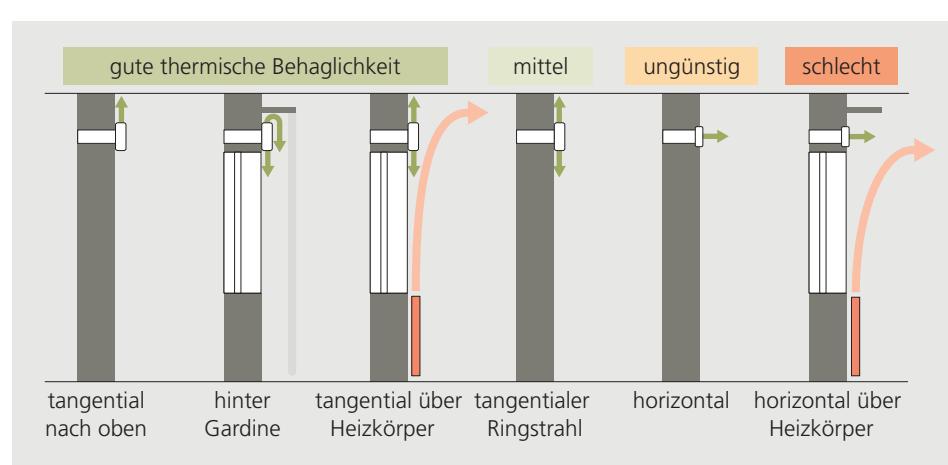


Bild 7.4: Bewährte und kritische Anordnung von ALD.

$R'_{45^\circ,w}$ Bewertetes Bau-Schalldämmmass

der Aussenbauteile in dB

K_p Projektierungszuschlag in dB

D_e Anforderungswert in dB

Bild 7.5 illustriert die Größen, die bei der Berechnung der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{45^\circ,nT,w}$ berücksichtigt werden. Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz plus Spektrum-Anpassungswert wird gemäss Formel 7.6 berechnet. Das resultierende bewertete Bau-Schalldämmmass der Aussenbauteile inkl. ALD ergibt sich aus Formel 7.7.

$$D_{45^\circ,nT,w} + C_{tr} = (R'_{w,S} + C_{tr,S}) - 10 \cdot \lg \left\{ \frac{T_0}{V \cdot 0,163} \cdot [S + A_0 \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w,S} + C_{tr,S}) - (D_{n,e,w} + C_{tr,ALD})]}] \right\} \quad (7.6)$$

$$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res} = (R'_{w,S} + C_{tr,S}) - 10 \cdot \lg \left\{ 1 + \frac{A_0}{S} \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w,S} + C_{tr,S}) - (D_{n,e,w} + C_{tr,ALD})]} \right\} \quad (7.7)$$

Dabei sind:

$R'_{w,S}$ Bewertetes Bau-Schalldämmmass der Gebäudehülle (Wand, Fenster, Dach) ohne ALD, in dB

$C_{tr,S}$ Spektrum-Anpassungswert der Gebäudehülle ohne ALD, in dB

T_0 Bezugsnachhallzeit, $T_0 = 0,5$ s

V Netto-Raumvolumen in m^3

S Fläche der Gebäudehülle inklusive ALD in m^2

A_0 Bezugss-Schallabsorptionsfläche, $A_0 = 10 m^2$

$D_{n,e,w}$ Bewertete absorptionsflächenbezogene Schallpegeldifferenz des ALD in dB

$C_{tr,ALD}$ Spektrum-Anpassungswert des ALD in dB

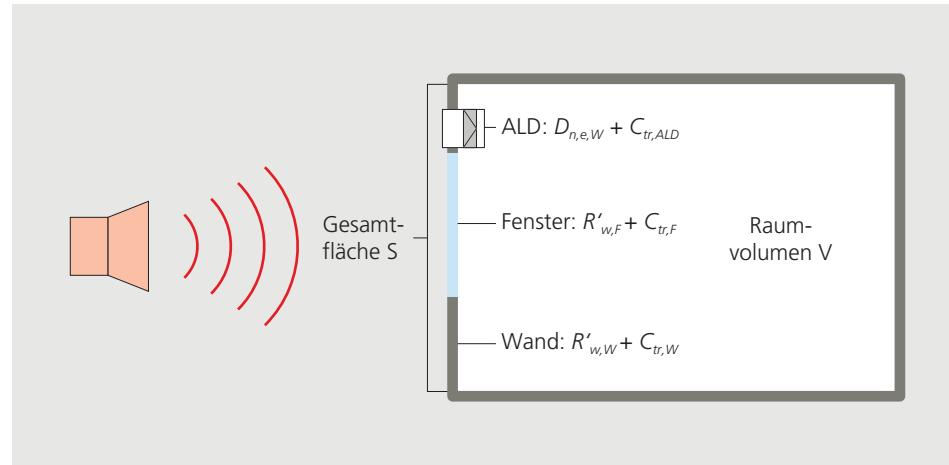


Bild 7.5: Schwächung der Schalldämmung einer Gebäudehülle durch ALD.

Rechenbeispiel 7.5: Nachweis des Schallschutzes mit zwei ALD

Ein Schlafzimmer hat 12 m^2 Fläche und ist $2,5 \text{ m}$ hoch (Nettovolumen 30 m^3). Die Fläche der gesamten Außenwand beträgt 8 m^2 , davon beansprucht das Fenster $1,9 \text{ m}^2$. Die Backsteinwand hat einen $(R'_{w,w} + C_{tr})$ -Wert von 55 dB . Der gewählte ALD weist folgende akustische Daten auf:

- Bewertete absorptionsflächenbezogene Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w} = 36 \text{ dB}$
- Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,ALD} = -1 \text{ dB}$

Damit die geforderten $30 \text{ m}^3/\text{h}$ nachströmen, müssen zwei ALD eingebaut werden. Dadurch reduziert sich der $D_{n,e,w}$ -Wert um 3 dB .

Tabelle 7.5 zeigt den Nachweis gemäss den Formeln 7.4 bis 7.7. Es werden zwei Fälle unterschieden:

- a) Ruhige Lage, altes Fenster
- b) Laute Lage, neues Schallschutzfenster

Zudem wird beurteilt, ob nur die Mindestanforderung gemäss SIA 181 erreicht wird oder die erhöhte Anforderung.

Resultat: An ruhiger Lage kann die Mindestanforderung an den Schallschutz gegen Aussengeräusche erfüllt werden. In allen anderen Fällen werden mit dem gewählten ALD-Typ die Anforderungen der SIA 181 nicht erfüllt.

Die Schwächung der Schalldämmung einer Gebäudehülle durch die ALD ist beachtlich: An ruhiger Lage sinkt die Schallpegeldifferenz durch den Einbau der ALD um 7 dB , an der lauten Lage gar um 14 dB . Wenn die ALD nach einem Fensterersatz eingebaut werden, dürfte dies zu Reklamationen führen.

Aus dem Beispiel lässt sich folgern, dass Abluftanlagen an lauten Lagen problematisch sein können. Die hier gewählten $D_{n,e,w}$ -Werte entsprechen akustisch mittelmässigen Produkten. An der lauten Lage könnten die Mindestanforderungen der SIA 181 eingehalten werden, wenn ALD mit einem $(D_{n,e,w} + C_{tr})$ -Wert von 42 dB eingesetzt werden. Mit einem solchen akustisch hochwertigen ALD verschlechtert sich die Schallpegeldifferenz an der ruhigen Lage noch um 3 dB , was akzeptabel ist. An der lauten Lage beträgt die Verschlechterung aber immer noch beachtliche 8 dB . Obwohl die Mindestanforderung eingehalten ist, dürfte dieses Resultat für die Bewohnerschaft immer noch unbefriedigend sein.

Beschreibung	Formelzeichen Term	Ein- heit	Ruhige Lage		Laute Lage	
			Anforderung		Anforderung	
			Mindest	Erhöht	Mindest	Erhöht
Grundlagen						
Lärmbelastung Nacht	L_r	dB	52		60	
Anforderungswert	D_e	dB	27	30	35	38
Projektierungszuschlag	K_p	dB	2		2	
Gebäudehülle ohne ALD						
Bew. Schalldämm-Mass Fenster	$R'_{w,F} + C_{tr,F}$	dB	31,0		40,0	
Bew. Schalldämm-Mass der Gebäudehülle ohne ALD	$R'_{w,S} + C_{tr,S}$	dB	37,0		45,6	
ALD						
Bew. Absorptionsflächen bez. Schallpegeldiff. von zwei ALD	$D_{e,n,w} + C_{tr,ALD}$	dB	32,0		32,0	
Anforderung 1 (Gl. 7.4)						
Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz mit zwei ALD	$D_{45^\circ,T,w} + C_{tr}$	dB	30,9		31,8	
Projektierungswert	$D_{e,d} = D_{45^\circ,n,T,w} + C_{tr} - K_p$	dB	28,9		29,8	
Anforderung 1 erfüllt?	$D_{e,d} \geq D_e$	ja	nein	nein	nein	
Anforderung 2 (Gl. 7.5)						
Bew. Bau-Schalldämmmass der Gebäudehülle mit zwei ALD	$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res}$	dB	30,0		30,9	
Anforderung 2 erfüllt?	$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5 \text{ dB}$		ja	ja	ja	nein

Tabelle 7.5: Nachweis des Schallschutzes für ein Zimmer mit zwei ALD.

Empfehlung und Faustformel

Damit die Standard-Schallpegel-Differenz der Gebäudehülle durch die ALD um nicht mehr als 1 bis 2 dB geschwächt wird, soll die absorptionsflächenbezogene Schallpegeldifferenz der ALD die Anforderung von Formel 7.8 erfüllen:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,ALD} \geq (R'_{w,F} + C_{tr,F}) - 10 \cdot \lg(S_f) + 12 \text{ dB} \quad (7.8)$$

dabei sind:

$D_{n,e,w}$	Bewertete absorptionsflächenbezogene Schallpegeldifferenz des ALD in dB
$C_{tr,ALD}$	Spektrum-Anpassungswert des ALD in dB
$R'_{w,F}$	Bewertetes Bau-Schalldämmmass der Fenster in dB
$C_{tr,F}$	Spektrum-Anpassungswert der Fenster in dB
S_f	Fensterfläche, in m^2

Unabhängig der Ergebnisse von Formel 7.8 soll der $(D_{n,e,w} + C_{tr,ALD})$ -Wert des ALD mindestens 38 dB betragen. Wenn der Lieferant keinen C_{tr} -Wert angibt, soll mit einem Default-Wert von $C_{tr,ALD} = -3 \text{ dB}$ gerechnet werden.

Die obige Formel gilt, wenn in einem Raum ein ALD installiert ist. Bei zwei ALD muss der $(D_{n,e,w} + C_{tr,ALD})$ -Wert des einzelnen ALD um 3 dB höher sein. Diese Faustformel setzt zudem voraus, dass die $R'_{w,F}$ -Werte der Wände und des Dachs mindestens 15 dB höher sind als die der Fenster.

Die Faustformel ersetzt keinen Schallschutznachweis.

7.7 Praxis

In einer Praxisuntersuchung im Auftrag der Energiefachstellen-Konferenz Ostschweiz [3] wurden Abluftanlagen in 13 Wohnungen von 5 verschiedenen Siedlungen untersucht. Dabei wurden die Filter gewechselt sowie die insgesamt 59 ALD und 34 Abluftdurchlässe gereinigt. Davor und danach wurden die Luftvolumenströme gemessen.

Bei 30 % der ALD wurden die Filter mindestens jährlich gewechselt. Bei der Hälfte der ALD lag der letzte Filterwechsel rund zwei bis drei Jahre zurück und bei 20 % der ALD waren es vier Jahre und mehr. In der letzten Gruppe gab es auch ALD, bei denen die Filter nach der Inbetriebsetzung noch gar nie ersetzt wurden.

Bild 7.6 zeigt, zu welchem Prozentsatz der von der Norm geforderte Luftvolumenstrom durch die ALD erreicht wurde. Das heisst: Werte von 100 % und mehr erfüllen die Norm. Die Norm lässt 15 % Toleranz zu – dies wurde beim Berechnen des Erfüllungsgrades berücksichtigt.

In 26 Zimmern war nur ein ALD vorhanden. Hier wurde die Norm-Anforderung mit einer Ausnahme nicht erreicht. Vor der Reinigung (Ist-Zustand) lag der durchschnittliche gemessene Außenluft-Volumenstrom bei lediglich 27 % des Normwerts. Im gereinigten Zustand war der

Rechenbeispiel 7.6: Abschätzen der akustischen Schwächung mit Faustformel

In einem Zimmer wird ein 2 m^2 grosses Fenster mit einem Bau-Schalldämmmass $(R'_{w,F} + C_{tr}) = 32 \text{ dB}$ eingesetzt. Es sind zwei ALD geplant. Gemäss Formel 7.8 ist:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,ALD} \geq 32 \text{ dB} - 10 \cdot \lg(2) + 12 \text{ dB} = 41 \text{ dB}$$

Da zwei ALD vorgesehen sind, muss jeder ALD einen $(D_{n,e,w} + C_{tr})$ -Wert von mindestens 44 dB aufweisen.

Beim angenommenen ALD nennt der Hersteller einen $D_{n,e,w}$ -Wert von 45 dB, aber ohne Angabe des $C_{tr,ALD}$. Mit der Annahme von $C_{tr,ALD} = -3 \text{ dB}$ ergibt sich ein geschätzter Wert von $D_{n,e,w} + C_{tr,ALD} = 42 \text{ dB}$. Die Empfehlung wird somit nicht erfüllt. Falls der gewählte ALD trotzdem eingesetzt werden soll, sind detailliertere Herstellerangaben und Abklärungen mit einem Bauakustiker erforderlich.

Durchschnitt mit rund 41 % immer noch klar zu tief.

Bei den Zimmern mit zwei ALD sieht die Situation besser aus: Im angetroffenen Zustand erfüllen nur 4 von 15 Zimmern die Anforderung nicht. Im gereinigten Zustand sind es nur noch zwei. Dies bestätigt, dass bei den heute üblichen Produkten in der Regel zwei ALD pro Zimmer erforderlich sind.

Bei Zimmern, in denen die Norm nicht erfüllt wurde, haben die Verschmutzungen den Außenluft-Volumenstrom um ein Drittel reduziert. Grund dafür waren aber längst nicht immer nur die verstopften Filter – auch verschmutzte Wetterschutz- und Insektengitter haben wesentlich dazu beigetragen.

Diese und andere Beobachtungen zeigen, dass die Instandhaltung von ALD und Abluftdurchlässen einen Zugang zu jedem

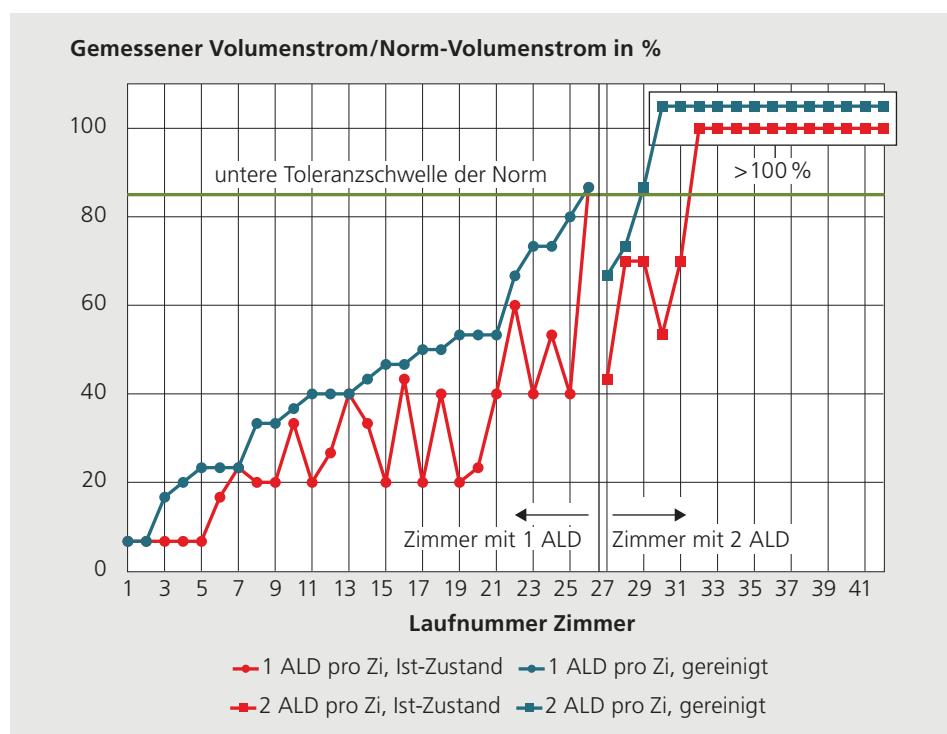


Bild 7.6: Außenluft-Volumenströme durch die ALD bei einer Praxisuntersuchung [3]; gezeigt ist das Verhältnis der gemessenen Werte im Vergleich zur Anforderung der Norm im angetroffenen Zustand und im gereinigten Zustand.

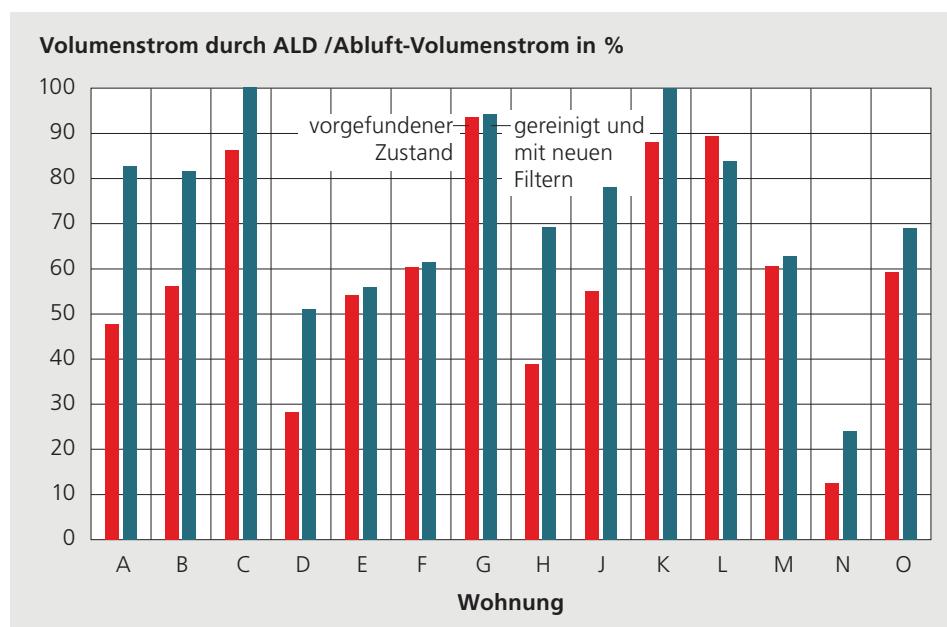


Bild 7.7: Verhältnis des Luftvolumenstroms durch die ALD zum Abluftvolumenstrom bei einer Praxisuntersuchung [3], im angetroffenen Zustand (Ist-Zustand) und im gereinigten Zustand.

Wohn- und Schlafzimmer erfordert. Insbesondere in Mietwohnungen können diese Arbeiten nicht an die Bewohner delegiert werden. Auch bei Wohneigentum lässt sich nur ein Teil der Arbeiten an die Eigentümer übertragen. So ist es beispielsweise nicht realistisch, dass ein Grossteil der Bewohner ein Insektenutzgitter für die Reinigung wiederholt fachgerecht aus- und einbaut.

Für eine einwandfreie Funktion der Elemente sind je nach Aussenluftqualität jährlich ein bis drei Instandhaltungsgänge erforderlich. Es ist unklar, wie stark Bewohner sich vom häufigen Betreten der Schlafzimmer durch Dritte gestört fühlen. Bild 7.7 zeigt das Verhältnis des Luftvolumenstroms durch die ALD zum Abluftvolumenstrom in den untersuchten Wohnungen. Wiederum wurde im angetroffenen Zustand und im gereinigten Zustand gemessen. Nach der Reinigung hat sich der Mittelwert des Verhältnisses von 0,59 auf 0,73 erhöht.

Wenn die besonders undichte Wohnung «N» unberücksichtigt bleibt, liegt der Faktor von Abluft zu Aussenluft (durch die ALD) im gereinigten Zustand bei durchschnittlich 1,3. Die entspricht dem Standardwert der SIA 382/5. Im ungereinigten Zustand lag der Mittelwert des Faktors bei 1,6. Bei den vier besonders dichten Wohnungen strömten sowohl im gereinigten als auch im angetroffenen Zustand mindestens 85 % der Aussenluft über die ALD nach (Faktor < 1,2). Vergleichbare Kennwerte wurden auch in [2] ermittelt.

7.8 Literatur

- [1] Dorer, Viktor; Pfeiffer, Andreas: ENABL, Energieeffiziente Abluftsysteme. Schlussbericht des gleichnamigen Forschungsprojekts. Empa, Dübendorf 2002
- [2] Hoffmann, Caroline; et al.: FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich? Schlussbericht des BFE-Projekts. Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Muttenz/Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien

Projektierung Einzelraumlüftung

Stellschrauben bei Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

Folgende Anforderungen tragen wesentlich zu qualitativ hochwertigen Anlagen bei.

Leistungskenngrößen Einzelraumlüftungsgeräte

- Die Empfindlichkeit des Luftstroms (auch Druckschwankungsempfindlichkeit genannt) ist ein massgebendes Qualitätsmerkmal für die Energieeffizienz und Funktion solcher Geräte. Der Wert soll bei maximal 20 % liegen (Klasse S2).
 - Energieklasse A oder besser¹
 - Wärmerückgewinnung vorzugsweise mit einem Enthalpieübertrager
 - Kein Elektroheizregister, weder als Vereisungsschutz der WRG noch für eine Nachwärmung

Hinweise zu Push-Pull-Lüftern

- Bei Push-Pull-Lüftern wechselt die Strömungsrichtung alle ein bis zwei Minuten. Grundsätzlich gelten die gleichen Anforderungen wie für andere Einzelraumlüftungsgeräte.
- Push-Pull-Lüfter müssen immer paarweise mit einer gemeinsamen Steuerung eingesetzt werden.
- Da die Luft nur die halbe Zeit in eine Richtung gefördert wird, muss der Luftvolumenstrom doppelt so hoch sein wie bei Geräten für einen kontinuierlichen Betrieb.
- Die europäische Prüfnorm EN 13141-8:2015 beurteilt diese Geräte ungenügend. Deshalb sollen Prüfergebnisse nach dem deutschen DIBT verwendet werden.
- Gemäss Schweizer Norm muss jeder Lüfter mit zwei Filtern, je einem auf der Aussenseite und auf der Raumseite, ausgerüstet sein. Nur wenige Push-Pull-Lüfter erfüllen diese Anforderung.

Schallschutz

- Für die korrekte Beurteilung muss der Schallleistungspegel angegeben werden. In Schlafzimmern muss der Wert bei ca. 25 dB(A) für 30 m³/h Luftvolumenstrom liegen. Ein grosser Teil der heute angebotenen Einzelraumlüftungsgeräte hält dies nicht ein.
- Einige Lieferanten geben den Schalldruckpegel in einem Abstand von 1 m oder 3 m an. Damit ist eine Messung im Freien gemeint. In einem Zimmer resultiert ein 8 dB höherer Schalldruckpegel als die Angabe bei «1 m Abstand», respektive ein um 17 dB höherer als bei «3 m Abstand».
- Einzelraumlüftungsgeräte können den Schallschutz gegen Aussengeräusche schwächen. Für die qualifizierte Beurteilung braucht es einen Bauakustiker (vgl. Kapitel 7.6).

Kombination mit Abluftanlagen

- Einzelraumlüftungsgeräte können mit Abluftventilatoren in Bad und WC kombiniert werden. Dann gewährleisten sie zusammen mit der üblichen Infiltration das Nachströmen der Ersatzluft. Bei besonders luftdichten Gebäuden (etwa Minergie-P) und grossen Abluftvolumenströmen (ab zwei Bädern) sind allenfalls Massnahmen erforderlich, um einen unzulässigen Unterdruck zu vermeiden.
- Die Abluftventilatoren sollen bedarfsgesteuert Ein/Aus betrieben werden.

¹ Dieser Wert muss im Rahmen der Energievorschriften vom Lieferanten deklariert werden.

Hygiene und Wartung

Nicht nur der Filterwechsel, sondern auch die Reinigung der Außenluftgitter, Insektenutzgitter etc. erfordert die regelmässige Wartung durch Fachpersonal. Erfahrungen zeigen, dass Mieter nicht in der Lage sind, Einzelraumlüftungsgeräte fachgerecht instand zu halten. Wartungsverträge mit mindestens einem Servicegang pro Jahr sind unbedingt zu empfehlen. Dabei müssen die Bewohnerinnen und Bewohner akzeptieren, dass jedes Schlafzimmer betreten wird.

8.1 Luftvolumenströme und Raumluftfeuchte

Zuluft- und Abluftvolumenstrom pro Zimmer betragen gemäss Kapitel 3.6 in der Regel $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Abluft in Bad, Dusche und WC wird meistens mit klassischen Abluftventilatoren abgeführt. Für die Auslegung der minimalen Abluftvolumenströme wird auf Kapitel 7 verwiesen. Oft sind aber keine ALD erforderlich – darauf wird in Kapitel 8.5 eingegangen.

Analog zu anderen Systemen muss grundsätzlich beurteilt werden, ob der Feuchteschutz im Winter und die Anforderungen an die minimale Raumluftfeuchte eingehalten sind. Durch die sehr flexible Betriebsweise von Einzelraumlüftungsgeräten lässt sich aber mit oder ohne Feuchterückgewinnung die Raumluftfeuchte fast beliebig beeinflussen. So lassen sich bei einer grossen Bandbreite von Belegung und Feuchteanfall sowohl die obere als auch die untere Feuchtgrenze einhalten. Dies setzt aber voraus, dass die Bewoh-

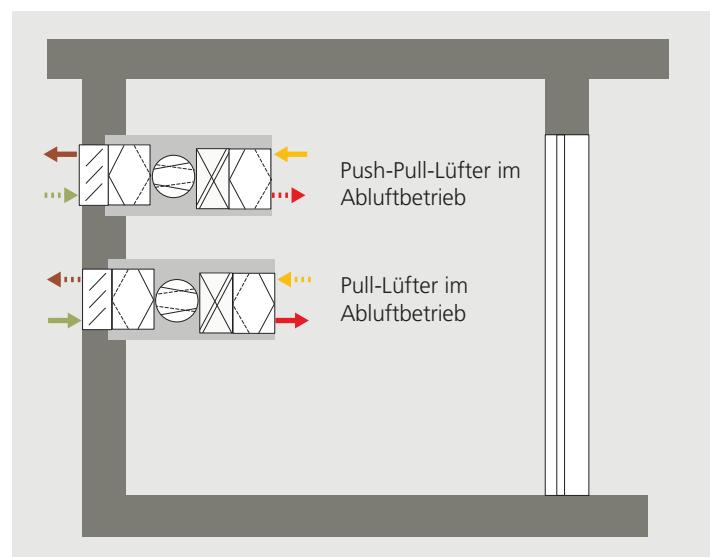
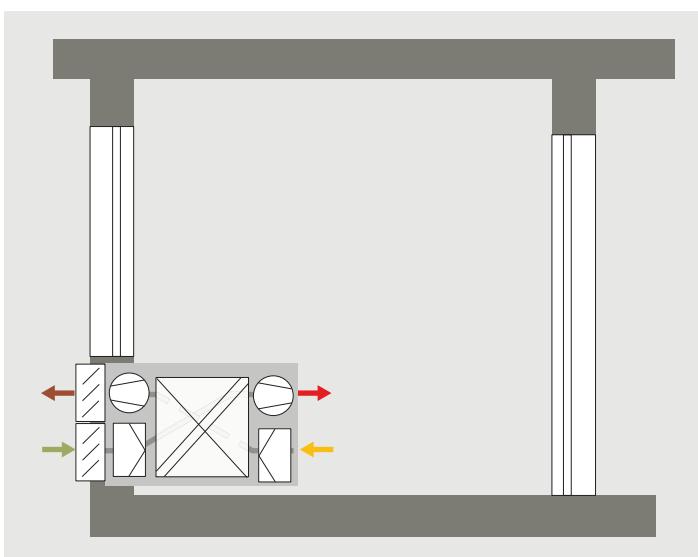
nenden die Mechanismen hinter der Raumluftfeuchte ausreichend verstehen und gut instruiert sind. Bei mangelhaftem Verständnis und Fehlverhalten kann die hohe Flexibilität kontraproduktiv sein. Ein erhebliches Risiko besteht darin, dass die Bewohnenden die Geräte dauerhaft ausschalten, weil sie diese als zu laut empfinden. Die wirksamsten Massnahmen zum Feuchteschutz sind daher leise Geräte und eine gute Instruktion.

8.2 Gerätetypen, Kenngrössen, Anforderungen

Geräte mit kontinuierlichem Betrieb (Bild 8.1) arbeiten mit Zuluft- und Abluftvolumenströmen, die bei einer gewählten Betriebsstufe konstant bleiben. Die Zuluft- und die Abluftseite verfügen über einen eigenen Ventilator und ein eigenes Filter. Die Wärme wird über Plattenübertrager zurückgewonnen.

Bei **Push-Pull-Lüftern**, die auch als Pendellüfter bezeichnet werden, ändert die

Bild 8.2: Push-Pull-Lüfter werden für die Lüftung eines Raumes immer paarweise eingesetzt.



Luftrichtung zyklisch im Bereich von einer bis zwei Minuten. Die WRG besteht aus einer Speichermasse, die bei Strömungsrichtung vom Raum nach aussen geladen und in die andere Richtung entladen wird. Für den korrekten Betrieb müssen Push-Pull-Lüfter immer paarweise eingesetzt werden, wobei das eine Gerät im Zuluft- und das andere im Abluftmodus arbeitet. Bild 8.2 zeigt schematisch einen Raum, der mit einem Paar solcher Lüfter be- und entlüftet wird. Bei den meisten Produkten sorgen in beide Richtungen betreibbare Axialventilatoren für Umkehr der Strömungsrichtung.

Sowohl kontinuierlich als auch im Push-Pull-Modus arbeitende Geräte sind mit und ohne Feuchterückgewinnung erhältlich.

Empfindlichkeit des Luftstroms

Da Einzelraumlüftungsgeräte in der Regel nicht an einem Kanalnetz betrieben werden, liefern ihre Ventilatoren nur einen geringen Förderdruck. Das hat einerseits den Vorteil einer geringen elektrischen Aufnahmleistung. Andererseits führt dies dazu, dass äussere Druckschwankungen wie Wind und Auftriebskräfte, aber auch Verschmutzungen zu erheblichen Schwankungen des Luftvolumenstroms führen können. Dies wird in den Normen als «Empfindlichkeit des Luftstroms» und in den EcoDesign-Vorschriften als «Druckschwankungsempfindlichkeit» bezeichnet. Nach der Prüfnorm EN 13141-8:2015 [1] wird die Empfindlichkeit des Luftstroms bestimmt, indem jeweils bei -20 Pa Unterdruck und $+20\text{ Pa}$ Überdruck (zwischen der Innen- und Aussenseite) gemessen wird, um wie viel sich der Luftvolumenstrom ändert.

Klasse der Empfindlichkeit des Luftstroms	Betrag der maximalen Abweichung des Luftvolumenstroms, verglichen mit dem maximalen Luftvolumenstrom	
	bei $+20\text{ Pa}$	bei -20 Pa
S1	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$
S2	$\leq 20\%$	$\leq 20\%$
S3	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$
Nicht klassifiziert	$> 30\%$	$> 30\%$

Tabelle 8.1: Klassierung der Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss EN 13142:2021 [2].

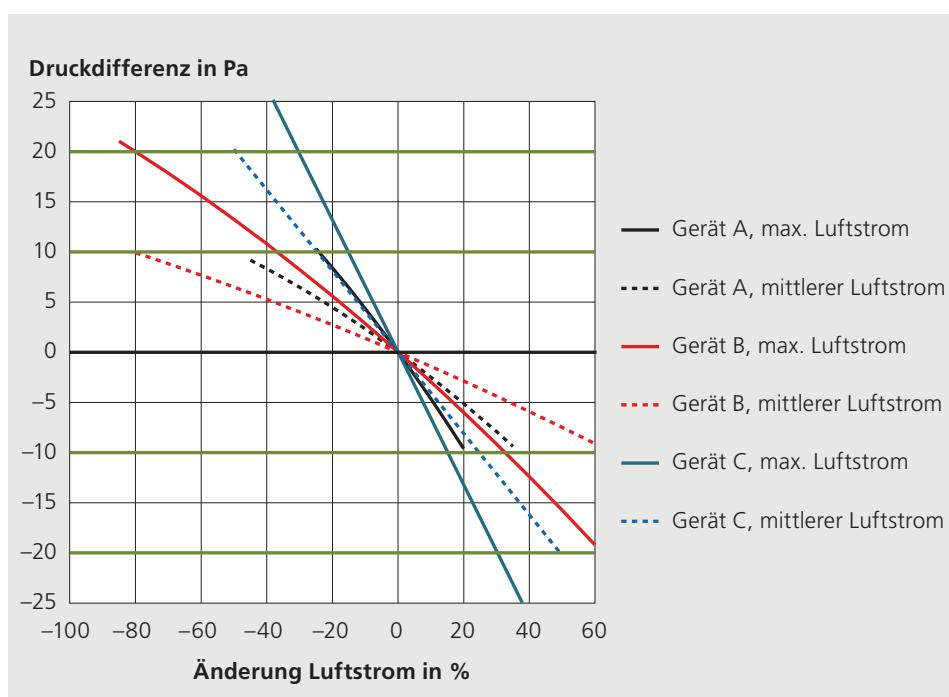


Bild 8.3: Empfindlichkeit des Luftstroms aus Messungen an drei Push-Pull-Geräten im Projekt EwWalt [3].

Die Norm EN 13142:2021 [2] klassiert die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss Tabelle 8.1. Es ist aber möglich, dass sich die Klassierung bei einer Revision der Prüfnorm EN 13141-8 auf andere Bedingungen (evtl. 10 Pa, gemessen beim Referenzvolumenstrom) beziehen wird.

Bild 8.3 zeigt die Messresultate von drei Push-Pull-Lüftern, die im Rahmen des deutschen Projekts EwWalt [3] durchgeführt wurden. Der stabilste Lüfter C erreicht knapp die Klasse S3. Der Lüfter B mit dem empfindlichsten Ventilator kommt gar auf 80 % Abweichung. Das bedeutet, dass der geförderte Luftvolumenstrom bei 20 Pa Überdruck im Gebäude auf ein Fünftel des ursprünglichen Werts sinkt.

Lüfter A kann nicht nach der EN 13142 klassiert werden. Bei der üblicherweise eingestellten mittleren Betriebsstufe verändert sich hier der Luftstrom bei 10 Pa Differenzdruck aber um beachtliche 40 bis 50 %.

Diese Daten zeigen, dass Push-Pull-Lüfter eine hohe Empfindlichkeit des Luftstroms haben können. Der Grund liegt bei den Axialventilatoren. Einzelraumlüftungsgeräte mit kontinuierlichem Betrieb sind dagegen meist mit Radialventilatoren ausgerüstet, die eine geringere Empfindlichkeit des Luftstroms aufweisen. Dort werden typischerweise die Klassen S2 und S3 erreicht, wobei es auch nicht klassifizierte und einige wenige S1-Geräte gibt. Die Empfindlichkeit des Luftstroms führt in der Praxis zu einer Disbalance, die den Nutzen der WRG erheblich schwächt, vergleiche auch Kapitel 8.6 und 9.4. Die SIA 382/5 differenziert die Anforderung an die Empfindlichkeit des Luftstroms je nach Einsatzbereich gemäss Tabelle 8.2.

Abschätzung der Veränderung des Luftvolumenstroms im Normalbetrieb

Typischerweise arbeiten Einzelraumlüftungsgeräte im Normalbetrieb bei etwa 70 % des maximalen Luftvolumenstroms.

Einsatzbereich	Erforderliche Klasse
• Starkwindgebiet oder	S1
• Einbaulage mehr als 20 m über Terrain (z. B. in Hochhäusern) oder	
• Lüftungszone mit mehr als 6 m Höhe (z. B. EFH mit drei Geschossen)	
• Alle übrigen Fälle mit Wohnungen mit mehr als einer Fassade ¹⁾ oder	≤ S2
• einer Höhe der Lüftungszone von 3 bis 6 m	
• Wohnungen mit nur einer Fassade und gleichzeitig höchstens 3 m Höhe der Lüftungszone	≤ S3

1) Der Begriff «Fassade» wird in der SIA 382/5 für Außenwände mit unterschiedlicher Ausrichtung respektive Orientierung verwendet.

Tabelle 8.2: Anforderungen an die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss SIA 382/5.

Rechenbeispiel 8.1: Empfindlichkeit des Luftvolumenstroms bei Einzelraumlüftungsgeräten

Ein Einzelraumlüftungsgerät mit kontinuierlichem Betrieb belüftet ein Zimmer, in dem 5 Pa Unterdruck herrschen. Der Lieferant gibt die Empfindlichkeit des Luftstroms für die Zuluft- und die Abluftseite mit 20 % an. Bei 0 Pa Differenzdruck würden der Zuluft- und Abluftvolumenstrom jeweils 30 m³/h betragen. Wie gross sind die Volumenströme bei 5 Pa Unterdruck?

Gemäss Formel 8.1 ergibt sich als Differenz zu 5 Pa:

$$q_v = 0,20 \cdot \frac{5 \text{ Pa}}{10 \text{ Pa}} \cdot 30 \text{ m}^3/\text{h} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der Zuluftvolumenstrom erhöht sich somit um 3 m³/h auf 33 m³/h. Der Abluftvolumenstrom reduziert sich um 3 m³/h auf 27 m³/h. Die Differenz zwischen dem Zuluft- und Abluftvolumenstrom beträgt somit 6 m³/h.

Mit dieser Förderleistung ist die Empfindlichkeit des Luftstroms bei 10 Pa etwa gleich gross wie bei maximaler Förderleistung und 20 Pa. Vereinfacht kann angenommen werden, dass sich der Luftvolumenstrom linear zur Druckdifferenz verändert. Die Veränderung des Luftvolumenstroms (in eine Strömungsrichtung) im Normalbetrieb kann also abgeschätzt werden mit:

$$q_v = v \cdot \frac{\Delta p_n}{10 \text{ Pa}} \cdot q_{v,n} \quad (8.1)$$

Wobei v die Empfindlichkeit des Luftstrom beim maximalen Luftvolumenstrom und 20 Pa ist. Δp_n ist die Druckdifferenz im Normalbetrieb zwischen innen und aussen und $q_{v,n}$ der Luftvolumenstrom im Normalbetrieb.

Effektiver Luftvolumenstrom

Push-Pull-Lüfter fördern nur während der Hälfte ihrer Betriebszeit Aussenluft in den Raum. Zudem muss die Umschaltphase zwischen Zuluft- und Abluftbetrieb berücksichtigt werden. Je nach Ventilatorsteuerung reduziert sich der Luftstrom gegenüber einem Dauerbetrieb um typischerweise 5 bis 10 %, in Einzelfällen um bis zu 20 %. Zudem kann die Ventilatorsteuerung eine Disbalance verursachen – zusätzlich zur Empfindlichkeit des Luftstroms. Im Prüfverfahren der EN 13141-8:2015 ist der Einfluss der Ventilatorumschaltung nicht korrekt abgebildet. Ein besseres Verfahren wurde im Projekt EwWalt [3] entwickelt – es wird bei der

deutschen Prüfung nach DIBT angewendet. Dieses Verfahren wird voraussichtlich in die revidierte europäische Prüfnorm einfließen. Bis es soweit ist, sollen daher die Prüfdaten nach DIBT verwendet werden.

Vereisungsschutz der WRG

Eine elegante Lösung für den Vereisungsschutz der WRG ist die Feuchterückgewinnung. Bei einigen Geräten ohne Feuchterückgewinnung schaltet die Steuerung den Zuluftventilator oder beide Ventilatoren aus, wenn eine bestimmte Außentemperatur, zum Beispiel -3°C , unterschritten wird. Damit fällt der Nutzen der WRG bei tiefen Außentemperaturen weg.

Filter

Die Schweizer Normen stellen bei allen Lüftungsgeräten dieselben Anforderungen an die Filter. Deshalb müssen auch Einzelraumlüftungsgeräte mit einem Zuluftfilter der Klasse ISO ePM1 50 % (F7) ausgerüstet werden.

Bei Push-Pull-Lüftern werden die Filter wechselseitig durchströmt. Dabei stellt sich natürlich die Frage, ob im Filter angesammlte Partikel wieder in den Raum zurückgespült werden. Obwohl keine fundierte Untersuchung dazu bekannt ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich Partikel in einem Filtergewebe der Klasse ISO ePM1 50 % verkrallen und bei den üblichen Strömungsgeschwindigkeiten nicht mehr losgerissen werden.

Eine andere Frage ist, ob bei Push-Pull-Lüftern ein Filter ausreicht und, wenn ja,



Bild 8.4: Push-Pull-Lüfter fördern Luft abwechselnd zu und ab. Dabei filtern sie Staub heraus und können je nach Modell auch Wärme sowie Feuchte zurückgewinnen. (Quelle: Stiebel Eltron)

wo es platziert werden soll. Die SIA 382/5 liefert dazu in Ziff. 5.3.6.4 folgende Antwort:

«*Da die Wärmerückgewinnung und weitere Geräteteile (z. B. der Ventilator) sowohl von der Abluft wie auch von der Zuluft durchströmt werden, ist dafür zu sorgen, dass die Luft in beiden Strömungsrichtungen vor dem Eintritt in die WRG und die weiteren von beiden Luftarten berührten Anlageteile mindestens mit einem Filter der Klasse ISO ePM10 50% (M5) gefiltert wird. Die Zuluft muss nach dem letzten (in Strömungsrichtung Raum) von der Abluft berührten Anlageteil einen Filter von mindestens der Klasse ISO ePM10 50% (F7) durchströmen.»*

Die in Bild 8.2 dargestellte Anordnung mit zwei Filtern pro Lüfter entspricht daher der Schweizer Norm. Die Mehrheit der auf dem Markt angebotenen Produkte erfüllt diese Anforderung aber nicht.

Schall

Als Richtwert gilt, dass der Schalldruckpegel in einem Zimmer maximal 25 dB(A) betragen darf. Hinweise zum normgerechten Nachweis finden sich in Kapitel 11. Tabelle 8.3 zeigt Richtwerte für den zulässigen Schallleistungspegel bei verschiedenen Raumgrößen. Diverse Lieferanten geben aber nicht den Schallleistungspegel an, sondern den Schalldruckpegel in Ab-

stand von 1 m oder 3 m. Diese Angaben gelten aber nicht für ein Zimmer, sondern im sogenannten Freifeld (unendlich grosser Raum). Der resultierende Schalldruckpegel in einem Zimmer ist deutlich höher. Die beiden Spalten auf der rechten Seite in Tabelle 8.3 liefern Richtwerte dafür, wie hoch Schalldruckpegel in 1 m oder 3 m Abstand (bei einer Freifeldmessung) höchstens sein dürfen, damit sie im realen Raum 25 dB(A) nicht überschreiten.

Bedingt durch den Einbau in der Fassade schwächen Einzelraumlüftungsgeräte den Schallschutz gegenüber Aussengeräuschen. Die Schwächung wird analog zu den ALD in Kapitel 7.6 beurteilt. Auch die bewertete absorptionsflächenbezogene Schallpegeldifferenz ($D_{n,e,w} + C_{tr}$) muss dieselben Anforderungen erfüllen. Sind in einem Raum zwei Push-Pull-Lüfter installiert, wird der ($D_{n,e,w} + C_{tr}$)-Wert gegenüber dem einzelnen Gerät um 3 dB geschwächt.

Empfohlene und geforderte Leistungskenngrössen

Tabelle 8.4 zeigt empfohlene Leistungskenngrössen von Einzelraumlüftungsgeräten. Die EcoDesign-Vorschriften (Stand Anfang 2021) verlangen für Einzelraumlüftungsgeräte in der Regel keine Energieetikette. Trotzdem müssen die aufgeführten Kenngrössen vom Lieferanten deklariert werden.

Rechenbeispiel 8.2: Schalldruckpegel von Einzelraumlüftungsgeräten

Ein Einzelraumlüftungsgerät wird in einem 12 m² grossen Schlafzimmer eingesetzt. Der Lieferant gibt 17 dB (A) Schalldruckpegel in 3 m Abstand an. Gemäss Tabelle 8.3 darf der Schalldruckpegel in 3 m Abstand (bei einer Freifeldmessung) aber höchstens 8 dB(A) erreichen. Das Gerät ist also rund 9 dB zu laut. Oder anders herum: In Schlafzimmer würde es 34 dB(A) Schalldruckpegel verursachen.

Bodenfläche des Zimmers ¹⁾	Max. Schallleistungspegel $L_{W,A}^2$	Max. Schalldruckpegel L_{pA} in einem Abstand ^{2), 3)}	
		von 1 m	von 3 m
bis zu 10 m ²	25 dB(A)	17 dB(A)	7 dB(A)
von >10 m ² bis 20 m ²	26 dB(A)	18 dB(A)	8 dB(A)
> 20 m ²	28 dB(A)	20 dB(A)	10 dB(A)

1) Bei typischer Raumhöhe und Möblierung
 2) Bei zwei Geräten in einem Raum muss der Pegel jedes Geräts 3 dB tiefer sein
 3) Bei der Freifeldmessung respektive Messung im halbreflektierenden Raum

Tabelle 8.3: Richtwerte für den maximal zulässigen Schallpegel von Einzelraumlüftungsgeräten.

8.3 Anlagen für kontinuierlichen Betrieb

Varianten und Mischformen

Wenn eine ganze Wohnung ausschliesslich nach dem Prinzip «Einzelraum» belüftet wird, braucht auch das Wohnzimmer ein eigenes Gerät. In der Reinform wären auch die Ablufträume wie Bad/WC nach dem Prinzip Einzelraum zu lüften. Dies könnte entweder durch die Installation eines Lüftungsgeräts oder durch Fensterlüftung realisiert werden. Wesentlich typischer ist aber die Kombination mit Abluftanlagen (siehe weiter unten).

Das Prinzip «Einzelraum» bietet sich gut für Mischformen zusammen mit anderen Arten der Luftführung an. Infrage kommen insbesondere:

- Bei hauptsächlich nach dem Prinzip «Kaskade» belüfteten Wohnungen wird das Prinzip «Einzelraum» nur für einzelne Zimmer mit speziellen Nutzungszeiten oder Anforderungen eingesetzt. Das können etwa Arbeitszimmer, Bastelräume oder Gästezimmer sein.
- Naheliegend ist eine Kombination mit dem Prinzip «Verbund mit offenen Türen». Dort werden die Schlafzimmer mit Einzelraumlüftungsgeräten ausgerüstet.

Wenn tagsüber die Zimmertüren mehrheitlich offen stehen, stellt sich in der ganzen Wohnung eine gute Raumluftqualität ein. Wenn nachts die Zimmertüren geschlossen sind, bleibt die Raumluftqualität in den Schlafzimmern weiterhin gut. Im Wohn-/Essbereich kann nachts ohne relevante Komforteinbusse auf mechanische Lüftung verzichtet werden.

■ Grundsätzlich ist auch eine Kombination mit dem Prinzip «Verbund mit aktiver Verteilung» möglich. Denkbar sind Fälle, bei denen sich in einem Schlafzimmer kein Einzelraumlüftungsgerät installieren lässt, dafür aber im Wohn-/Essbereich oder im Korridor. Dies kann etwa dann vorkommen, wenn das Schlafzimmer an eine sehr laute Umgebung grenzt, die Aussenluft stark belastet ist oder wenn die Installation des Geräts aus baulichen Gründen nicht möglich ist.

Kombination mit Abluftanlagen

Die sehr häufig anzutreffende Mischform aus Einzelraumlüftungsgeräten und Abluftanlagen kombiniert die Prinzipien «Einzelraum» und «Kaskade», oft kommt auch noch «Verbund mit offenen Türen» hinzu. Bild 8.5 illustriert dies am Beispiel einer 4½-Zimmer-Wohnung, bei der in den Zim-

Bezeichnung gemäss VO EU 1254/2014 resp. EN 13142:2021	Empfohlener Wert	Empfohlene Klasse gem. EN 13142
Spezifischer Energieverbrauch (deutsch SEV, englisch SEC), Energieverbrauchsklasse für mittleres europäisches Klima	$\leq -38 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ a})$ A oder A+	
Temperaturverhältnis	$\geq 70 \%$	$\leq \text{TRS } 3$
Spezifische Eingangsleistung (deutsch SEL, englisch SPI)	$\leq 0,19 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ resp. $\leq 684 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq \text{SPI } 2$
innere Leckluftrate ¹⁾	bei 20 Pa $\leq 3,0 \%$ bei 100 Pa $\leq 8,5 \%$ mit Tracergas $\leq 2,0 \%$	$\leq \text{U2}^3)$
äussere Leckluftrate ¹⁾	bei 50 Pa $\leq 3,0 \%$ bei 250 Pa $\leq 8,5 \%$	
Mischrate ²⁾ Aussenbereich/Mischung der Aussenluft	$\leq 5,0 \%$	
Mischrate Innenbereich/Mischung der Innenluft	$\leq 5,0 \%$	

1) Die Prüfmethoden sind nach EN 13142:2021 alternativ, d. h. nur ein Wert wird deklariert.

Die VO EU 1254/2014 definiert die innere Leckluftrate bei 100 Pa und die äussere bei 250 Pa.

2) Unter der Mischrate versteht man den Kurzschluss zwischen Fortluft und Aussenluft respektive Zuluft und Abluft

3) Bei der Klassierung werden alle vier Leckraten respektive Mischraten berücksichtigt und zusammen einer Klasse zugeordnet

Tabelle 8.4: Leistungskenngrössen von Einzelraumlüftungsgeräten gemäss VO EU 1253/2014 und EN 13142:2021, sowie empfohlene Werte und Klassen.

moderne Einzelraumlüftungsgeräte installiert sind und in Bad/WC respektive Dusche/WC je ein bedarfsgesteuerter Abluftventilator.

Das linke Schema zeigt einen Nachtfall mit geschlossenen Zimmertüren und ausgeschalteten Abluftventilatoren. Im nicht belegten Zimmer ist das Einzelraumlüftungsgerät ausgeschaltet.

Das mittlere Schema zeigt den Tagfall, bei dem eine Person im Zimmer mit geschlossener Tür arbeitet und sich zwei Personen im Wohnzimmer befinden. Alle drei Einzelraumlüftungsgeräte sind eingeschaltet. Die Türen der beiden nicht belegten Zimmer stehen offen. Die Abluftventilatoren sind ausgeschaltet.

Im rechten Schema herrscht eine ähnliche Situation wie im mittleren, ausser, dass nun ein Abluftventilator eingeschaltet ist, weil eine Person das Bad benutzt.

Diese drei Fälle sind exemplarisch und beschreiben längst nicht alle möglichen Kombinationen. Im Beispiel wird die Abluft in Bad/WC und Dusche/WC bedarfsgesteuert Ein/Aus betrieben. Hinweise zum kombinierten Betrieb, insbesondere zur Nachströmung der Ersatzluft, finden sich in Kapitel 8.5.

8.4 Anlagen mit Push-Pull-Lüftern

Einzelraum-Verbund

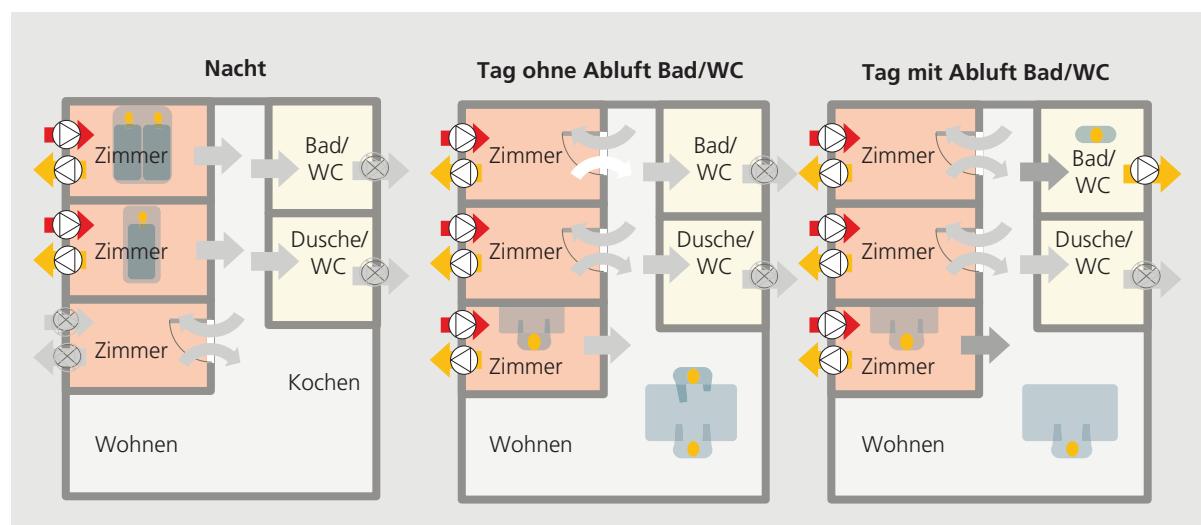
Bild 8.2 zeigt, wie zwei Push-Pull-Lüfter quasi zu einem Einzelraumlüftungsgerät zusammengefasst werden. Jeder Lüfter muss bei üblicher Auslegung in beide Strömungsrichtungen einen mittleren Luftvolumenstrom von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ fördern. Die elektrische Aufnahmleistung für diesen Luftvolumenstrom entspricht daher in Summe der Leistung von beiden Lüftern. Zudem ist der Schallpegel im Raum 3 dB höher, als der Schallpegel eines einzelnen Lüfters. Die Dämmung gegen Aussen- schall ($D_{n,e,w} + C_{tr}$) nimmt gegenüber einem Lüfter um 3 dB ab.

Mehrraum-Verbund

Push-Pull-Lüfter lassen sich zu einem Verbund über mehrere Räume zusammen- schliessen. Bild 8.6 zeigt exemplarisch eine mögliche Anordnung von zwei Gerätelpaaren in einer $4\frac{1}{2}$ -Zimmer-Wohnung. Im Intervall A führen die Lüfter in den Zimmern 1 und 3 Zuluft zu. Im Zimmer 2 und im Wohnbereich wird Abluft abgeführt. Im Intervall B läuft es umgekehrt. Im dargestellten Betriebsfall sind die Abluftventilatoren in Bad/WC und Dusche/WC ausgeschaltet. Analog zum Beispiel in Bild 8.5 sind weitere Betriebsfälle mit offenen Türen, ausgeschalteten Gerätelpaaren und eingeschalteten Abluftventilatoren mög- lich. Der darstellte Fall entspricht der Aus-

Bild 8.5: Beispiele für Betriebszu- stände, bei der Kombination von kontinuierlich be- triebenen Einzel- raumlüftungsgerä- ten und Abluft- ventilatoren in Bad/Dusche/WC.

■ Zuluft ■ Abluft
■ Überströmluft



legung für die Nacht mit geschlossenen Zimmertüren. Wie bei der Auslegung von allen Wohnungslüftungssystemen ist nur die Personenbelegung der Wohnung bekannt, nicht aber in welchen Zimmern eine oder zwei Personen schlafen.

Im Beispiel wird folgendes vorausgesetzt:

- In Schlafzimmern mit zwei Personen liegt der CO₂-Gehalt gemäss SIA 382/5 bei maximal 1350 ppm.
- Der Druckverlust der Überströmdurchlässe beträgt 3 Pa.
- Die Lüfter weisen eine Empfindlichkeit des Luftstroms von 30 % auf (Klasse S3). Sie werden mit 70 % der maximalen Drehzahl betrieben.
- Alle Lüfter arbeiten auf der gleichen Betriebsstufe.
- Im Wohn-/Ess-Bereich herrscht der Aus sendruck (Ausgleich infolge Luftdurchlässigkei t der Gebäudehülle).
- In den Zimmern wird die Luftdurchlässigkei t der Gebäudehülle wegen dem ge ringen Anteil der Aussenfläche vernachlässigt. Bei Zuluftbetrieb ist der Druck im Zimmer daher 3 Pa höher als aussen respektive im Wohn-Ess-Bereich. Im Abluftbetrieb ist er 3 Pa tiefer.

Unter diesen Anforderungen und Annahmen müssen die Push-Pull-Lüfter bei 0 Pa Differenzdruck folgende Luftvolumenströme fördern:

- Belegung der Wohnung mit 3 Personen: 41 m³/h

- Belegung der Wohnung mit 4 Personen: 44 m³/h

Das heisst: Der Schallpegel und die elektrische Aufnahmeleistung müssen bei 41 respektive 44 m³/h bestimmt werden. Der effektiv geförderte Luftvolumenstrom der Push-Pull-Lüfter in den Zimmern 1, 2 und 3 ist wegen der Empfindlichkeit des Luftstroms rund 10 % tiefer.

Die Überströmdurchlässe werden für 3 Pa Druckabfall bei 37 respektive 40 m³/h dimensioniert. Ein Luftspalt unter der Tür muss hierfür mindesten 8 bis 9 mm hoch sein. Da der Luftstrahl die halbe Zeit ins Zimmer bläst, soll situativ geprüft werden, ob dies zu Zugerscheinungen im Aufenthaltsbereich führen könnte.

Um dieselbe Raumluftqualität zu erreichen, erfordert der Mehrraumverbund bei geschlossenen Zimmertüren nachts höhere Luftvolumenströme als dies bei Einzelraumlüftungsgeräten mit kontinuierlichem Betrieb (Bild 8.5) der Fall ist. Bei 3-Personen-Belegung sind das etwa 50 %, bei 4-Personen-Belegung rund 20 % mehr. Im Tagbetrieb, bei mehrheitlich offenen Zimmertüren, ergibt sich mit einer Bedarfsteuerung etwa der gleiche Luftvolumenstrom. Die Überströmdurchlässe müssen beim Mehrraum-Verbund grösser dimensioniert werden.

Wie weit sich der im Beispiel dargestellte Mehrraumverbund mit den heute erhältlichen Push-Pull-Lüftern unter Einhaltung der Schweizer Normen realisieren lässt, ist

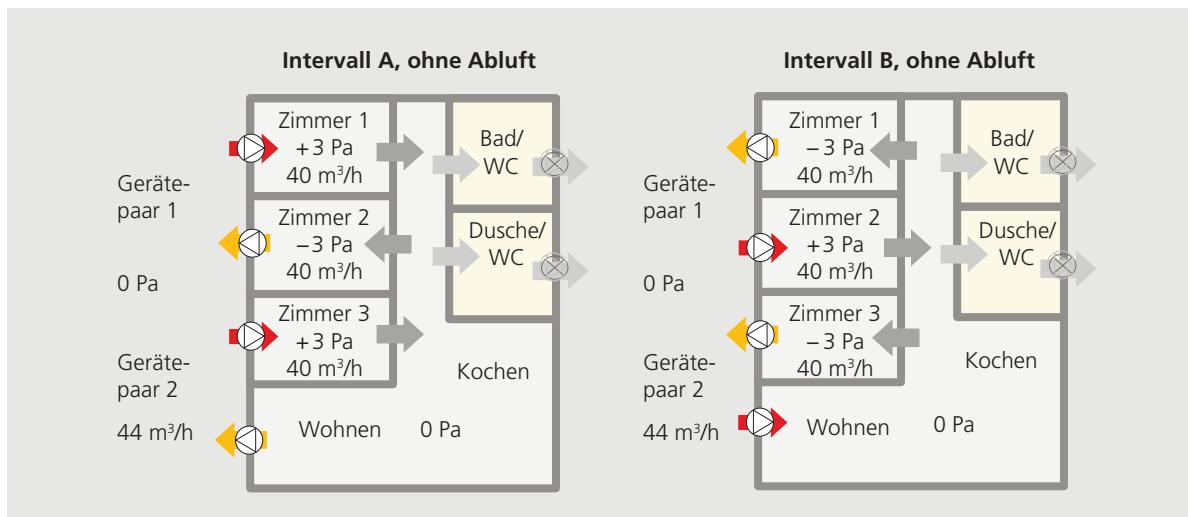


Bild 8.6: Mehrraumverbund von Push-Pull-Lüftern – hier ein Beispiel für zwei Gerätepaare in einer 4½-Zimmer-Wohnung, Auslegung für die Belegung mit vier Personen.

■ Zuluft ■ Abluft
■ Überströmluft

offen, da folgende Anforderungen gleichzeitig eingehalten werden müssen:

- Beim Auslegen der Push-Pull-Lüfter auf 40 bis 44 m³/h muss der Schalldruckpegel von 25 dB(A) eingehalten werden.
- Die Empfindlichkeit des Luftstroms darf maximal 30 % erreichen (Klasse S3). Meistens wird sogar S2 gefordert.
- Jeder Push-Pull-Lüfter muss mit zwei Filtern ausgerüstet sein.
- Die Geräte werden in allen Betriebsfällen paarweise betrieben.

8.5 Hinweise zur Kombination mit Abluftanlagen

Betriebsart der Abluft

Bei der Abluft stellt sich die Frage, ob sie dauernd oder bedarfsgesteuert Ein/Aus betrieben werden soll. Der Dauerbetrieb hat den Vorteil, dass er kleinere Abluftvolumenströme erfordert. Im Beispiel von Bild 8.5 würde sich aber bei den Einzelraumlüftungsgeräten trotzdem eine starke Disbalance einstellen. Dadurch resultiert eine dauerhaft tiefere Zulufttemperatur. Auch die Vereisung der WRG beginnt schon bei höheren Außentemperaturen als bei balanciertem Betrieb. Die Einschränkungen gelten im Prinzip auch bei bedarfsgesteuertem Ein/Aus-Betrieb. Der wesentliche Unterschied ist aber, dass die Abluft deutlich kürzer in Betrieb ist.

Ein weiterer Aspekt ist der reduzierte Nutzen der WRG bei eingeschalteter Abluft. Als Richtwert kann von folgenden Jahresmittelwerten ausgegangen werden:

- Bei bedarfsgesteuertem Ein/Aus-Betrieb reduziert sich der Nutzen der WRG um rund 10 %.
- Bei Dauerbetrieb reduziert sich der Nutzen der WRG um rund 50 %.

Details dazu finden sich in Kapitel 9.4.

Nachströmung der Ersatzluft und Überströmdurchlässe

Die Ersatzluft für die Abluft von Bad, Dusche, WC und eventuell weiteren Räumen muss auch bei der Kombination mit Abluftgeräten so zugeführt werden, dass kein unzulässiger Unterdruck entsteht. Die

Ersatzluft für die Dunstabzugshaube wird hier nicht behandelt, Hinweise dazu finden sich in Kapitel 10.1.

Die exakte Berechnung der Druck- und Strömungsbedingungen beim kombinierten Betrieb von Einzelraumlüftungsgeräten und Abluftventilatoren unter Berücksichtigung der Infiltration wäre komplex und müsste iterativ durchgeführt werden. Deshalb ist folgendes rezeptartige Vorgehen empfehlenswert. Dabei wird geprüft, ob sich der minimal erforderliche Ersatzluft-Volumenstrom bei einem vorgegebenen Unterdruck einstellt. Dies erfolgt in sieben Schritten:

1. Der erforderliche Ersatzluft-Volumenstrom wird festgelegt.
- Standardfall: Betrieb des grössten Abluftventilators im Normalbetrieb
- Worst Case: Betrieb aller Abluftventilatoren auf der maximalen Stufe
2. Der maximal zulässige Unterdruck in der Wohnung wird festgelegt. Folgende Werte werden empfohlen:
 - Standardfall: 8 Pa
 - Worst-Case: 15 Pa¹
3. Die Infiltration durch die Gebäudehülle wird gemäss Kapitel 7.2 bestimmt. Bei 8 Pa Unterdruck ist die Infiltration um den Faktor 1,3 höher als in Bild 7.2. Bei 15 Pa Unterdruck beträgt der Faktor 1,9.
4. Die Ersatzluft, die wegen der Disbalance durch die Einzelraumlüftungsgeräte nachströmt, wird abgeschätzt. Dabei wird die Empfindlichkeit des Luftstroms im Normalbetrieb berücksichtigt (Kapitel 8.2). Beim Unterdruck in den Aufstellungsräumen der Einzelraumlüftungsgeräte werden die Druckabfälle der Überströmdurchlässe berücksichtigt. Hierfür braucht es realistische Annahmen.
5. Die Überströmdurchlässe werden kontrolliert respektive ausgelegt. Falls die Annahmen aus Schritt 4 um mehr als 1 Pa von der Kontrolle respektive Auslegung abweichen, geht es zurück zu Schritt 4.
6. Es folgt die Kontrolle, ob die Summe der Ersatzluftströme aus den Schritten 3 und 4 mindestens so hoch ist, wie der

¹ Wegen der Öffnungskraft von Türen oder Fenstern sollte der Unterdruck max. 20 Pa betragen.

Rechenbeispiel 8.3: Nachweis eines genügenden Ersatzluft-Volumenstroms bei der Kombination von Einzelraumlüftungsgeräten mit Abluftanlagen

Die Wohnung aus Bild 8.5 ist mit drei Einzelraumlüftungsgeräten ausgerüstet, die im Normalbetrieb jeweils $30 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft und Abluft fördern. Die Empfindlichkeit des Luftstroms beträgt dabei 15 %. Die bedarfsgesteuerten Abluftventilatoren von Bad/WC und Dusche/WC arbeiten einstufig mit jeweils $50 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom.

Die Wohnung hat 80 m^2 Nettofläche und die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle entspricht dem Zielwert für Neubauten. Die Überströmung wird durch Luftspalte unter den Türen realisiert. Dem Nachweis werden die empfohlenen Unterdrücke von 8 Pa und 15 Pa zugrunde gelegt. Kann der geforderte Ersatzluft-Volumenstrom eingehalten werden?

Tabelle 8.5 zeigt den Nachweis schrittweise. Die Annahmen im Beispiel sind konservativ: relativ kleine Wohnung; geringe Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle; nur drei Einzelraumlüftungsgeräte auf zwei Abluftventilatoren; relativ gute Empfindlichkeit des Luftstroms. Trotzdem können die empfohlenen Unterdrücke eingehalten werden. Im Standardfall besteht sogar eine Reserve; der effektive Unterdruck dürfte bei rund 5 Pa liegen.

Aus dem Beispiel lässt sich aber auch schliessen, dass bei sehr tiefer Empfindlichkeit des Luftstroms (Klasse S1) Massnahmen erforderlich wären. Das heisst aber nicht, dass die Klasse S3 oder gar schlechter gewählt werden soll. Denn dies würde die Energieeffizienz der gesamten Anlage unnötig verschlechtern (Kapitel 9.4). Massnahmen wären auch bei einer sehr geringen Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle, wie sie für Minergie-P-Gebäude typisch ist, notwendig.

Schritt	Bemerkung, Beschreibung	Standard-fall	Worst-Case
1	Erforderlicher Ersatzluft-Volumenstrom	$50 \text{ m}^3/\text{h}$	$100 \text{ m}^3/\text{h}$
2	Maximal zulässiger Unterdruck	8 Pa	15 Pa
3	Infiltration durch die Gebäudehülle Aus Bild 7.2 werden $35 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 4 Pa abgelesen.	$46 \text{ m}^3/\text{h}$	$68 \text{ m}^3/\text{h}$
4	Disbalance der Einzelraumlüftungsgeräte Die Differenz zwischen Zuluft- und Abluftvolumenstrom wird gemäss Formel 8.1 berechnet. Annahme: Der Druckabfall der Überströmdurchlässe (ÜSLD) ist vernachlässigbar klein. Der Unterdruck in den Aufstellungsräumen entspricht damit dem Unterdruck von Schritt 2.	$22 \text{ m}^3/\text{h}$	$41 \text{ m}^3/\text{h}$
5	Kontrolle Überströmdurchlässe Die Überströmung verteilt sich auf drei Türen. Luftvolumenstrom durch einen ÜSLD: Druckabfall bei einem 7 mm hohen Luftspalt (Bild 3.19): Die Annahme von Schritt 4 ist also zulässig.	7 m^3/h ca. 0,15 Pa	14 m^3/h ca. 0,5 Pa
6	Kontrolle Summe der Ersatzluft Summe der Ersatzluft \geq erforderlicher Ersatzluft-Volumenstrom	$68 \text{ m}^3/\text{h}$ ja	$109 \text{ m}^3/\text{h}$ ja
7	Massnahmen Es sind keine Massnahmen zur Erhöhung des Ersatzluft-Volumenstroms erforderlich.		

Tabelle 8.5: Nachweis eines genügend hohen Ersatzluft-Volumenstroms bei der Kombination von Einzelraumlüftungsgeräten mit Abluftanlagen.

erforderliche Ersatzluft-Volumenstrom aus Schritt 1.

7. Wenn die Kontrolle in Schritt 6 negativ ausfällt, werden **Massnahmen** definiert, um den Ersatzluft-Volumenstrom zu erhöhen. Dies kann etwa mit Anpassungen an der Ventilatorsteuerung der Einzelraumlüftungsgeräte erreicht werden. Beim Betrieb der Abluftventilatoren in Bad/WC können die Abluftventilatoren der Einzelraumlüftungsgeräte ausgeschaltet und/oder die Zuluftventilatoren auf die höchste Stufe gestellt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass sich der Geräuschpegel verändert, was insbesondere in der Nacht stören kann. Im Weiteren kommen ALD infrage, die nur öffnen, wenn ein Abluftventilator eingeschaltet ist.

Feuerung in der Wohnung

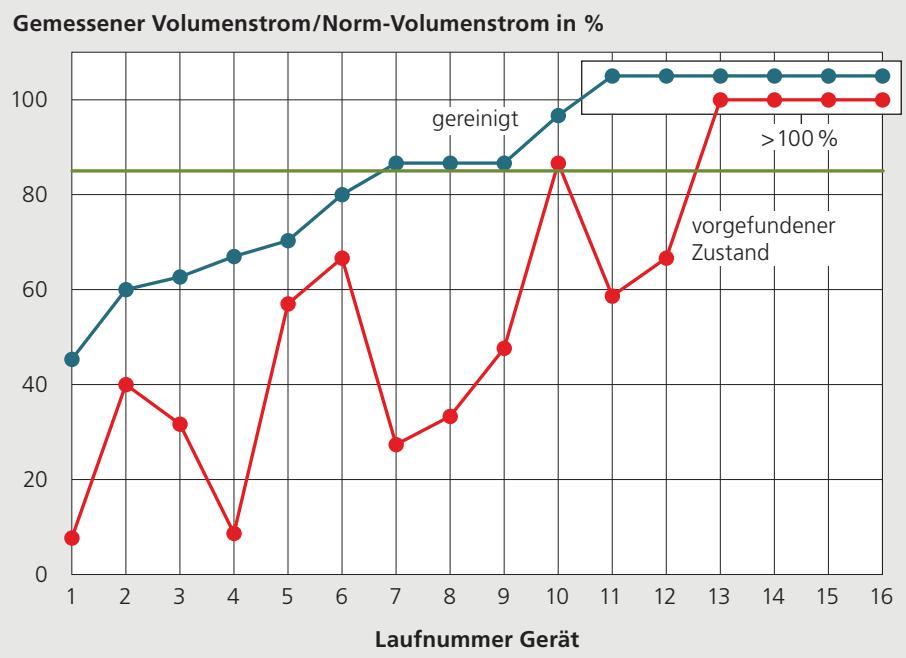
Die empfohlenen Unterdrücke sind zu hoch, als dass bei laufenden Abluftanlagen eine Feuerung in der Wohnung betrieben werden dürfte. Bei einer Feuerung in der Wohnung müssen deshalb Massnahmen getroffen werden, die verhindern, dass die Feuerung und ein Abluftventilator gleichzeitig betrieben werden.

8.6 Praxis

In einem Praxistest [4] wurden im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz Ostschweiz in 9 Wohnungen von 5 MFH insgesamt 16 Einzelraumlüftungsgeräte untersucht. In allen Wohnungen waren Abluftanlagen in Bad/WC vorhanden. Push-Pull-Lüfter wurden nicht angetroffen.

Die Zuluft- und Abluftvolumenströme wurden im vorgefundenen Zustand gemessen. Danach wurden die Geräte gereinigt und die Filter durch neue, saubere ersetzt. In diesem Zustand wurden die Luftvolumenströme erneut gemessen. Im Rahmen der Studie wurde der Hygienezustand der Geräte visuell beurteilt. Zudem wurden die Bewohner befragt, wann der letzte Filterwechsel stattgefunden hatte. Alle Einzelraumlüftungsgeräte verfügten über Aussenluftfilter der Klasse ISO ePM1 50 % (F7). Die Abluftfilter hatten die Klassen Coarse (G2 oder G3). Bei 15 Geräten wurden die Filter 0,5 bis 1 Jahr vor der Untersuchung gewechselt. Bei einem Gerät lag der Filterwechsel 1,5 Jahre zurück. Gemäss Sichtprüfung war der Hygienezustand aller Geräte gut. Es ist anzunehmen, dass die untersuchten Geräte bezüglich Filter und Hygiene besser abschneiden, als der schweizerische Durchschnitt. Die Erklärung liegt darin, dass bis auf eine Woh-

Bild 8.7: Zuluftvolumenströme von Einzelraumlüftungsgeräten im vorgefundenen und im gereinigten Zustand; dargestellt ist das Verhältnis zu den Sollwerten der Schweizer Norm. Die Daten stammen aus der Praxisuntersuchung [4]. Die Laufnummern der Geräte sind nach dem gemessenen Luftvolumenstrom geordnet. Die Reihenfolge ist nicht gleich wie in Bild 8.8.



nung überall ein Wartungsvertrag vorhanden war.

Bild 8.7 zeigt das Verhältnis der gemessenen Zuluftvolumenströme im Verhältnis zur Anforderung der damals gültigen Schweizer Norm SIA 2023. Zudem ist die Toleranz nach SIA 2023 aufgeführt (zulässige Abweichung vom Nominalwert: 15 %).

Im vorgefundenen Zustand lagen die gemessenen Luftvolumenströme bei 70 % der Geräte um mehr als 15 % unter der Anforderung. Nach der Reinigung waren es 40 %. Vor der Reinigung war der Luftvolumenstrom im Durchschnitt um 50 % oder 9 m³/h niedriger als danach. Dies gilt

für Geräte mit einem Luftvolumenstrom im vorgefundenen Zustand von weniger als 85 % des Sollwerts.

Bild 8.8 zeigt die Disbalance vor und nach der Reinigung. Der Mittelwert betrug im vorgefundenen Zustand 42 % (Bereich von 0 % bis 79 %) und nach der Reinigung 21 % (Bereich von 2 % bis 55 %, ohne Nr. 612). In der Hälfte der Fälle verringerte die Reinigung die Disbalance deutlich. In fünf Fällen nahm die Disbalance mit der Reinigung jedoch zu. In vier Fällen (Nr. 123, 612, 613 und 622) wurden die Geräte bewusst mit ungleichen Zuluft- und Abluftvolumenströmen betrieben, um den Schallpegel zu reduzieren.

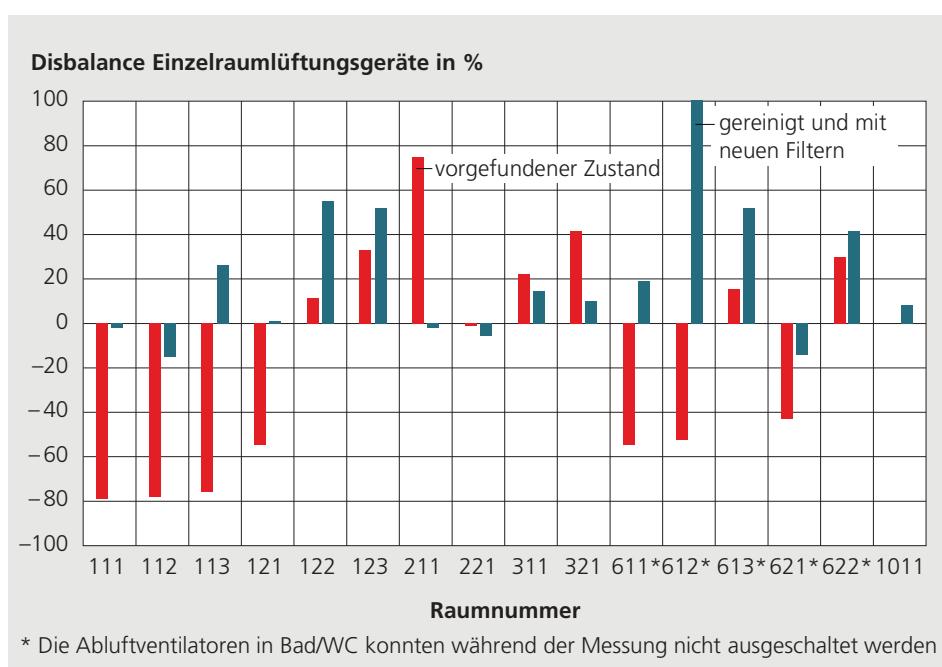


Bild 8.8: Vergleich der gemessenen Disbalance von Einzelraumlüftungsgeräten im vorgefundenen und im gereinigten Zustand, Daten aus der Praxisuntersuchung. Definition der Disbalance gemäss Kapitel 9.4.

Einflussfaktor	Zustand der untersuchten Geräte	
	vorgefundener Zustand	nach Reinigung und Filterwechsel
Mittlere Disbalance	40 %	20 %
Temperaturverhältnis gemäss Herstelleran-gabe (Prüfstandwerte im Neuzustand)	70 ... 80 %	70 ... 80 %
Reduktion des Temperaturverhältnisses durch verschmutzungsbedingte Disbalance	17 ... 23 %	6 ... 10 %
Reduktion des Temperaturverhältnisses in-folge Kombination mit Abluftanlagen	ca. 5 %	ca. 5 %
Reduktion des Temperaturverhältnisses durch den Vereisungsschutz der WRG (für Klimastation Zürich MeteoSchweiz) ¹⁾	0 ... 5 %	0 ... 5 %
Jährlicher Nettonutzen der WRG	ca. 40 ... 50 %	ca. 55 ... 65 %

1) In alpinen Lagen wie z. B. Davos kann der Vereisungsschutz den Nutzen der WRG um bis zu 35 % reduzieren.

Tabelle 8.6: Grös- senordnung der Temperaturverhältnisse und des jährlichen Nettonutzens der WRG bei den in der Feldmessungen untersuchten Einzelraumlüftungsgeräten.

In Nr. 611 bis Nr. 622 beeinflussten die Abluftanlagen von Bad/WC (nicht ausschaltbarer Dauerbetrieb) die Disbalance. In Nr. 612 verursachte der Abluftventilator einen so starken Unterdruck, dass nach der Reinigung Aussenluft durch die Abluftseite des Einzelraumlüftungsgeräts einströmte.

Die festgestellten Disbalancen haben nichts mit einem allenfalls vorhandenen Winddruck zu tun. Primäre Ursache waren Verschmutzung und verstopfte Filter, und dies trotz des hygienisch guten Zustands, in dem sich Geräte befanden. Weil die Wartung oft schlechter ist als bei den Anlagen in dieser Studie, muss in der Praxis mit grösseren Disbalancen gerechnet werden. Es wird auch vermutet, dass die Inbetriebnahme nicht ideal war und dass Alterungseffekte einen Einfluss haben. Weiter wird die Disbalance durch das Systemdesign beeinflusst – und in einigen Fällen wurde sie auch bewusst eingeplant.

Mit den in der Feldstudie festgestellten Disbalancen ergibt sich ein jährlicher Nettonutzen der WRG gemäss Tabelle 8.6. Die Grundlagen dazu finden sich in Kapitel 9.4.

Aufgrund dieser Untersuchung wird geschätzt, dass der Nettonutzen der WRG bei Einzelraumlüftungsgeräten im Schweizer Mittelland um 50 % herum liegt. In alpinen Lagen kann der Nutzen bei ungünstigem Vereisungsschutz bis auf 30 % sinken. Trotz der Diskrepanz zu den Prüfstandwerten muss doch festgehalten werden, dass Einzelraumlüftungsgeräte die Lüftungswärmeverluste halbieren.

8.7 Literatur

- [1] EN 13142:2021 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrössen
- [2] EN 13141-8:2015 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft und Ablufteinheiten ohne Kanalanschluss (einschliesslich Wärmerückgewinnung)
- [3] Röder, Tim; Mathis, Paul; Müller, Dirk: EwWalt – Energetische Bewertung der dezentralen kontrollierten Wohnraumlüftung in alternierender Betriebsweise. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2019 ISBN 978-3-7388-0333-4
- [4] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien

Komponenten, Geräte, Energiebedarf

9.1 Hygiene und Filtrierung

Reinigung

Lüftungsgeräte und Anlagen müssen einfach zu kontrollieren und zu reinigen sein. Die Geräte sollen regelmässig innen und aussen mit einem trockenen oder feuchten Lappen gereinigt werden. Die WRG sollte bei Bedarf durch Fachpersonal ausgebaut werden können. Alle anderen Komponenten sollten gut zugänglich sein.

Filterklassen

Luftfilter werden seit 2016 nach der Norm ISO 16890 [1] klassifiziert. In der Praxis finden sich oft noch die alten Bezeichnungen nach EN 779 [2]. Tabelle 9.1 zeigt, welche neuen Klassen mit den alten korrelieren, zudem weist sie auf die Anforderungen der SIA 382/5 hin.

Filterverschmutzungsfaktor

Verschmutzte Filter behindern den Luftvolumenstrom. Um den verlangten Luftvolumenstrom zu halten, muss also die Ventilatordrehzahl erhöht werden. In Anlehnung an EN 13142:2021 [3], Anhang D, wird der Filterverschmutzungsfaktor definiert:

$$f_{fc} = \frac{q_{v,ref}}{q_{v,fc}} \quad (9.1)$$

wobei

$q_{v,ref}$ Referenzvolumenstrom in m^3/h

$q_{v,fc}$ Gefördelter Luftvolumenstrom in m^3/h , bei einem Druckverlust des Filters, der dem 1,5-fachen Druckverlust im Neuzustand des Filters entspricht

Tabelle 9.2 liefert Richtwerte für den Filterverschmutzungsfaktor von verschiedenen Geräte- und Anlagetypen. Die dort aufgeführten Faktoren müssen bei der Auslegung des Lüftungsgeräts berücksichtigt werden, weil sich die von den Lieferanten angegebenen Volumenströme und Energiekennzahlen immer auf das neue Gerät mit sauberen Filtern beziehen. In der Realität arbeitet ein Gerät übers Jahr aber gegen «durchschnittlich verschmutzte» Filter an.

Filter an Abluftdurchlässen

Einige Lieferanten bieten Abluftdurchlässe mit Filtern an. Ihr Zweck ist es, die Abluftleitungen vor raschem Verschmutzen zu

Staubart	Filterklasse nach		Bemerkung und Anforderung nach SIA 382/5
	ISO 16890	EN 779	
Grobstaub	ISO Coarse > 30 %	G2	Ungeeignet für Lüftungsgeräte (hält nur sehr groben Staub zurück)
	ISO Coarse > 45 %	G3	Ungeeignet für Lüftungsgeräte (hält nur sehr groben Staub zurück)
	ISO Coarse > 60 %	G4	Empfehlung als minimale Filterklasse für Abluft in Geräten mit Platten-Wärmeübertragern
Mittel-feiner Staub	ISO ePM10 ≥ 50 %	M5	<p>Gemäss SIA 382/5:</p> <ul style="list-style-type: none"> Minimale Stufe für Abluft in Geräten mit Rotor-Wärmeübertragern Minimale Stufe für ALD bei sauberer Aussenluft und guter Zugänglichkeit (s. Kap. 7.6) Aussenliegender Filter bei Push-Pull-Lüftern (s. Kap. 8.2)
	ISO ePM2,5 ≥ 50 %	M6	
Feinstaub	ISO ePM1 ≥ 50 %	F7	<p>Gemäss SIA 382/5:</p> <ul style="list-style-type: none"> Minimale Stufe für Zuluft bei allen Geräten mit mechanischer Luftförderung Standardfilter bei ALD Raumseitiger Filter bei Push-Pull-Lüftern (s. Kap. 8.2)
	ISO ePM1 ≥ 70 %	F8	
	ISO ePM1 ≥ 80 %	F9	Empfohlen bei hoher Aussenluftbelastung mit Feinstaub oder bei sehr hohen Anforderungen an die Raumluftqualität

Tabelle 9.1: Filterklassen und deren Anwendung.

bewahren. Wenn solche Filter fachgerecht dimensioniert sind und regelmässig ersetzt werden, können sie nützlich sein. Da der Wartungsaufwand stark steigt (z.B. vier Filter an Abluftdurchlässen, neben dem Filter im Gerät) besteht aber das Risiko, dass die Wartung vernachlässigt wird. Hinzu kommt, dass solche Filter teilweise zu kleine Flächen haben und dadurch auch kurze Standzeiten. Filter in Abluftdurchlässen sollten deshalb nur dann eingesetzt werden, wenn sie von den Nutzern ausdrücklich gewünscht werden.

Filterwechsel

Filter sollen spätestens nach einem Jahr ersetzt werden. Wenn die Aussenluft vor dem Filter nicht mindestens 2 bis 3 K erwärmt werden kann (rel. Feuchte am Filter immer unter 80 %), muss das Aussenluftfilter mindestens zweimal jährlich ersetzt werden.

Ersatzfilter müssen in der Originalverpackung und vor Staub und Feuchte geschützt gelagert werden. Zum Wechseln der Filter sollen Einweghandschuhe und eine Staubmaske getragen werden. Ausgebaute Filter sollen sofort in luftdichte Kunststoffsäcke verpackt und nach Angaben des Lieferanten entsorgt werden.

Bei vielen Geräten sind die Filter (zu) knapp dimensioniert, sodass 3- bis 4-mal jährlich ein Filterwechsel erforderlich ist. Dies be-

trifft vor allem Einzelraumlüftungsgeräte und ALD.

9.2 Luftförderung

Die **spezifische Ventilatorleistung SFP** (Specific Fan Power) ist das Verhältnis der elektrischen Aufnahmeleistung eines Ventilators zum geförderten Luftvolumenstrom. Die *SFP* gilt für einzelne Ventilatoren und wird bei Mehrwohnungsanlagen angewandt. Die Anforderungen finden sich in der SIA 382/1.

Die **spezifische Geräteleistung SPI** (Specific Power Input) ist das Verhältnis der gesamten elektrischen Aufnahmeleistung eines Lüftungsgeräts (Ventilatoren, Hilfsantriebe und Steuerung) zum mittleren Volumenstrom von Zuluft und Abluft. Nicht enthalten ist der Energieverbrauch des Vereisungsschutzes sowie einer allenfalls vorhandenen Nachwärmung. Bei Geräten mit integrierter Wärmepumpe wird die *SPI* bei ausgeschalteter Wärmepumpe bestimmt.

$$SPI = 2 \cdot \frac{P_E}{q_{v11} + q_{v22}} \quad (9.2)$$

wobei

SPI spezifische Geräteleistung in $W/(m^3/h)$

P_E elektrische Aufnahmeleistung in W

q_{v11} Abluftvolumenstrom in m^3/h

q_{v22} Zuluftvolumenstrom in m^3/h

Bei reinen Abluft- oder Zuluftgeräten ist $q_{v11} = q_{v22}$. *SFP* und *SPI* werden teilweise in der Einheit $W/(m^3/s)$ angegeben. Dann sind die Werte 3600-mal grösser als bei der hier verwendeten Einheit $W/(m^3/h)$.

Die *SPI* hängt von der Qualität der Lüftungsgeräte (Ventilatorwirkungsgrad, interne Druckverluste, Filter) und dem Verteilsystem ab. Tabelle 9.3 liefert Richtwerte

Filter sind Einwegprodukte	
Es kommt immer wieder vor, dass Filter gewaschen oder mit dem Staubsauger «gereinigt» werden. Eine solche Rosskur zerstört das Filtermedium. Deshalb: Filter nach einmaligem Gebrauch entsorgen.	

Richtwert für Filterverschmutzungsfaktor f_{fc} für Anlagen/Geräte mit

Zu- und Abluft

nur Abluft

Anlagentyp oder Gerätetyp	Zu- und Abluft	nur Abluft
Mehrwohnungsanlage	1,05	1,10
Einzelwohnungsanlage	1,10	1,20
Einzelraumlüftungsgerät	1,20	Axialventilator 1,30 Radialventilator 1,10
Push-Pull-Lüfter	1,30	–

Tabelle 9.2: Richtwerte für den Filterverschmutzungsfaktor von verschiedenen Anlagen- und Gerätetypen.

für die Druckverluste der Luftverteilung. Bei Komfortlüftungen beziehen sich die Druckverluste auf die Aussenluft-/Zuluftseite und bei Abluftanlagen auf die Abluft-/Fortluftseite.

Tabelle 9.4 zeigt Richtwerte für die *SPI* von verschiedenen Lüftungsgeräten und Anlagentypen. Vorausgesetzt werden dabei saubere Filter gemäss Tabelle 9.1 und eine korrekte Einregulierung der Anlage. Um den typischen Betriebszustand einer Anlage abzuschätzen, werden die *SPI*-Richtwerte mit dem Filterverschmutzungsfaktor multipliziert.

9.3 Wärme- und Feuchterückgewinnung

Bauarten

Bei Platten-Wärmeübertragern (PWÜ) wird die Wärme über Trennflächen zwischen Zu- und Abluft ausgetauscht, die aus parallel angeordneten Metall- oder Kunststoffplatten bestehen. Bei **Rotoren** strömt die Abluft durch Waben einer sich drehenden Scheibe. Im Abluftstrom wärmt sich die Speichermasse des Rotors auf. Durch die stetige Drehbewegung gelangt die warme Speichermasse auf die Aussenluftseite, wo sie die Zuluft erwärmt.

Das gleiche physikalische Prinzip wie beim Rotor wird auch bei **statischen Regeneratoren** angewendet, nur dass sich dort die Speichermasse nicht bewegt. Stattdessen wechselt die Strömungsrichtung der

Kategorie	Beschreibung	Druckverlust der Luftverteilung in Pa	
		Komfortlüftung	Abluftanlage
Geringe Druckverluste	Basis-Druckverlust für Einzelwohnungsanlage mit kurzen Leitungen, z. B. eine Luftverteilung in der Wohnung nach dem Prinzip «Verbund» mit kurzen Hauptleitungen	50	30
Mittlere Druckverluste	Basis-Druckverlust «durchschnittlicher» Einzelwohnungsanlagen, z. B. eine Luftverteilung in der Wohnung nach dem Prinzip «Kaskade» mit mittellangen Hauptleitungen	70	50
Hohe Druckverluste	Basis-Druckverlust für Mehrwohnungsanlagen und Einzelwohnungsanlagen mit langen Leitungen, z. B. durch ungünstige Positionierung der Lüftungsgeräte	100	70
Zuschlag	Zuschläge pro optionale Komponente ¹⁾	30	30

1) Als optionale Komponenten gelten:

- Aussenluft-Vorwärmung mit Luft-Erdreich-Wärmeübertrager oder Luftheritzer
- Nachwärmer
- Volumenstromregler
- Wohnungslüftungsbox
- Zusätzliche Filterbox ausserhalb des Lüftungsgeräts
- Filter an Abluft- oder Zuluftdurchlässen
- Abluftwärmepumpe

Tabelle 9.3: Richtwerte für den Druckverlust von Komfortlüftungen und Abluftanlagen.

Kategorie gemäss Tabelle 9.3	SPI in W/(m³/h)		
	Komfortlüftung	Abluftanlage	Einzelraum-Lüftungsgerät
Anlagen mit			
• geringen Druckverlusten	0,22	0,10	0,20
• mittleren Druckverlusten	0,25	0,12	
• hohen Druckverlusten	0,30	0,15	
Zuschlag pro optionale Komponente	0,03	0,03	–

Tabelle 9.4: Richtwerte für die spezifische Geräteleistung *SPI* von verschiedenen Lüftungsgeräten und Anlagentypen.

Luft. Bei grossen Geräten wird dies durch Umschalten mittels Luftklappen erreicht. Bei Kleinstgeräten, den sogenannten Push-Pull-Lüftern, werden umschaltbare Ventilatoren eingesetzt.

Enthalpieübertrager übertragen neben sensibler Wärme auch Feuchte. Dabei findet keine Kondensation statt, sondern ein Transport durch Sorption oder Diffusion. Bei Rotoren sind dazu die Oberflächen speziell beschichtet. Bei PWÜ werden Membranen verwendet, die nur Wassermoleküle durchlassen, aber keine grossen Moleküle wie flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC).

Kenngrössen

Das **Temperaturverhältnis** beschreibt das Verhältnis der Temperaturzunahme auf der Zuluftseite zur Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Aussenluft nach der Formel:

$$\eta_{\theta,su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \quad (9.3)$$

wobei

θ_{11} Ablufttemperatur beim Eintritt in das Gerät in °C

θ_{21} Aussenlufttemperatur beim Eintritt in das Gerät in °C

θ_{22} Zulufttemperatur beim Austritt aus dem Gerät in °C

Auf die Korrekturen durch Leckagen und unerwünschte Wärmeflüsse wird in den Kapiteln 9.6 bis 9.7 eingegangen.

Mit der Angabe des Temperaturverhältnisses muss deklariert werden, bei welchen Bedingungen der Wert gilt, respektive wie er gemessen wurde. Massgebend sind die Luftmassenströme und eine eventuelle Kondensation.

In der Regel wird das Temperaturverhältnis bei einem Massenstromverhältnis von 1, also bei gleich grossem Zuluft- und Abluft-

Massenstrom, angegeben. Zu beachten ist, dass bei der Charakterisierung einer WRG die Massenströme massgebend sind und nicht die Volumenströme. Wenn von den Volumenströmen ausgegangen werden soll, muss für die Umrechnung die Dichte der Luft bekannt sein.

Die Feuchteübertragung ist analog zur Übertragung von sensibler Wärme definiert. Das Feuchteverhältnis berechnet sich mit

$$\eta_{x,su} = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad (9.4)$$

wobei

x_{11} absolute Abluftfeuchte beim Eintritt in das Gerät in g/kg

x_{21} absolute Aussenluftfeuchte beim Eintritt ins Gerät in g/kg

x_{22} absolute Zuluftfeuchte beim Austritt aus dem Gerät in g/kg

Tabelle 9.5 zeigt Richtwerte für WRG-Komponenten in kleinen und mittleren Lüftungsgeräten.

Verhinderung von Eisbildung bei Enthalpieübertragern

Bei einem Enthalpieübertrager (EÜ) sollte unbedingt die Bildung von Eis vermieden werden, weil dies zu Betriebsstörungen oder gar zu Schäden führen kann. Mit Formel 9.5 kann das minimal erforderliche Feuchteverhältnis abgeschätzt werden, mit dem sich in Enthalpieübertragern die Eisbildung vermeiden lässt. Die empirische Funktion beruht auf folgenden Annahmen:

- Die Feuchte der Abluft entspricht der maximal zulässigen Raumluftfeuchte nach SIA 180:2014 (siehe auch Kap. 2.4, speziell Bild 2.1).
- Ablufttemperatur 20 °C
- Relative Feuchte der Aussenluft 90 %

Tabelle 9.5:
Richtwerte für
Temperatur- und
Feuchteverhältnisse
von Wärme- und
Enthalpieübertragen
in kleinen und
mittleren Lüftungs-
anlagen.

Bauart	Temperaturverhältnis	Feuchteverhältnis
Platten-Wärmeübertrager, ohne Feuchterückgewinnung	0,75 ... 0,90	–
Platten-Enthalpieübertrager	0,70 ... 0,80	0,60 ... 0,70
Rotor, ohne Feuchterückgewinnung	0,75 ... 0,85	–
Rotor-Enthalpieübertrager	0,75 ... 0,85	0,70 ... 0,90

Mit diesen Annahmen liegt das Resultat der Berechnung auf der sicheren Seite.

$$\eta_{x,min} = 2,25 \cdot \eta_{\theta,su} - 1,25 - 0,067 \cdot (1 - \eta_{\theta,su}) \cdot \theta_{AUL,min} \quad (9.5)$$

wobei:

- $\eta_{x,min}$ minimal erforderliches Feuchteverhältnis
- $\eta_{\theta,su}$ Temperaturverhältnis
- $\theta_{AUL,min}$ minimale Aussenlufttemperatur als Tagesmittelwert in °C

Umrechnung bei verschiedenen Massenströmen

Unter den effektiven Betriebsbedingungen weichen die Luftmassenströme oft erheblich von den Angaben der Lieferanten ab. Tabelle 9.6 zeigt den Formelapparat für

die Umrechnung von einem Zustand A (mit bekanntem Temperaturverhältnis) auf einen Zustand B mit anderen Massenströmen. Die Formeln haben folgenden Gültigkeitsbereich:

- Typische WRG-Komponenten in heutigen kleinen und mittleren Lüftungsgeräten
- Die spezifische Wärmekapazität des Zuluft- und des Abluftmassenstroms sind gleich, das heisst: keine Kondensation.
- Die WRG verhält sich in guter Näherung wie ein reiner Gegenstrom-Wärmeübertrager.
- Das Temperaturverhältnis liegt bei einem Massenstromverhältnis von 1 zwischen 0,65 und 0,85.
- Das Massenstromverhältnis liegt zwischen 0,65 und 1,50.

Rechenbeispiel 9.1: Vereisungstemperatur Platten-Enthalpieübertrager

Bei einem Platten-Enthalpieübertrager liegen das Temperaturverhältnis bei 75 % und das Feuchteverhältnis bei 65 %. Wenn Formel 9.5 umgestellt wird, kann die minimal zulässige Aussenlufttemperatur bestimmt werden:

$$\theta_{AUL,min} = -15 \cdot \frac{1,25 - 2,25 \cdot 0,75 + 0,65}{(1 - 0,75)} \approx -13^\circ\text{C}$$

Beim Einsatz im Schweizer Mittelland ist damit das Risiko für eine Vereisung äusserst gering.

Schritt und Bemerkung	Formeln
Massenstromverhältnis beim Zustand A	$R_A = q_{m2,A}/q_{m1,A}$
Temperaturverhältnis beim Zustand A	$\eta_{\theta,su,A}$ gemäss Formel 9.3
NTU beim Zustand A	$NTU_A = \frac{\eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ für $R_A = 1$ $NTU_A = \frac{1}{1 - R_A} \ln \frac{1 - R_A \cdot \eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ für $R_A \neq 1$
NTU beim Zustand B	$NTU_B = NTU_A \cdot \left(\frac{q_{m1,B}}{q_{m1,A}} \right)^n \cdot \left(\frac{q_{m2,B}}{q_{m2,A}} \right)^{n-1}$
Massenstromverhältnis beim Zustand B	$R_B = q_{m2,B}/q_{m1,B}$
Temperaturverhältnis beim Zustand B	$\eta_{\theta,su,B} = \frac{NTU_B}{1 + NTU_B}$ für $R_B = 1$ $\eta_{\theta,su,B} = \frac{1 - e^{NTU_B \cdot (R_B - 1)}}{1 - R_B \cdot e^{NTU_B \cdot (R_B - 1)}}$ für $R_B \neq 1$
Legende der Formelzeichen	Legende der Indizes
n Exponent für die Veränderung des Wärmeübergangs	1 Abluftseite
NTU Number of transfer units	2 Zuluftseite
q_m Massenstrom	A Zustand A (mit bekanntem Temperaturverhältnis)
R Massenstromverhältnis	B Zustand B (mit gesuchtem Temperaturverhältnis)
$\eta_{\theta,su}$ Temperaturverhältnis	

Tabelle 9.6: Formelapparat für die Umrechnung des Temperaturverhältnisses von Luft-Luft-Wärmeübertragern auf andere Massenströme (Gültigkeitsbereich siehe Text).

Die **Kennzahl NTU** (Number of Transfer Units) ist eine dimensionslose Kennzahl aus dem Gebiet der Wärmeübertragung. Die Definition und die Anwendungen sind beispielsweise im VDI-Wärmeatlas [10], Kapitel C1 beschrieben. Je höher die Kennzahl NTU ist, desto näher liegt der Temperaturänderungsgrad bei 1. Der Exponent n in der Formel für die NTU im Zustand B liegt bei Platten-Wärmeübertragern typischerweise bei 0,35 und bei Rotoren bei 0,18.

9.4 Einfluss der Disbalance

Ein Massenstromverhältnis ungleich 1 wird als Disbalance bezeichnet. Eine Disbalance verschlechtert die Energiebilanz eines Lüftungssystems. Mögliche Gründe für eine Disbalance sind:

- Druckdifferenzen zwischen innen und aussen durch Wind oder Auftriebskräfte

- Reduktion des Zuluftvolumenstroms als Vereisungsschutz für die WRG
- Filterverschmutzung
- Verschmutzungen im Gerät oder der Luftverteilung (z.B. Insektenschutzgitter)
- Absichtliche Betriebsstrategie, beispielsweise zur Reduktion des Schallleistungspegels
- Kombination mit Abluftanlagen, speziell bei Abluftventilatoren in Bad, Dusche und WC

Die Disbalance-Kennzahl k_{dis} wird definiert mit:

$$k_{dis} = (q_{m,2} - q_{m,1})/\max(q_{m,2}; q_{m,1}) \quad (9.6)$$

wobei $q_{m,2}$ der Zuluft-Massenstrom und $q_{m,1}$ der Abluftmassenstrom sind.

Positive Werte stehen für einen Zuluftüberschuss respektive einen Überdruck im Raum, negative für einen Abluftüber-

Rechenbeispiel 9.2: Temperaturverhältnis bei realen Betriebsbedingungen

Bei der Abnahme einer Anlage wird kontrolliert, ob ein Platten-Wärmeübertrager die Leistungsdaten gemäss Herstellerangaben erfüllt. Dabei werden folgende Werte gemessen:

- Abluft 21,7 °C, 30 % r.F., Volumenstrom 1200 m³/h
- Aussenluft +2,5 °C, 80 % r.F.
- Zuluft 18,0 °C, 27 % r.F., Volumenstrom 1050 m³/h
- Luftdruck 960 mbar

Für die Abluft wird eine Dichte von 1,13 kg/m³ berechnet und für die Ausenluft 1,21 kg/m³.

Der Lieferant deklariert ein Temperaturverhältnis von 80 % bei den folgenden Bedingungen:

- Abluft 20 °C
- Aussenluft +7 °C
- Zuluftvolumenstrom 1500 m³/h, bei 1,20 kg/m³ Dichte
- Massenstromverhältnis 1

Die Tabelle fasst die Umrechnung der Messung (Zustand A) auf die vom Lieferanten angegebenen Bedingungen (Zustand B) zusammen. Für den Exponenten n wurde 0,35 gewählt.

Gemäss der Umrechnung liegt das effektive Temperaturverhältnis rund 6 Prozentpunkte unter dem vom Lieferanten deklarierten Wert. Ob die WRG abgenommen wird, hängt also von den vereinbarten Toleranzen und der Messunsicherheit ab.

Beschreibung	Symbol	Einheit	Abnahmemesung (Zustand A)	Deklarierte Bedingungen (Zustand B)
Zuluftmassenstrom	q_{m2}	kg/s	0,334	0,500
Abluftmassenstrom	q_{m1}	kg/s	0,376	0,500
Massenstromverhältnis	R	–	0,887	1,000
Kennzahl NTU	NTU	–	3,43	2,92
Temperaturverhältnis	$\eta_{\theta,A}$	–	80,7 %	74,5 %

schuss respektive Unterdruck. Der Faktor, um den die Disbalance den Nutzen der WRG reduziert, wird als Disbalance-Faktor f_{dis} definiert.

Hinweis: Wenn alle Luftvolumenströme für Raumluftbedingungen angegeben sind, entsprechen die Volumenstromverhältnisse auch den Massenstromverhältnissen.

Abschätzung des Jahresmittelwertes

Bei bekannten Bedingungen kann das Temperaturverhältnis wie im Rechenbeispiel 9.2 umgerechnet werden. Bei der Betrachtung von ganzen Anlagen und Gebäuden kommt aber noch der Einfluss der Infiltration und Exfiltration hinzu. Eine genaue Berechnung, etwa in Stundenschritten, ist kaum durchführbar, da Einflüsse wie Winddruck und Verschmutzungszustand nicht exakt bestimmt werden können. Weil die Disbalance stark von der Empfindlichkeit des Luftstroms abhängt, schlägt die EN 13142:2021 folgende Abschätzung für den Jahresmittelwert des Disbalance-Faktors vor:

$$f_{dis} = 1 \quad \text{für } v \leq 0,02 \quad (9.7)$$

$$f_{dis} = [1 - (v - 0,02)]^{0,4} \quad \text{für } v > 0,02$$

Dabei ist v die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss 8.2.

Geräte mit WRG, kombiniert mit Ab- luftanlage

Eine systematische Disbalance tritt bei Einzelraumlüftungsgeräten auf, die gleichzeitig mit Abluftventilatoren in Bad oder WC betrieben werden. Durch den Unterdruck, den die Abluftventilatoren erzeugen, entsteht eine Infiltration. Sowohl die Infiltration als auch der vom Abluftventilator geförderte Luftstrom können von der WRG nicht genutzt werden. Bild 9.1 illustriert diesen Fall. Bei der Berechnung des Jahresenergiebedarfs muss zwischen Betriebsphasen mit eingeschaltetem und mit ausgeschaltetem Abluftventilator unterschieden werden.

Auf Basis der Formeln in Tabelle 9.6 und der typischen Luftdurchlässigkeit von heutigen Gebäuden kann mit Formel 9.8 der Disbalance-Faktor abgeschätzt werden.

Rechenbeispiel 9.3: Disbalance-Faktor

In einer 3½-Zimmer-Wohnung befinden sich drei Einzelraumlüftungsgeräte mit einer Empfindlichkeit des Luftstroms der Klasse S2. Jedes dieser Geräte arbeitet konstant mit $30 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom. Im Bad ist ein Abluftventilator mit $50 \text{ m}^3/\text{h}$ Abluftvolumenstrom installiert. Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle erreicht den Zielwert der SIA 180. Wie gross ist der Disbalance-Faktor?

Bei eingeschaltetem Abluftventilator beträgt das Verhältnis des Massenstroms des Abluftventilators zum Referenz-Massenstroms der Einzelraumlüftungsgeräte $50 \text{ (m}^3/\text{h})/90 \text{ (m}^3/\text{h}) = 0,56$.

Mit Formel 9.8 beträgt der Disbalance-Faktor $f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot 0,56 + 0,3 \cdot (0,56)^2 = 0,66$

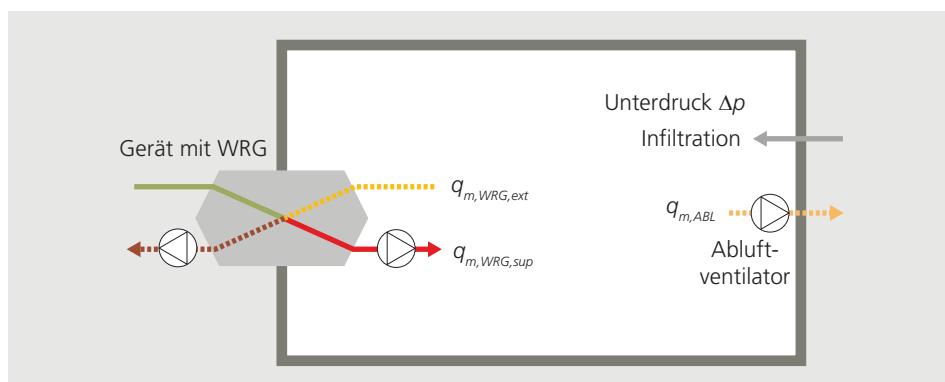


Bild 9.1: Disbalance bei der Kombination von einem Gerät mit WRG mit einem Abluftventilator.

Dabei gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Das Temperaturverhältnis beim Massenstromverhältnis 1 liegt zwischen 0,50 und 0,90.
- Das Verhältnis vom Massenstrom des Abluftventilators zum Referenz-Massenstrom des Geräts mit WRG liegt zwischen 0 und 1.

$$f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot \frac{q_{m,ABL}}{q_{m,WRG,ref}} + 0,3 \cdot \left(\frac{q_{m,ABL}}{q_{m,WRG,ref}} \right)^2 \quad (9.8)$$

dabei ist $q_{m,ABL}$ der Abluftmassenstrom des Abluftventilators und $q_{m,WRG,ref}$ der Massenstrom des Geräts mit WRG bei balanciertem Betrieb.

Hinweise zur Beurteilung des Unterdrucks finden sich in Kapitel 8.5.

9.5 Vereisungsschutz und Deaktivierung der WRG

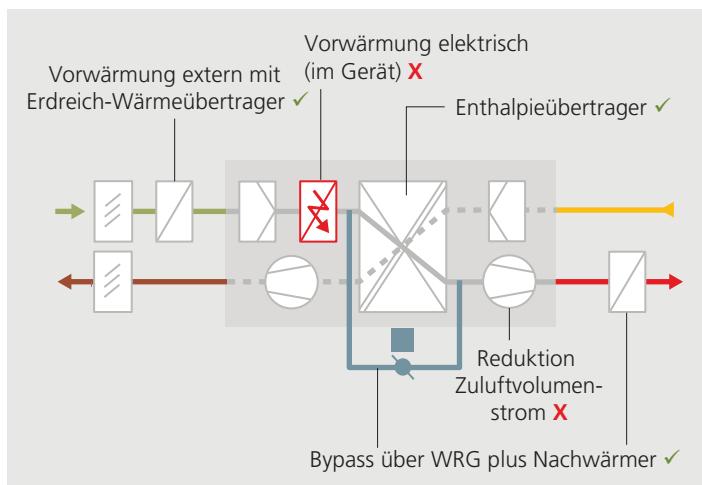
Vereisungsschutz

Bild 9.2 zeigt schematisch die gängigen Massnahmen zum Vereisungsschutz einer WRG und bewertet sie.

Ein **Enthalpieübertrager** bietet je nach Feuchte-Effizienz einen guten Vereisungsschutz (vgl. Kapitel 9.3) und erhöht gleichzeitig die Raumluftfeuchte.

Eine externe Vorwärmung mit einem **Erdreich-Wärmeübertrager** (siehe Kapitel 6.7) reduziert den Energiebedarf der Anlage geringfügig. Ein Nebennutzen ist die Vorkühlung im Sommer. Nachteilig sind

Bild 9.2: Gängige Varianten für den Vereisungsschutz der WRG, mit Beurteilung (grünes Häkchen für gut geeignet, rotes X für nicht empfohlen oder nicht zulässig).



der bauliche Aufwand und die hohe Investition.

Bei einem **Bypass über der WRG** sinkt bei aktiviertem Vereisungsschutz die Zulufttemperatur, was zu Komfortproblemen führen kann. Deshalb ist in der Regel eine Nachwärmung erforderlich. Da Elektroheizregister oft nicht zulässig und auch nicht empfehlenswert sind, muss der Nachwärmer von der Heizung versorgt werden. Aus Kostengründen kommt diese Variante vorwiegend für Mehrwohnungsanlagen in Frage.

Viele Wohnungslüftungsgeräte bieten standardmäßig eine **Reduktion des Zuluftvolumenstroms** als Vereisungsschutz an. Wird er aktiviert, entsteht in der Wohnung ein Unterdruck. Dabei strömt Luft durch Infiltration nach, was allenfalls den Komfort beeinträchtigt und im Extremfall zu Pfeifgeräuschen führen kann.

Das komplette Abschalten des Zuluftventilators ist nach Schweizer Normen nicht zulässig. Sofern der Unterdruck 5 Pa nicht übersteigt, lässt SIA 382/5 die Reduktion des Zuluftvolumenstroms aber zu. Dies lässt sich typischerweise einhalten, wenn der Zuluftvolumenstrom um nicht mehr als 30 % reduziert wird. Bei einer Feuerung in der Wohnung ist aber gar keine Disbalance zulässig.

Bei einem Temperaturverhältnis von 80 % (Massenstromverhältnis = 1) taugt die Reduktion des Zuluftvolumenstroms um 30 % nur bis zu etwa -5°C Außentemperatur als Vereisungsschutz. Bei tieferen Auslegetemperaturen muss diese Massnahme daher mit einer weiteren Variante kombiniert werden. Infrage kommt etwa ein Enthalpieübertrager, dessen Feuchteverhältnis (bei Massenstromverhältnis = 1) nicht reicht, um den Vereisungsschutz allein zu garantieren.

Eine **elektrische Vorwärmung**, die direkt im Gerät eingebaut ist, wird von verschiedenen Lieferanten angeboten. Sie kann einen hohen Stromverbrauch verursachen und führt bei tiefen Außentemperaturen zu hohen elektrischen Leistungsspitzen (s. Kapitel 9.8). Gemäss SIA 382/5 sind elektrische Vorwärmungen mit nur einer oder zwei Betriebsstufen nicht zulässig. Mög-

lich, wenn auch nicht empfohlen, ist eine nach Bedarf geregelte stufenlose elektrische Vorwärmung.

In der EN 13142:2021, Anhang F, finden sich Richtwerte und Berechnungsmodelle für den Energiebedarf des Vereisungsschutzes. An der Hochschule Luzern (HSLU) wurde ein allgemeines Modell erarbeitet, das für alle Klimastationen anwendbar ist [4]. Tabelle 9.7 gibt Richtwerte für den Mehr- und Minderbedarf an thermischer und elektrischer Energie respektive Leistung für die Klimastationen Zürich MeteoSchweiz und Davos an. Positive Werte bedeuten, dass gegenüber einer idealen WRG (die keinen Vereisungsschutz benötigt) ein höherer Bedarf resultiert. Dabei gelten folgende Annahmen:

- Aktivierung des Vereisungsschutzes unterhalb -2°C
- Temperaturverhältnis ca. 85 %

Deaktivierung der Wärmerückgewinnung im Sommer

Die VO (EU) 1253/2014 [5] verlangt im Sommer eine «Umgehung der WRG», damit die Lüftung zur Nachtauskühlung eingesetzt werden kann. Übliche Lösungen sind:

- Bypass (bei Geräten mit Platten-Wärmeübertragern)
- Ausschalten des Rotors
- Reduktion des Zuluftvolumenstroms, respektive Ausschalten des Zuluftventilators

Dabei bestehen die gleichen Vor- und Nachteile wie beim Vereisungsschutz. Die beiden ersten Varianten sind unproblematisch und damit zu empfehlen. Die letzte Lösung kann auch im Sommer Probleme verursachen.

9.6 Leckagen und Übertragungsraten

Leckagen sind aus hygienischen und energetischen Gründen unerwünscht.

Die **internen Leckagen** beschreiben die Übertragung von Abluft auf die Zuluft und die Übertragung von Aussenluft auf die Fortluft. Neben der Dichtheit der Konstruktion spielt die Ventilatoranordnung eine entscheidende Rolle. Die Abluftübertragung ist hygienisch problematisch und täuscht ein zu gutes Temperaturverhältnis vor. Dies wird bei der Energiebedarfsberechnung korrigiert (siehe Kapitel 9.8).

Tabelle 9.7: Jährlicher Energie- und Leistungsbedarf bei Auslegetemperatur für verschiedene Varianten des Vereisungsschutzes der WRG bei $1 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom für die Klimastationen Zürich Meteo-Schweiz und Davos.

Variante des Vereisungsschutzes	Art des Bedarfs	Energie- und Leistungsbedarf für $1 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftvolumenstrom für die Klimastation			
		Zürich SMA (-10°C)		Davos (-20°C)	
		thermisch	elektrisch	thermisch	elektrisch
Elektrovorwärmer einstufig ¹⁾	Energie in kWh/a	-0,51	2,1	-3,0	ca. 16
	Leistung in W	-0,6	3,7	-1,1	7,2
Elektrovorwärmer stufenlos geregelt	Energie in kWh/a	-0,11	0,56	-0,43	3,5
	Leistung in W	-0,4	2,6	-0,8	5,2
Reduktion (max. 30 %) des Zuluftvolumenstroms, stufenlos geregelt, kombiniert mit Feuchterückgewinnung ²⁾	Energie in kWh/a	0,50	-0,05	3,0	-0,19
	Leistung in W	3,6	-0,1	4,2	-0,1
		$\eta_x \geq 0,50^{3)}$		$\eta_x \geq 0,80^{3)}$	
Bypass, stufenlos geregelt	Energie in kWh/a	0,89	0,19	6,1	0,19
	Leistung in W	6,5	0,02	11,4	0,02
Vorwärmung durch Erdreich-Sole-Wärmeübertrager	Energie in kWh/a	-0,24	0,38	-0,90	0,38
	Leistung in W	-0,4	0,2	-0,8	0,2
Vorwärmung durch Erdreich-Luft-Wärmeübertrager	Energie in kWh/a	-0,58	0,19	-1,68	0,19
	Leistung in W	-0,4	0,02	-0,8	0,02
Enthalpieübertrager mit Einfriergrenze unterhalb der Auslegetemperatur ²⁾	Energie in kWh/a	0	0	0	0
	Leistung in W	0	0	0	0
		$\eta_x \geq 0,65^{3)}$		$\eta_x \geq 0,85^{3)}$	

1) Nur zu Vergleichszwecken aufgeführt, gemäss SIA 382/5 nicht zulässig

2) Bei Vergleichen ist zu beachten, dass das Temperaturverhältnis von Enthalpieübertragern bei gleicher Auslegung typischerweise rund 5 Prozentpunkte tiefer ist als das von Wärmeübertragern ohne Feuchterückgewinnung

3) Bei der maximal zulässigen Raumluftfeuchte gemäss Kap. 2.4 ist das angegebene Feuchteverhältnis erforderlich.

Eine gewisse Aussenluftübertragung wird speziell bei Rotoren bewusst in Kauf genommen. Der energetische Einfluss ist bei ihnen im Temperaturverhältnis bereits enthalten, sodass keine Korrektur erforderlich ist.

Bei Rotoren kommt noch die sogenannte Mitrotation hinzu. Damit ist der Luftstrom gemeint, der durch das im Rotor eingeschlossene Luftvolumen beim Durchgang durch die Dichtungsebene zwischen Abluft und Zuluft übertragen wird. Damit diese Übertragung möglichst nur von der Aussenluft in die Fortluft erfolgt, werden besonders bei grossen Lüftungsgeräten teilweise sogenannte Spülzonen eingesetzt. Bei der Geräteprüfung ist die Mitrotation in den internen Leckagen enthalten. **Externe Leckagen** bezeichnen die Luftmengen, die durch das Gerätegehäuse in die Umgebung oder von der Umgebung in das Gerät gelangen.

Bei Einzelraumlüftungsgeräten kann wegen der geringen Distanz zwischen Aussen- und Fortluftdurchlass eine Kurzschlussströmung entstehen, die in der Norm als **Aussenbereichmischung** be-

zeichnet wird. Analog ist zwischen Zuluft und Abluft eine **Innenraummischung** möglich.

Bei der Bewertung und Klassifizierung von Geräten nach EN 13142 werden alle aufgeführten Leckagen und Übertragungen betrachtet. Je nach Gerätetyp werden die Prüfverfahren A, B und C (Tabelle 9.8) angewandt, die sich aber nicht direkt vergleichen lassen. Bei allen Verfahren entspricht die Klasse 1 der besten und Klasse 3 der schlechtesten Bewertung. Für besonders undichte Geräte gibt es zudem die Einteilung «nicht klassifiziert». Die Eco-Design-Verordnungen verlangen, dass die Leckagen bei der Produktedeklaration aufzuführen sind.

Tabelle 9.8 zeigt Richtwerte für Leckageräten von Lüftungsgeräten, die den beiden besten Klassen der EN 13142 entsprechen. Es wird empfohlen, Geräte zu wählen, bei denen die deklarierten Werte nicht über den Tabellenwerten liegen.

Tabelle 9.8: Richtwerte für Leckagen von Wohnungslüftungsgeräten.

Art der Leckage und Verfahren	Betrag der Leckage
Externe Leckage	2–7 %
Interne Leckage	
• Verfahren A: statische Prüfung	2–7 %
• Verfahren B: Prüfung mit Spurengas, Kammerverfahren	1–3 %
• Verfahren C: Prüfung mit Spurengas, Kanalverfahren	0,5–2 %
Aussenbereichmischung (nur für Geräte ohne Kanalanschluss)	2–5 %
Innenraummischung (nur für Gerät ohne Kanalanschluss)	2–5 %

Tabelle 9.9: Bestimmung der Leckagefaktoren in Anlehnung an EN 13142.

o Aussenbereichbeimischung, relativer Wert bezogen auf den Referenzvolumenstrom
w interne Leckage, relativer Wert bezogen auf den Referenzvolumenstrom
y Innenraumbeimischung, relativer Wert bezogen auf den Referenzvolumenstrom
z externe Leckage, relativer Wert bezogen auf den Referenzvolumenstrom

Grund der Korrektur	Formel für Geräte			
Interne Leckage	alle Geräte	$f_{lk,1} = 1$	für $w \leq 0,02$	
Aussenbereichmischung	ohne Kanalanschluss	$f_{lk,1} = 1 - 0,7 \cdot (w - 0,02)$	für $w > 0,02$	
		$f_{lk,2} = 1$	für $o \leq 0,02$	
Innenraummischung	mit Kanalanschluss ¹⁾	$f_{lk,2} = 1 - (o - 0,02)$	für $o > 0,02$	
		$f_{lk,2} = 1$		
Externe Leckage	ohne Kanalanschluss	$f_{lk,3} = 1$	für $y \leq 0,02$	
		$f_{lk,3} = 1 - (y - 0,02)$	für $y > 0,02$	
Thermischer Leckagefaktor	mit Kanalanschluss ¹⁾	$f_{lk,3} = 1$		
Thermischer Leckagefaktor	alle Geräte	$f_{lk,th} = f_{lk,1} \cdot f_{lk,2} \cdot f_{lk,3} \cdot f_{lk,4}$		

1) Hängt von der Platzierung der Luftdurchlässe ab. Bei typischen Anlagen ist keine Beimischung vorhanden.

2) Schätzwert, abweichend von EN 13142

Minderung des Nutzens einer WRG

In Anlehnung an EN 13142:2021 definiert Tabelle 9.9 Leckagefaktoren, die bei der Energieberechnung verwendet werden.

Hinweis: Im Gegensatz zur EN 13142 wird im Berechnungsmodell in diesem Buch der Einfluss der Disbalance separat behandelt (s. Kapitel 9.4).

Erhöhung des Luftvolumenstroms

Leckagen führen einen Teil der Abluft wieder dem Gebäude zu. Um die gleiche Zuluftqualität wie bei einem Gerät ohne Leckagen zu erhalten, muss daher der Luftvolumenstrom um den Faktor $f_{lk,v}$ erhöht werden. Dieser wird abgeschätzt mit:

$$f_{lk,v} = 1 + o + w + y + 0,5 \cdot z \quad (9.9)$$

Die Formelzeichen sind in der Legende von Tabelle 9.9 definiert.

9.7 Wärmedämmung der Luftverteilung

Bild 6.5 zeigt Beispiele für energetisch günstige und ungünstige Platzierungen von Lüftungsgeräten und Hauptleitungen. Sowohl Wärmeflüsse von beheizten Räumen an kalte Luftströme als auch Wärmeflüsse von warmen Luftströmen an kalte Räume verursachen Energieverluste.

Die Wärmedämmung der Luftpfeileitungen muss gemäss der Vollzugshilfe EN-105 zur MuKEEn 2014 «Lüftungstechnische Anlagen» [6] ausgeführt werden. Dies entspricht der Grafik in Bild 9.3, wenn gleichzeitig folgende Bedingungen eingehalten sind:

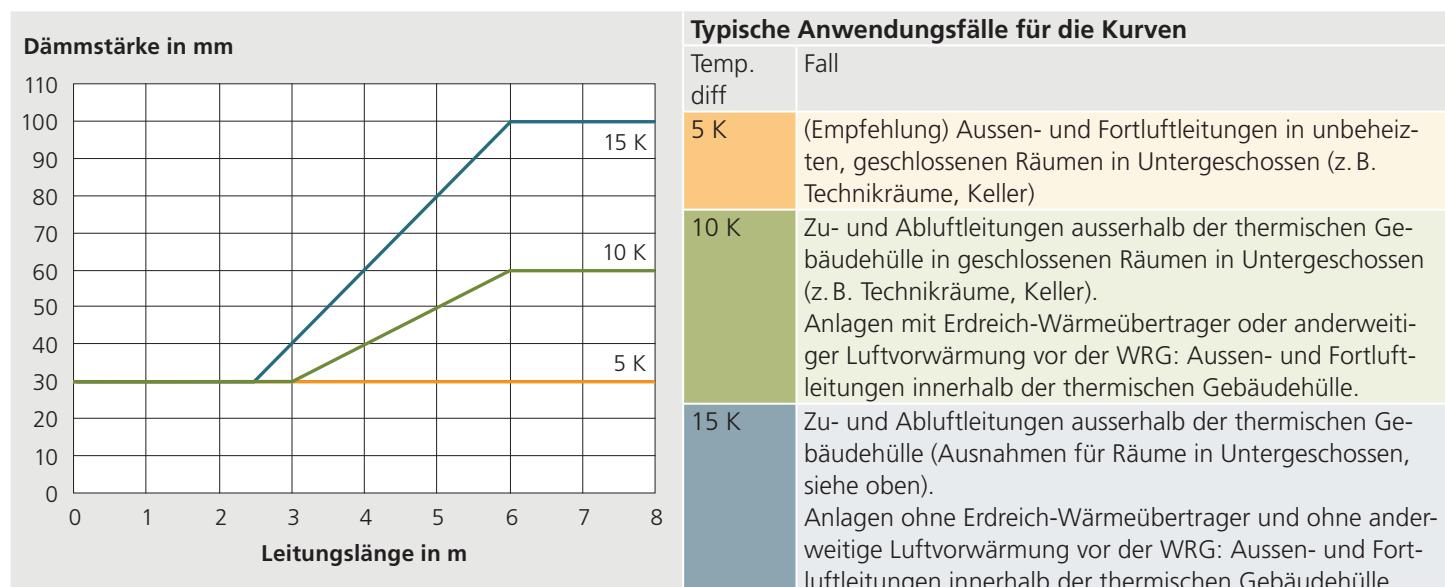
- Runde Luftpfeileitungen mit maximal 160 mm Leitungsdurchmesser
- Luftvolumenstrom bei Normalbetrieb maximal 220 m³/h
- Lüftungsgerät mit WRG (Platten-Wärmeübertrager oder Rotor) aber keine Abluftwärmepumpe.

In allen übrigen Fällen gelten die Dämmstärken bei einer Leitungslänge von 8 m. Die Dämmstärken gelten für eine Wärmeleitfähigkeit λ zwischen 0,03 und 0,05 W/(m·K). Bei λ -Werten unter 0,03 W/(m·K) kann, bei λ -Werten über 0,05 W/(m·K) muss die Dämmstärke so angepasst werden, dass der Wärmeverlust der Situation bei den Dämmstärken mit $\lambda = 0,04$ W/(m·K) entspricht.

Das Kondensatrisiko (Schwitzwasser) muss unabhängig von diesen Anforderungen beurteilt werden. Allenfalls sind grössere Dämmstärken und ein dampfdiffusionsdichtes Dämmmaterial erforderlich. Die Kurven in Bild 9.3 werden folgendermassen angewendet:

- Die Kurve «5 K» wird für **Aussenluft- und Fortluftleitungen** in geschlosse-

Bild 9.3: Minimale Dämmstärke von Luftpfeileitungen für verschiedene Temperaturdifferenzen in Funktion der Leitungslänge nach EN-105 [6], Gültigkeit der Kurven siehe Text.



nen Räumen ausserhalb der gedämmten Gebäudehülle empfohlen (beispielsweise Technikräume oder Keller).

- Die Kurve «10 K» gilt für **Zuluft- und Abluftleitungen** ausserhalb der thermischen Gebäudehülle in geschlossenen Räumen von Untergeschossen (beispielsweise Technikräume, Keller) sowie für **Aussenluft- und Fortluftleitungen** innerhalb der thermischen Gebäudehülle bei permanenter Luftvorwärmung (beispielsweise Erdreich-Wärmeübertrager) vor der WRG.
- Die Kurve «15 K» gilt für **Zuluft- und Abluftleitungen** ausserhalb der thermischen Gebäudehülle (Ausnahme: Räume in Untergeschossen, siehe oben) sowie für **Aussenluft- und Fortluftleitungen** innerhalb der thermischen Gebäudehülle bei Anlagen ohne permanente Luftvorwärmung vor der WRG.

Die Minderung des Nutzens der WRG durch Wärmeverluste der Luftverteilung wird hier als Wärmeverlustfaktor f_{ls} definiert. Er wird berechnet mit

$$f_{ls} = e^{-\frac{U_{lin} \cdot L_{tot} \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot q_v}} \quad (9.10)$$

wobei

- e Eulersche Zahl (2,71828)
- U_{lin} Linearer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Leitung in W/(m·K)

L_{tot} Summe der gedämmten Leitungslängen in m

ρ Dichte der Luft in kg/m³

c_p spezifische Wärmekapazität der Luft in J/(kg·K)

q_v Luftvolumenstrom in m³/h

Bild 9.4 zeigt den Faktor f_{ls} als Funktion der Summe der gedämmten Leitungslängen bei verschiedenen Leitungsdurchmessern und Luftvolumenströmen. Die Dämmstärken entsprechen dabei den Anforderungen der EN-105 gemäss Bild 9.3, Kurve «15 K». Die Wärmeleitfähigkeit ist mit $\lambda = 0,04 \text{ W/(m·K)}$ eingesetzt.

9.8 Jahresenergiebedarf von Lüftungsanlagen

Der Jahresenergiebedarf einer Lüftungsanlage setzt sich zusammen aus

- dem Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung,
- den Lüftungswärmeverlusten, die durch Raumheizung gedeckt werden müssen, und
- dem Energiebedarf für den Vereisungsschutz.

Die folgenden Modelle lehnen sich an die Berechnungsmethode der VU (EU) 1253/2014 und der EN 13142:2021 an.

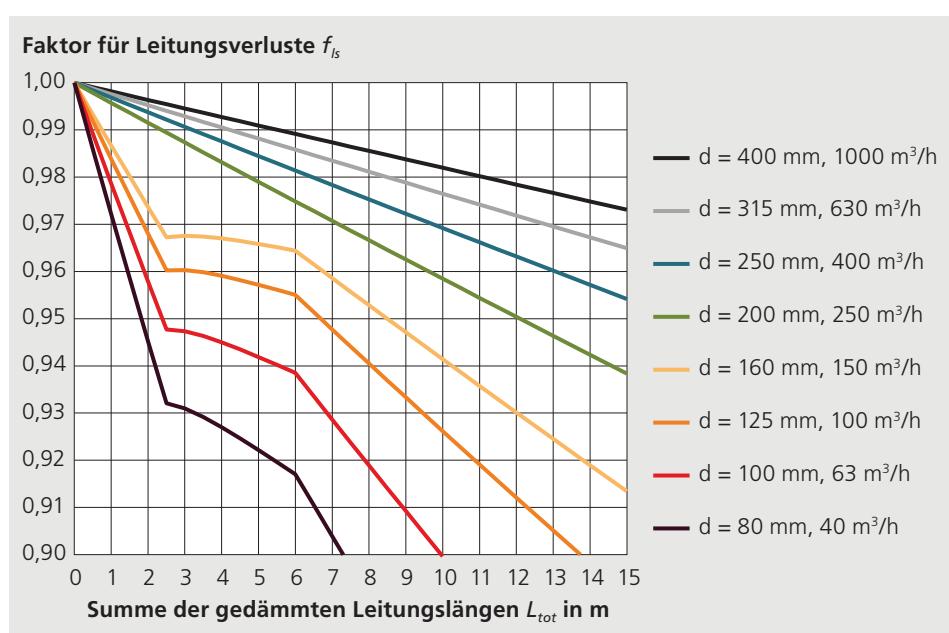


Bild 9.4: Faktor f_{ls} für die Wärmeverluste von Luftleitungen für Dämmstärken gemäss EN-105 [6].

Luftförderung

Bei Mehrwohnungsanlagen kann der Elektrizitätsbedarf nach SIA 382/1 berechnet werden. Für Einzelwohnungsanlagen und Einzelraumlüftungsgeräte kann Gleichung 9.11 verwendet werden.

$$E_{el,v} = t_a \cdot q_{v,n} \cdot f_{CTRL}^{(x)} \cdot f_{fc} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot \frac{SPI}{1000} \quad (9.11)$$

wobei

- $E_{el,v}$ jährlicher Bedarf an elektrischer Energie für die Luftförderung in kWh/a
- t_a jährliche Betriebsstunden der Lüftungsanlage in h/a
- $q_{v,n}$ Luftvolumenstrom im Normalbetrieb in m³/h
- x Exponent für den Wirkungsgradverlauf der Luftförderung
- f_{CTRL} Faktor für die Steuerung/Regelung, siehe Tabelle 9.11
- f_{fc} Filterverschmutzungsfaktor gemäss Tabelle 9.2
- $f_{lk,v}$ Faktor für die Erhöhung des Luftvolumenstroms durch Leckagen gemäss Kapitel 9.6
- v Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss Kapitel 8.2
- SPI spezifische elektrische Aufnahmeleistung der Lüftungsanlage in W/(m³·h), gemäss Kapitel 9.2

Der Exponent x beschreibt die Charakteristik des Wirkungsgradverlaufs einer Luftförderung bei Teillast. Gemäss EN 13142:2021 gelten folgende Werte:

- Ein/Aus mit konstanter Drehzahl: $x = 1$
- Zwei feste Drehzahlen: $x = 1,2$
- Drei oder mehr feste Drehzahlen: $x = 1,5$
- Stufenlos regelbare Drehzahl: $x = 2$

Lüftungswärmeverluste

Beim Berechnen des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 wird die resultierende Temperatureffizienz der Anlage nach Formel 9.12 eingesetzt (Legende siehe Formel 9.13).

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{dis} \cdot f_{ls} \cdot f_{lk,th} \cdot \eta_{\theta,su} \quad (9.12)$$

Wenn keine Berechnung nach SIA 380/1 durchgeführt wird, können die Lüftungswärmeverluste mit Formel 9.13 abgeschätzt werden.

In der EN 13142 und im Entwurf der Revision der VO (EU) 1235/2014 (Stand 1.3.2021) wird ein Temperaturverhältnis η_5 berechnet. Wenn mit diesem Wert anstelle von $\eta_{\theta,su}$ gerechnet wird, dann gelten anstelle der Gleichungen 9.12 und 9.13 die Gleichungen 9.14 und 9.15.

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{v,n}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{dis} \cdot f_{ls} \cdot f_{lk,th} \cdot \eta_{\theta,su}) \quad (9.13)$$

wobei

- t_h Dauer der Heizperiode gemäss Tabelle 9.10 in h/a
- ΔT_h durchschnittliche Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen während der Heizperiode, minus Temperaturgewinn für Wärmegewinne gemäss Tabelle 9.10 in K
- ρ Dichte der Luft in kg/m³
- c_p spezifische Wärmekapazität der Luft in kJ/(kg·K)
- $q_{v,n}$ Luftvolumenstrom bei Normalbetrieb in m³/h
- f_{CTRL} Faktor für die Steuerung/Regelung, gemäss Tabelle 9.11
- f_{dis} Disbalance-Faktor gemäss Formel 9.7
- f_{ls} Faktor für die Wärmeverluste gemäss Kapitel 9.7
- $f_{lk,v}$ Faktor für Erhöhung des Luftvolumenstrom durch Leckagen gemäss Kapitel 9.6
- $f_{lk,th}$ thermischer Leckagefaktor gemäss Tabelle 9.9
- v Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss Kapitel 8.3
- $\eta_{\theta,su}$ Temperaturverhältnis, gemäss Formel 9.3

Steuerung/Regelung

Tabelle 9.11 zeigt die Faktoren für die Steuerung/Regelung. Die Werte für Einzelwohnungsanlagen lehnen sich an den Entwurf der Revision der VO (EU) 1253/2014, Stand 1.3.2021 an. Die Werte für Einzelraumlüftungsgeräte und Abluftventilatoren sind eigene Schätzwerke.

Freie Lüftung

Neben der mechanischen Lüftung findet in Wohnungen stets auch noch eine freie Lüftung statt. Sie umfasst das Öffnen von Türen und Fenstern sowie eine Infiltration, die nicht mit dem Lüftungssystem zusam-

menhängt. Grobe Richtwerte für die Heizsaison sind:

- Anlagen mit Zu- und Abluft: 0,10 m³/h pro m² Energiebezugsfläche
- Abluftanlagen mit ALD: 0,05 m³/h pro m² Energiebezugsfläche

Energiebedarf für den Vereisungsschutz

Der thermische Energiebedarf für den Vereisungsschutz einer WRG berechnet sich mit:

$$E_{defr,th} = q_{vn} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{defr,th} \quad (9.16)$$

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5 \quad (9.14)$$

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{vn}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5) \quad (9.15)$$

wobei

η_5 Korrigiertes Temperaturverhältnis gemäss EN 13142:2019, Tabelle 2

$f_{lk,4}$ Faktor für externe Leckage gemäss Tabelle 9.9

Bezeichnung	Symbol	Einheit	Klima		
			Kalt ¹⁾	Durchschnitt ²⁾	Warm ³⁾
Dauer der Heizperiode	t_h	h/a	6552	5112	4392
Durchschnittliche Temperaturdifferenz innen–aussen, minus Temperaturgewinn für Wärmegewinne	ΔT_h	K	14,5	9,5	5,0

1) Kaltes europäisches Klima, entspricht alpinem Klima auf ca. 1500 m ü. M.

2) Mittleres europäisches Klima, entspricht etwa dem schweizerischen Mittelland

3) Warmes europäisches Klima, entspricht etwa dem Süd-Tessin

Tabelle 9.10: Standardwerte für t_h und ΔT_h gemäss VO (EU) 1253/2014 [5].

Art der Steuerung/ Regelung	f_{CTRL} -Werte für die Steuerung/Regelung von		
	Einzelwohnungsanlage ¹⁾	Einzelraumlüftungsgerät ²⁾	Abluft Bad/WC ³⁾
Keine (Dauerbetrieb)	1,00	1,00	1,00
Manuell	0,75	0,75	0,20
Zeitsteuerung	0,70	0,70	0,15
Bedarfsregelung mit Sensor in der Wohnungsabluft	0,70	–	–
Bedarfsregelung mit Sensor im Durchströmbereich	0,65	–	–
Bedarfsregelung mit Sensoren in allen Ablufräumen	0,60	–	0,10
Bedarfsregelung mit Sensoren in allen Zulufträumen	0,50	0,50	–

Tabelle 9.11: f_{CTRL} -Werte für verschiedene Lüftungsanlagen.

1) Komfortlüftung oder Abluftanlage mit ALD

2) Gerät mit Zu- und Abluft, platziert in einem Zuluftraum

3) Einzelventilator für einen Ablufräum, gerechnet als 1-stufiger Betrieb (Exponent $x = 1$)

Der elektrische Energiebedarf für den Vereisungsschutz einer WRG berechnet sich mit:

$$E_{\text{defr,el}} = q_{v,n} \cdot f_{\text{CTRL}} \cdot f_{ik,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{\text{defr,el}} \quad (9.17)$$

wobei

$q_{v,n}$ Luftvolumenstrom bei Normalbetrieb in m^3/h

f_{CTRL} Faktor für die Steuerung/Regelung, siehe Tabelle 9.11

$f_{\text{defr,th}}$ spezifischer thermischer Energiebedarf für den Vereisungsschutz gemäss Tabelle 9.7 in $\text{kWh}/(\text{m}^3/\text{h})$

$f_{\text{defr,el}}$ spezifischer elektrischer Energiebedarf für den Vereisungsschutz gemäss Tabelle 9.7 in $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$

Vergleich von Wohnungslüftungssystemen

Der folgende Vergleich umfasst die Grundtypen von Wohnungslüftungssystemen, die in den Kapiteln 6 bis 8 behandelt sind. Neben einer optimalen Anlage wird jeweils eine ungünstige Anlage definiert. Eine grobe Beschreibung findet sich in Tabelle 9.12. Weitere Annahmen und Definition sowie Zwischen- und Endresultate der Berechnung sind in Tabelle 9.13 zusammengefasst. Dabei sind typische Kennwerte von Geräten eingesetzt. Der Vergleich geht von folgenden Annahmen aus:

- Durchschnittliches Klima gemäss Tabelle 9.10
- 4½-Zimmer-Wohnung mit 140 m^2 Energiebezugsfläche

Var.	Beschreibung
A	Fensterlüftung plus Abluftventilatoren
	Manuelle Fensterlüftung in den Zimmern und im Wohnzimmer. Der Luftaustausch entspricht mit $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ pro m^2 Energiebezugsfläche dem Standardwert von SIA 380/1. Abluftventilatoren in Bad/WC und Dusche/WC, bedarfsgesteuert Ein/Aus.
B	Komfortlüftung, Einzelwohnungsanlage
B1	Optimale Anlage Luftführung nach dem Prinzip «Kaskade» (keine Zuluft im Wohnzimmer); WRG mit Enthalpieübertrager; Bedarfsregelung mit Sensor im Durchströmbereich; Platzierung des Geräts gemäss Tabelle 6.2, Variante A; mittlerer Druckverlust
B2	Ungünstige Anlage Zuluft in allen Zimmern plus im Wohnzimmer, WRG ohne Feuchterückgewinnung; Vereisungsschutz der WRG durch stufenlos geregelte elektrische Vorwärmung; Steuerung mit Handschalter; Platzierung des Geräts gemäss Tabelle 6.2, Variante C; hoher Druckverlust plus zusätzliche Filter an den Abluftdurchlässen.
C	Abluftanlage mit ALD
C1	Optimale Anlage ALD in jedem Zimmer (ohne Wohnzimmer); Bedarfsregelung mit Feuchtesensoren in allen Ablufträumen; mittlerer Druckverlust
C2	Ungünstige Anlage ALD in jedem Zimmer plus Wohnzimmer; einstufiger Dauerbetrieb; hoher Druckverlust
D	Einzelraumlüftungsgeräte plus Abluftventilatoren
D1	Optimale Anlage Einzelraumlüftungsgerät in jedem Zimmer plus Wohnzimmer; WRG mit Enthalpieübertrager, Bedarfsregelung pro Raum; Abluftventilator in Bad/WC und Dusche/WC, bedarfsgesteuert Ein/Aus
D2	Ungünstige Anlage Einzelraumlüftungsgerät in jedem Zimmer, inkl. Wohnzimmer; WRG ohne Feuchterückgewinnung, Vereisungsschutz der WRG durch Ausschalten der Geräte bei -5°C ; alle Geräte plus Abluftventilatoren in Bad WC und Dusche/WC werden manuell ein- und ausgeschaltet.

Tabelle 9.12: Grobbeschreibung der Lüftungssysteme für den Systemvergleich.

Tabelle 9.13: Vergleich von Wohnungslüftungssystemen für eine 4½-Zimmer-Wohnung. Beschreibung der Systeme siehe Tabelle 9.12.

- Fensterloses Bad/WC plus fensterlose Dusche/WC
- Raumheizung mit Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 4,0

Der Vergleich zeigt, dass eine optimale Komfortlüftung den kleinsten Jahresenergiebedarf hat. Es ist auch ersichtlich, dass

bei allen Systemen der Energiebedarf zwischen einer optimalen und einer ungünstigen Anlage um den Faktor 2 bis 3 variiert. Alle mechanischen Systeme schneiden bei einer ungünstigen Anlage deutlich schlechter ab als eine Fensterlüftung. Bild 9.5 zeigt denselben Systemvergleich, wobei aber nicht der absolute Energiever-

Bezeichnung	Quelle Kapitel	Symbol	Einheit	Variante							
				Fenst- Lüft.		Komfort- Lüftung		ABL-Anlage mit ALD		Einzelraum + ABL-Venti	
				A	B1	B2	C1	C2	D1	D2	
Auslegung Luftvolumenströme											
Hauptanlage Normalbetrieb	6, 7, 8	$q_{v,n}$	m^3/h	98	90	120	120	150	120	120	
pro zusätzlichen Abluftventilator	7	$q_{v,ABL}$	m^3/h	50					50	30	
Lüftungsgerät											
Temperaturverhältnis	9.3	$\eta_{\theta,su}$			0,80	0,85			0,80	0,70	
Interne Leckage	9.6	w			0,01	0,04			0,05	0,08	
Externe Leckage	9.6	z			0,02	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08	
Innenraummischung	9.6	y							0,02	0,05	
Aussenbereichmischung	9.6	o							0,05	0,05	
Resultierender Leckagefaktor	9.6	$f_{lk,res}$			1,00	0,98	1,00	1,00	0,95	0,89	
Filterverschmutzungsfaktor	9.1	f_{fc}			1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	
Empfindlichkeit des Luftstroms	9.4	v			0,05	0,05	0,10	0,20	0,20	0,35	
Disbalance-Faktor	9.4	f_{dis}			0,99	0,99			0,92	0,85	
Spezifische Ventilatorleistung	9.2	SPI	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$		0,25	0,33	0,12	0,15	0,20	0,20	
Abluftventilatoren											
Betriebszeit pro Ventilator	7	t_d	h/d	2					2	12	
Spezifische Ventilatorleistung	9.2	SPI	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$	0,12					0,12	0,12	
Elektrische Energie Luftförderung											
Hauptanlage	9.8	$E_{el,v,1}$	kWh/a	0	96	234	58	264	79	203	
Abluftventilator	9.8	$E_{el,v,2}$	kWh/a	11	0	0	0	0	10	51	
Thermische Energie Hauptanlage											
Betriebszeit im Winter	9.8	t_h	h/a	5112	5112	5112	5112	5112	4260	0	
Länge gedämmte Leitungen	9.7	L	m		1,5	13,5					
Durchmesser innen	9.7	d_i	mm		125	160					
Faktor für Verteilverluste	9.7	f_{ls}			0,98	0,91					
Thermische Energie Hauptanlage	9.8	$E_{th,v,1}$	kWh/a	1552	222	387	1215	2653	300	0	
Mischbetrieb mit ABL-Ventilator											
Disbalance-Faktor	9.4	$f_{dis,2}$							0,62	0,70	
Thermische Energie Mischbetrieb	9.8	$E_{th,v,2}$	kWh/a						177	2994	
Freie Lüftung, bezogen auf EBF		q_{nat}	$(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$		0,10	0,10	0,05	0,05	0,09	0,03	
Thermische Energie freie Lüftung	9.8	$E_{th,v,nat}$	kWh/a	222	222	111	111	203	55		
Vereisungsschutz der WRG											
Elektrische Energie	9.8	$E_{derf,el}$	kWh/a		0	55			0	0	
Thermische Energie	9.8	$E_{derf,th}$	kWh/a		0	-11			0	115	
Total Energiebedarf											
Elektr. Energie Lüftung Sommer		$E_{el,v,So}$	kWh/a	5	40	98	24	110	37	106	
Elektr. Energie Lüftung Winter		$E_{el,v,Wi}$	kWh/a	7	56	192	34	154	52	149	
Thermische Energie Lüftung		$E_{th,v,tot}$	kWh/a	1552	444	598	1326	2764	680	3164	
Bedarf elektr. Energie der WP		$E_{el,WP}$	kWh/a	388	111	150	332	6691	170	791	
El. Energie für Lüftung und WP		$E_{el,tot}$	kWh/a	399	207	439	390	955	259	1046	

brauch verglichen wird, sondern der spezifische Verbrauch pro m^2 Energiebezugsfläche. Diese Werte lassen sich näherungsweise auch auf andere Wohnungsgrößen und auf EFH übertragen.

Bild 9.6 zeigt den spezifischen Leistungsbedarf derselben Lüftungssysteme bei Auslegebedingungen. Dabei gelten folgende Annahmen:

■ Aussentemperatur -10°C

- Raumtemperatur $+20^\circ\text{C}$
- Leistungszahl der Wärmepumpe: 3,0

Da die elektrische Spitzenleistung energiepolitisch zunehmend wichtiger wird, ist dieser Vergleich mindestens so interessant wie der Vergleich des Jahresenergiebedarfs. Hier zeigt sich noch ausgeprägter der Unterschied zwischen einer optimalen und ungünstigen Komfortlüftung. Insbe-

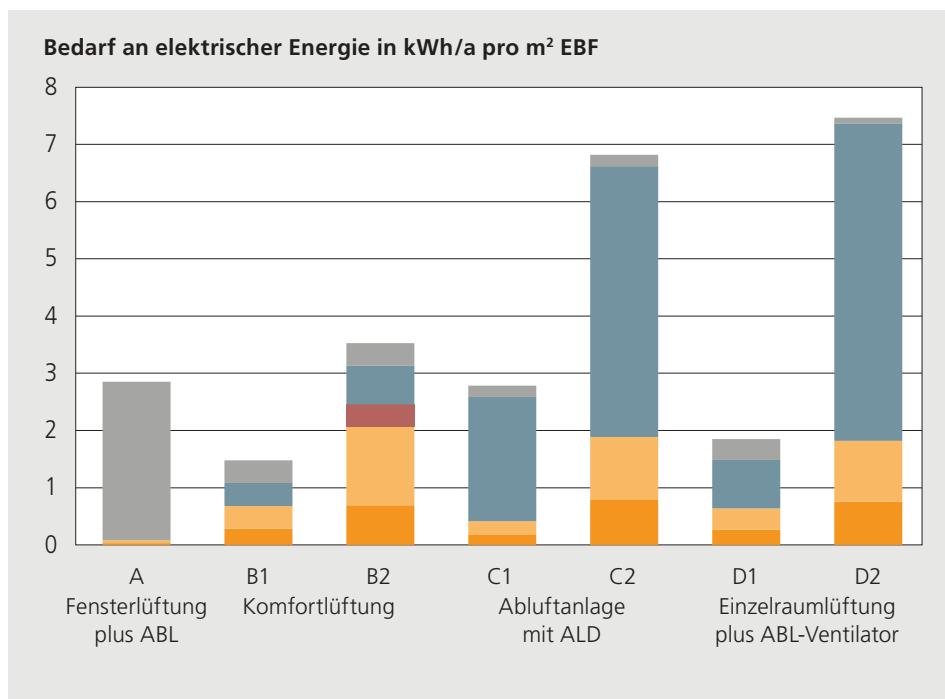


Bild 9.5: Spezifischer Jahresbedarf an elektrischer Energie (bezogen auf die EBF) für verschiedene Lüftungssysteme im Schweizer Mittelland, Raumheizung mit Wärmepumpe (JAZ 4,0); Rahmenbedingungen siehe Text. ■ free Lüftung ■ Zuluftwärzung ■ Vereinschutz ■ Luftförderung Winter ■ Luftförderung Sommer

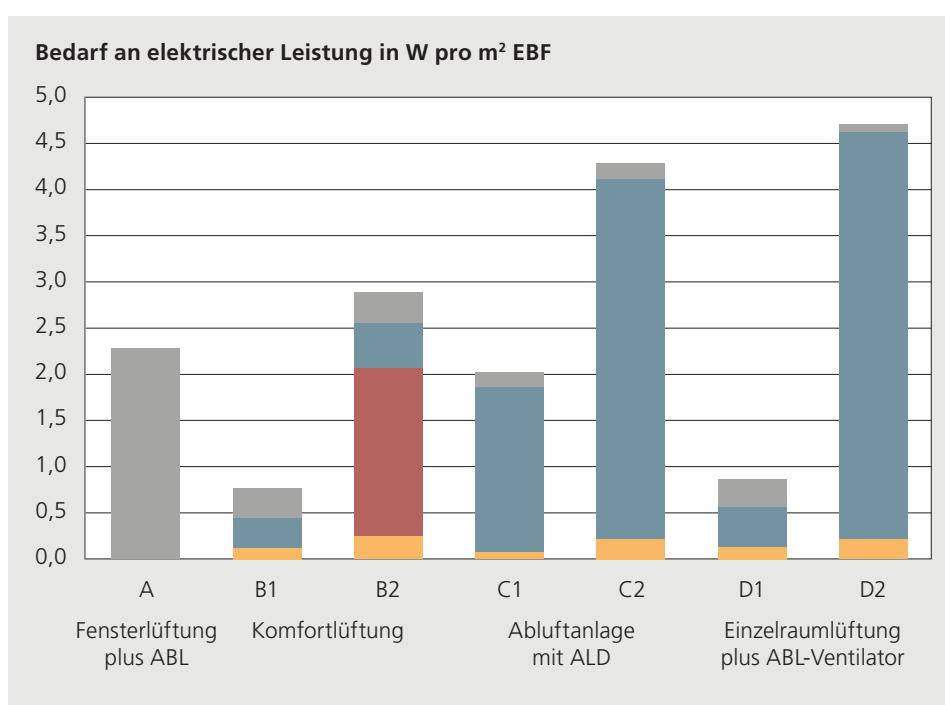


Bild 9.6: Spezifischer Bedarf an elektrischer Leistung (bezogen auf die EBF) für verschiedene Lüftungssysteme bei -10°C Aussentemperatur, Raumheizung mit Wärmepumpe (JAZ 3,0). ■ free Lüftung ■ Zuluftwärzung ■ Vereinschutz ■ Luftförderung

sondere der Vereisungsschutz für die WRG mit der elektrischen Vorwärmung schlägt zu Buche.

Die Resultate des Vergleichs hängen massgebend von der angenommenen Arbeitszahl der Wärmepumpe ab. Tabelle 9.14 zeigt, wie hoch die Arbeitszahl der Wärmepumpe sein müsste, damit ein mechanisches Wohnungslüftungssystem während der Heizsaison bezüglich Energie- und Leistungsbedarf gleich abschneidet wie die Variante A mit Fensterlüftung. Das ist dann der Fall, wenn die Anlage energiebewusst betrieben, also im Sommer ausgeschaltet oder nur kurzfristig einschaltet wird (unabhängig vom Komfort und der Feuchteproblematik).

Tabelle 9.14 zeigt die Stärken einer optimal konzipierten Komfortlüftung: Sie schneidet energetisch besser ab als die besten verfügbaren Wärmepumpen. Je tiefer die Aussentemperaturen sind, umso grösser wird ihr Vorteil. Es lässt sich aber auch erkennen, dass eine ungünstige Komfortlüftung schon im Vergleich mit der heutigen Wärmepumpentechnik bescheiden dasteht.

Energetisch interessant sind auch optimale Einzelraumlüftungsgeräte mit Enthalpieübertrager. Ungünstige Anlagen mit solchen Geräten schneiden hingegen schlecht ab. In der Jahresenergiebilanz schlägt sich vor allem der Dauerbetrieb der Abluftventilatoren nieder. Bei tiefen Aussentemperaturen liegt der Grund beim Vereisungsschutz. Bei diesem Systemvergleich gilt es aber zu bedenken, dass alle mechanischen Systeme gegenüber der manuellen Fensterlüftung eine Komfortverbesserung bringen – auch ausserhalb der Heizsaison.

9.9 Eco-Design und Energieklassierung

Die europäischen Eco-Design-Verordnungen [5] [7] verlangen, dass Wohnungslüftungsgeräte mit einer Energieetikette ausgestattet werden (Bild 9.7). Diese Anforderung wurde in der schweizerischen Energieeffizienzverordnung (EnEV) [8] übernommen. Zudem verlangen sowohl die schweizerischen als auch die europäischen Vorschriften eine angemessene Produktinformation.

Die Energieetikette und die Produktinformation müssen vom Lieferanten im Internet öffentlich zugänglich gemacht werden. Dies gilt aber nur für Geräte mit maximal 250 m³/h Nennvolumenstrom. In der Amtssprache, und daher auch bei der obligatorischen Deklaration, werden diese Geräte als «Wohnraumlüftungsgeräte» bezeichnet

Bei Geräten mit einem Luftvolumenstrom zwischen 250 und 1000 m³/h steht es den Lieferanten frei, das Gerät als Wohnraumlüftungsgerät oder als Nicht-Wohnraumlüftungsgerät zu deklarieren. Geräte mit mehr als 1000 m³/h Luftvolumenstrom müssen immer als Nicht-Wohnungslüftungsgeräte deklariert werden.

Ob ein Produkt offiziell als «Wohnraumlüftungsgerät» oder «Nicht-Wohnraumlüftungsgerät» bezeichnet wird, hängt also nicht vom Einsatzort ab. Entscheidend ist sein Luftvolumenstrom, und für die Klasse 250 bis 1000 m³/h liegt die Bezeichnung auch einfach im Ermessen der Lieferanten. Das heisst dann beispielsweise: Bei Mehrwohnungsanlagen können auch Nicht-Wohnraumlüftungsgeräte eingesetzt wer-

Tabelle 9.14: Arbeitszahl einer Wärmepumpe, die erforderlich ist, um in der Heizsaison mit Lüftungssystemen denselben Energie- und Leistungsbedarf wie mit einer Fensterlüftung zu erreichen.

Fall	Erforderliche Arbeitszahl einer WP für den gleichen Energie- resp. Leistungsbedarf wie Variante A der Fensterlüftung					
	Komfortlüftung		Abluftanlage mit ALD		Einzelraumlüftungsgeräte plus Abluftventilatoren	
	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Mittelwert während der Heizsaison	22	5,2	8,3	< 0	11	< 0
Bei -10°C Aussen-temperatur	65	2,2	23	< 0	72	< 0

den oder in kleinen Büroräumen auch Wohnraumlüftungsgeräte.

Die Energieeffizienz, die sogenannte SEC (Seasonal Energy Consumption, deutsch auch: Spezifischer Energieverbrauch, SEV), versteht sich als Mehrverbrauch gegenüber einer Fensterlüftung. Bei Geräten mit WRG ist die SEC daher negativ. Moderne Geräte mit WRG erreichen typischerweise Klasse A oder A+. Reine Abluftgeräte mit Bedarfsregelung erreichen meist Klasse B oder C.

Das Rechenmodell für die Beurteilung der Energieeffizienz ist vergleichbar mit dem Verfahren in Kapitel 9.8. Abweichungen gibt es aber vor allem beim Energieaufwand für den Vereisungsschutz der WRG, der bei der Energieetikette zu stark vereinfacht wurde. Das kann dazu führen, dass ein Gerät mit einem energetisch fragwürdigen Vereisungsschutz trotzdem die Klasse A+ erreicht.

Bei Redaktionsschluss befanden sich die Eco-Design-Anforderungen an Wohnraumlüftungsgeräte in Überarbeitung. Dabei waren folgende wesentlichen Änderungen geplant:

■ Die Leckagen und die Empfindlichkeit des Luftstroms sollen bei der Berechnung der Energieeffizienz berücksichtigt werden.

- Es soll einen Bonus für die Feuchterückgewinnung geben.
- Der Vereisungsschutz der WRG soll differenziert berücksichtigt werden.
- Die Steuerung/Regelung soll differenzierter beurteilt werden.
- Als bestmögliche Energieklasse soll künftig A gelten (statt bisher A+)

9.10 Hinweise zu Multifunktionsgeräten

Multifunktionsgeräte haben eine Wärmepumpe (WP), die Wärme aus der Abluft nutzt. Dies kann anstelle oder ergänzend zu einer WRG erfolgen. Je nach Bauart wird die von der WP produzierte Wärme zum Bereiten von Warmwasser, Erwärmen der Zuluft und/oder für die Heizungsunterstützung genutzt. Bei einigen Geräten lässt sich die WP reversibel betreiben, womit eine Kühlung der Zuluft oder eines wasserführenden Systems möglich ist. Ob ein Multifunktionsgerät energetisch sinnvoll ist oder nicht, muss im Rahmen des Energiekonzepts beantwortet werden. So ist etwa eine Abluft-WP mit einer Arbeitszahl von knapp 3 wenig sinnvoll, wenn im Gebäude eine Erdsonden-WP vorhanden ist, die die gleiche Wärme mit

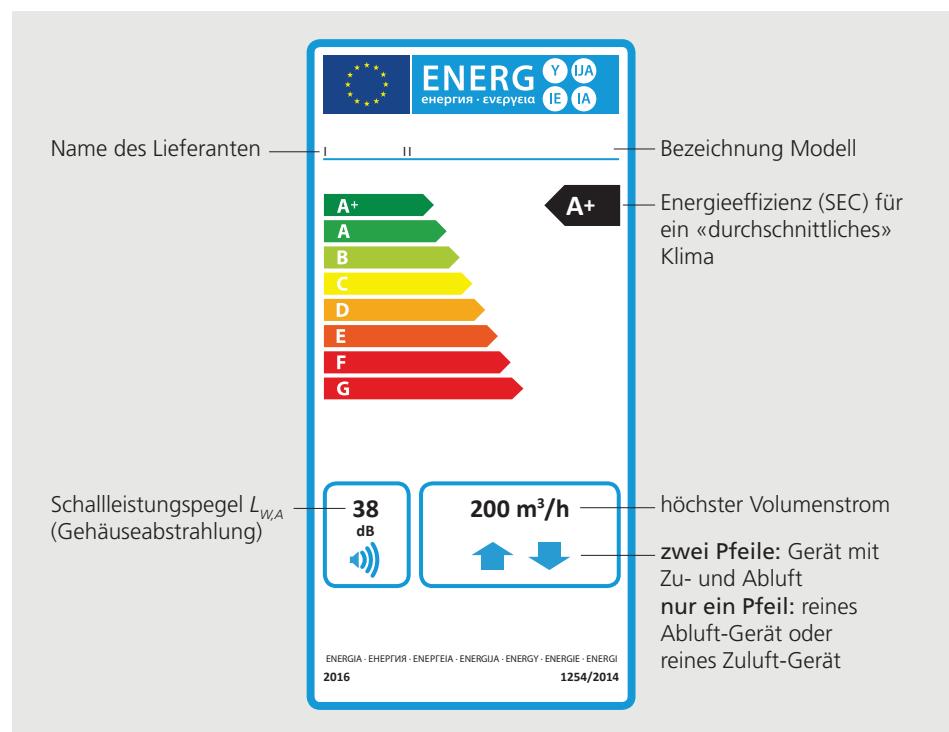


Bild 9.7: Energieetikette für Wohnraumlüftungsgeräte, Stand 2021. (Quelle: VO (EU) 1254/2104 [7])

einer Arbeitszahl von 4 bereitstellen kann. Wenn eine geringfügige Kühlung geplant ist, kann eine reversible Abluft-WP allenfalls eine kostengünstige und energieeffiziente Alternative zu einem Split-Klimagerät sein. Beim Einsatz von Multifunktionsgeräten in Wohnbauten sollen die folgenden Punkte beachtet werden:

■ **Abtauung:** Eine Abluft-WP kann vereisen und muss deshalb mit einer Abtaufunktion versehen sein. Während der Abtauphase darf das Massenstromverhältnis zwischen Zu- und Abluft nicht verändert werden. Beim Abschalten des Zuluftventilators würde nämlich in dichten Gebäuden ein nicht akzeptabler Unterdruck entstehen.

■ **Definition der Leistungsdaten:** Die thermische Leistung und die Arbeitszahl von Multifunktionsgeräten können verschieden definiert werden. Einige Lieferanten betrachten Geräte als Blackbox und rechnen auch die thermische Leistung der WRG bei der Arbeitszahl ein. Es gibt aber auch Definitionen, bei denen die Leistungskennwerte der WRG und der WP getrennt ausgewiesen werden. Für Energiebedarfsberechnungen und Nachweise nach Schweizer Standards und Vorschriften ist die zweite Variante gefordert. Die verschiedenen Definitionen und die zugehörigen Prüfverfahren finden sich in der Norm EN 16573 [9].

9.11 Literatur

- [1] ISO 16890-1:2016 Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem basierend auf Feinstaub
- [2] EN 779:2012 Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung
- [3] EN 13142:2021 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen
- [4] Huber, Heinrich; Liniger, Michael: Standardlüftungssysteme, Berechnungs- und Nachweisverfahren für Standardlüftungssysteme in Wohn- bauten. Hochschule Luzern, Horw, 2018. (erstellt im Auftrag von EnergieSchweiz, BFE, Bern)
- [5] VO (EU) Nr. 1253/2014: EU-Verordnung Nr. 1253/2014 der Kommission v. 07.07.2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen
- [6] Vollzugshilfe EN-105 Lüftungstechnische Anlagen, Ausgabe Dezember 2018. Download via www.endk.ch → Fachleute → Vollzugshilfen
- [7] VO (EU) Nr. 1254/2014: Delegierte EU-Verordnung Nr. 1254/2014 der Kommission v. 11.07.2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch
- [8] Schweizerische Verordnung über die Anforderungen an die Energieeffizienz serienmäßig hergestellter Anlagen, Fahrzeuge und Geräte (Energieeffizienzverordnung, EnEV) vom 1. November 2017 (Stand am 1. März 2021). SR 730.02. Download via <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/765/de>
- [9] EN 16573:2017 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen für Wohnbauten – Multifunktionale Zu-/Abluft-Lüftungseinheiten für Einzelwohnungen, einschliesslich Wärmepumpen
- [10] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas. 12., bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin u. a., 2019

Spezielle Nutzungen und Anlagen

10.1 Kochstellenlüftung

Die Kochstellenlüftung ist ein Bestandteil des Lüftungskonzepts. Das Ziel ist es, den Kochwrasen¹ möglichst direkt und vollständig zu erfassen und zu neutralisieren. SIA 382/5 verlangt hierfür eine durch die Benutzer ein- und ausschaltbare Intensivlüftung. Das Merkblatt «Kochstellenlüftung» von EnergieSchweiz [1] gibt eine Übersicht über Bauformen von Dunstabzugshauben, Filtertechnik, Nachströmeinrichtungen, die Energieetikette und weiterführende Literatur.

Umluft-Dunstabzugshaube

Wie in Bild 10.1 dargestellt, saugen Umluft-Dunstabzugshauben (kurz Umluflaube) den Kochwrasen an, scheiden die Fettpartikel am Fettfilter ab und halten Gerüche im Geruchsfilter zurück. Danach führen sie die gereinigte Luft wieder in die Küche zurück.

Als Geruchsfilter dienen Aktivkohlefilter, die entweder als Einwegprodukte oder als regenerierbare Bauteile ausgestaltet sind. Das Wartungsintervall liegt je nach Produkt zwischen wenigen Monaten und mehreren Jahren, wobei drei bis sechs Monate typisch sind. Bei regenerierbaren Filtern nimmt die Wirkung mit der Zeit ab, sodass sie etwa alle drei Jahre ersetzt wer-

¹ Beim Kochen entstehender Dunst, hauptsächlich aus Wasserdampf und Fettpartikeln bestehend

den müssen. Weiter werden Hauben mit Plasmafiltern und Ionisationsfiltern angeboten, die meist mit einem Aktivkohlefilter kombiniert sind. Auch Plasma- und Ionisationsfilter erfordern eine Wartung und müssen nach drei bis fünf Jahren ersetzt werden.

Da die Gerüche nicht vollständig herausgefiltert werden können, verhindern Umluflauben die Geruchsausbreitung etwas weniger gut als Fortluflauben (siehe unten). Deshalb soll bei hohen Ansprüchen abgeklärt werden, ob die Nutzer eine Umluflaube akzeptieren.

Fortluft-Dunstabzugshaube

Die Fortluft-Dunstabzugshaube (kurz Fortluflaube) fasst den Kochwrasen und führt ihn direkt ins Freie. Grundsätzlich soll die Fortluft über Dach geführt werden. Ausnahmen, beispielsweise mit Fortluft über die Fassade, sind nur tolerierbar, wenn niemand durch die Gerüche belästigt wird. In der Fortluftleitung ist grundsätzlich eine Rückschlagklappe eingebaut.

Achtung Feuchte!

Umluft-Dunstabzugshauben führen keine Feuchte ab. Sie sollen deshalb nur in Kombination mit einer mechanischen Wohnungslüftung eingesetzt werden, die ganzjährig die Feuchte abführt. Bei Gaskochherden wird von Umluft-Dunstabzugshauben abgeraten.

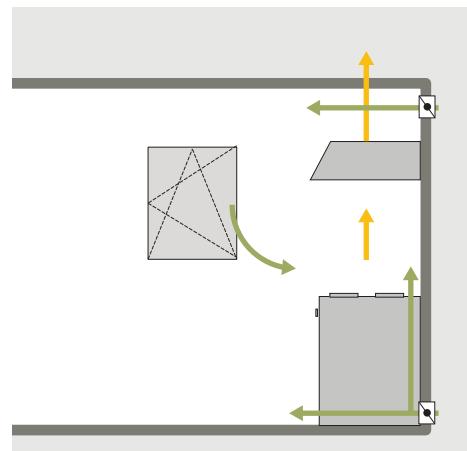
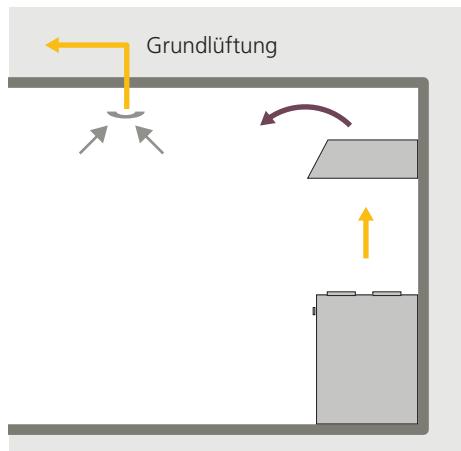


Bild 10.1: Umluft-Dunstabzugshaube kombiniert mit einer Grundlüftung.

Bild 10.2: Fortluft-Dunstabzugshaube mit Varianten für die Nachströmung der Ersatzluft (Schema).

Trotzdem kann ein Fortluftdurchlass die Luftdichtheit der Gebäudehülle schwächen und zudem eine Wärmebrücke bilden. Um dieses Problem zu lösen, werden dichtschliessende und wärmegedämmte Fortluft-Durchlässe angeboten.

Die Ersatzluft muss so zugeführt werden, dass in der Wohnung kein unzulässiger Unterdruck entsteht. Hinweise zu Wohnungen mit Feuerstätten sind in Kapitel 10.2 zu finden. Bei Wohnungen ohne Feuerung wird empfohlen, die Nachströmung auf höchstens 12 Pa Unterdruck auszulegen. Bei Gebäuden mit erhöhtem Radonrisiko soll aber Unterdruck vermieden werden. In Bild 10.2 sind verschiedene Varianten angedeutet, die in den folgenden Abschnitten behandelt werden.

Nachströmung der Ersatzluft durch ALD oder Mauerkästen

Neben klassischen Lüftungskomponenten kommen als Nachströmöffnungen bei Fortlufthauben spezielle Mauerkästen in Frage. Bei der Auslegung wird grundsätzlich gleich vorgegangen wie bei der Auslegung von ALD gemäss Kapitel 7.2.

Rechenbeispiel 10.1 zeigt, dass klassische ALD und Lüftungskomponenten höchstens

Rechenbeispiel 10.1: Küchenabluft, Schallschutz und Bauphysik

In einer Küche soll eine Fortlufthaube mit 600 m³/h Luftvolumenstrom installiert werden – wie beeinflusst ein ALD den Schallschutz und die Bauphysik? Damit der Druckabfall des Wetterschutzgitters bei einem solchen Luftvolumenstrom die geforderten rund 12 Pa nicht überschreitet (ohne weitere Komponenten der Nachströmung), müssten gemäss Kapitel 7.2 parallel zwei runde Wetterschutzgitter mit jeweils 250 mm Nenndurchmesser (freier Querschnitt 70 %, Zeta-Wert 4,0 bezogen auf den freien Querschnitt) eingesetzt werden. So grosse Querschnitte würden den Schallschutz der Gebäudehülle aber unzulässig schwächen und wären auch bauphysikalisch heikel (Wärmebrücken, Luftdichtheit).

tens für die Ersatzluftzufuhr von kleinen Fortlufthauben (bis ca. 300 m³/h) infrage kommen, wenn der zulässige Unterdruck von 12 Pa nicht überschritten werden soll. Bei grösseren Ablufthauben schwächen die erforderlichen ALD den Schallschutz zu stark und bilden unerwünschte Wärmebrücken. Allenfalls kommen spezielle Komponenten der Lieferanten von Fortlufthauben in Frage.

Nachströmelemente müssen bei ausgeschalteter Dunstabzugshaube mit einer automatischen Klappe geschlossen werden, die nach SIA 382/5 Ziff. 5.3.2.13 folgende Anforderung erfüllen muss:

$$q_{v,l} \leq 10,46 \cdot A_f \cdot \Delta p^{0,57} \quad (10.1)$$

wobei

$q_{v,l}$ Leckluftstrom bei geschlossener Klappe in m³/h

A_f Anströmfläche des Nachströmelements in m²

Δp Differenzdruck über dem Nachströmelement in Pa

Nachströmung über offene Fenster

Die einfachste und preiswerteste Nachströmeinrichtung ist das Küchenfenster. Allerdings muss ein Fenster zur Verfügung stehen, das auch bei Wind und Regen geöffnet werden kann, beispielsweise eines unter einem Balkon.

Die minimal erforderliche Öffnungsweite eines Kipp- oder Drehfensters kann abgeschätzt werden mit:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{q_v}{b+h} \cdot \Delta p_{lim}^{-0,5} \quad (10.2)$$

wobei

s minimal erforderliche Öffnungsweite des Fensterflügels in cm

q_v Luftvolumenstrom der Fortlufthaube in m³/h

b Breite des Fensterflügels in m

h Höhe des Fensterflügels, in m

Δp_{lim} zulässiger Unterdruck in der Wohnung in Pa

Aus Rechenbeispiel 10.3 lässt sich schliessen, dass sich ein Kippfensterflügel selbst für grosse Fortlufthauben gut als Nach-

strömöffnung eignet. Die Frage ist nun, ob die Nachströmung die thermische Behaglichkeit beeinträchtigt.

Wenn die Fortlufthaube läuft, ist typischerweise in der Küche ein Wärmeüberschuss vorhanden. Zudem sind die Personen oft aktiv und abgelenkt und der Zustand dauert nur kurze Zeit. Insgesamt darf angenommen werden, dass bis zu einem Luftvolumenstrom von 500 m³/h kaum Zugscheinungen reklamiert werden sollten. Trotzdem gilt: Je kleiner der Luftvolumenstrom einer Haube ist, desto geringer ist das Risiko, dass die Behaglichkeit zum Problem wird.

Im Alltag muss davon ausgegangen werden, dass die Benutzer ab und zu vergessen, beim Kochen ein Fenster zu öffnen. Deshalb wird die Fortlufthaube oft mit einem Fensterkontaktechalter überwacht. Eine weitere, wenn auch teurere Variante,

besteht darin, einen Fensterflügel mit einem automatischen Antrieb auszurüsten.

Anschluss der Dunstabzugshaube an die Komfortlüftung

Im skandinavischen Raum werden seit Jahrzehnten Dunstabzugshauben an Komfortlüftungen angeschlossen. Dabei werden aber nur kleine Dunstabzugshauben mit einem Luftvolumenstrom von 100 bis höchstens 200 m³/h eingesetzt, die eine sehr gute Absaugeffizienz haben.

In der Schweiz ist diese Lösung gemäss Brandschutzrichtlinie VKF 25-15 [3], Ziff. 4.2.2, zulässig. Dabei muss eine geprüfte Absperrklappe die Abzugshaube ausschalten, wenn die Temperatur der Küchenabluft über 85 °C steigt. Die Steuerung von Ablufthaube, Lüftungsgerät und Klappen muss zwingendermassen koordiniert werden. Damit die Komfortlüftung nicht unsinnig überdimensioniert werden muss, sollte der Luftvolumenstrom der Dunstabzugshaube bei höchstens 300 m³/h liegen. Während des Kochbetriebs wird das Lüftungsgerät mit einem Luftvolumenstrom von 300 bis 400 m³/h betrieben. In Räumen mit Abluft darf dabei der Abluftvolumenstrom um bis zu 70 % reduziert werden.

Allenfalls könnten an den Überström durchlässen hohe Druckverluste und Geschwindigkeiten auftreten und die Anlage könnte starke Geräusche verursachen, die speziell in den Zimmern stören. Um solche Probleme zu entschärfen, kann auf der Zuluftseite eine Umstellklappe eingesetzt werden, die bei Kochbetrieb einen grossen Teil der Zuluft direkt der Küche respektive dem Durchströmbereich zuführt.

Ob das Lüftungsgerät bei diesem Konzept stark verschmutzt, wird kontrovers diskutiert. Aus skandinavischen Quellen sind keine besonderen Probleme bekannt. Auch die meisten Ersteller und Betreiber von Schweizer Anlagen kennen keine ungewöhnlichen Verschmutzungen. Allerdings gibt es Einzelfälle, bei denen Fettablagerungen gemeldet wurden. Um diesem Risiko vorzubeugen, fordert die SIA 382/5 einen Fettabscheidegrad der Haube GFE-

Rechenbeispiel 10.2: Leckluftstrom eines Nachströmelements für Fortlufthauben

Ein Nachströmelement hat eine Anströmfläche von 0,2 m x 0,2 m (0,04 m²). Gesucht ist der maximale zulässige Leckluftstrom bei einem Differenzdruck von 5 Pa.

Nach Formel 10.1 beträgt dieser:

$$q_{vI} \leq 10,46 \cdot 0,04 \text{ m}^2 \cdot (5 \text{ Pa})^{0,57} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rechenbeispiel 10.3: Erforderliche Öffnungsweite eines Fensters bei Fortlufthauben

Eine Fortlufthaube fördert 600 m³/h. Als Nachströmöffnung wird ein 1,2 m hoher und 0,6 m breiter Kippfensterflügel schräg gestellt. Da eine raumluftabhängige Feuerung vorhanden ist, darf der Unterdruck höchstens 4 Pa betragen. Wie gross muss die Öffnungsweite des Fensterflügels sein?

Nach Formel 10.2 beträgt die erforderliche Öffnungsweite:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{600}{1,2 + 0,6} \cdot 4^{-0,5} = 5,0 \text{ cm}$$

hood von mindestens die Klasse B nach VO (EU) Nr. 65/2014 [5].

Kombinierte Umluft-/Fortluft-Haube

Auf dem Markt gibt es Dunstabzugshauben, die alternativ im Umluft- oder Fortluftmodus betrieben werden können. Die Vorteile der beiden Varianten werden dadurch kombiniert.

Intensivlüftung über Fenster

Gemäss SIA 382/5 kann nur dann auf eine Dunstabzugshaube verzichtet werden, wenn die Küche durch eine Tür vom Rest der Wohnung, inklusive Korridor, abgetrennt werden kann und sich die Emissio-

Was, wenn die Nachströmung vergessen wird?

Bleiben die Fenstern geschlossen und fehlt eine anderweitige Nachströmeinrichtung, entstehen in Wohnungen mit Fortlufthauben Unterdrücke von einigen wenigen bis zu einigen Dutzend Pascal. Die beobachteten Spitzenwerte liegen bei rund 200 Pa. Unterdrücke ab 50 Pa können hohe Öffnungskräfte an Türen und Fenstern verursachen (allerfalls Sicherheitsrisiko) und mechanische Lüftungsanlagen negativ beeinträchtigen. Je nach interner Luftdichtheit sind zudem bereits ab rund 10 Pa Unterdruck Geruchsübertragungen zwischen Wohnungen möglich.

nen der Kochstelle wirksam durch eine Fensterlüftung abführen lassen. Zudem regeln auch einige kantonale und kommunale Bauvorschriften den Einsatz respektive den möglichen Verzicht auf eine Dunstabzugshaube.

Variantenvergleich von Kochstellenlüftungen

Tabelle 10.1 vergleicht vier Varianten von Kochstellenlüftungen. Die Kriterien Energie und Raumluftfeuchte werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

Energie und Feuchte

Bei Umlufthaben bleiben Wärme und Feuchte vom Kochvorgang in der Wohnung, bei Fortlufthauben wird beides zum grossen Teil abgeführt. Deshalb müssen insbesondere die beiden Hauptvarianten Umlufthaube und Fortlufthaube beim sommerlichen Wärmeschutz, beim Feuchteschutz und bei der Beurteilung der minimalen Raumluftfeuchte berücksichtigt werden. Da die Normen keine Standardwerte dazu liefern, ist aber nur eine qualitative Beurteilung möglich.

Häufig wird argumentiert, dass bei Fortlufthauben viel Heizwärme verloren geht. Eine Haube mit guter Erfassungseffizienz benötigt aber höchstens 400 m³/h Luftvolumenstrom. Bei 20 Minuten Vollbetriebszeit pro Tag von führt das im Schweizer Mittelland zu Lüftungswärmeverlusten

Kriterium	Umlufthaube	Fortlufthaube	Anschluss an Komfortlüftung	Intensivlüftung via Fenster
Abfuhr von Kochgerüchen	Ø	+	+	-
Erhalt der Luftdichtheit der Gebäudehülle	+	-	+	+
Risiko von Unterdruck	+	-	Ø	+
Zuglufrisiko	Ø bis + ¹⁾	- bis Ø ²⁾	+	-
Einfachheit in der Umsetzung	+	Ø	-	+
Gefilterte Ersatzluft (z. B. für Pollenallergiker)	Ø bis + ³⁾	-	+	-
Schall	Ø	+	- bis + ⁴⁾	- bis + ⁵⁾
Filterersatz	-	Ø	Ø	+
Investition	Ø	-	-	+

1) hängt von der Rückführung der Umluft ab

2) hängt von der Nachströmung der Ersatzluft ab

3) hängt vom Wohnungslüftungssystem ab

4) in der Küche tiefer Schallpegel, aber in den Zimmern erhöhter Schallpegel bei Kochbetrieb

5) je nach Aussenlärm

Tabelle 10.1: Qualitativer Vergleich von Varianten der Kochstellenlüftung. + vergleichsweise gut; Ø keine besonderen Vor- oder Nachteile; - vergleichsweise ungünstig

gut;
Ø keine besonderen
Vor- oder Nachteile;
- vergleichsweise
ungünstig

von 150 bis 200 kWh. Das entspricht 2 bis 3 % des Heizwärmebedarfs eines neuen Wohngebäudes. Bei einem Haus mit Wärme pumpen-Heizung wären das nur etwa 50 kWh Strom pro Jahr.

Der jährliche Stromverbrauch für den Ventilator und die Beleuchtung lässt sich an hand der Energieetikette grob schätzen. Bei Energieklasse A+ liegt er bei rund 20 kWh, bei der Energieklasse D sind es rund 100 kWh. Eine hilfreiche Angabe auf der Energieetikette ist im Übrigen die Klassierung des Fettabscheidegrades.

10.2 Feuerstätten in Wohnungen

Raumluftunabhängig ist eine Feuerstätte nur dann,

- wenn die Verbrennungsluft ausschliesslich über eine Leitung direkt aus dem Freien zugeführt wird und
- keine gefährlichen Mengen an Abgas in den Aufstellraum austreten können.

Raumluftunabhängige Feuerstätten müssen über ein Prüfzertifikat einer anerkannten Prüfstelle verfügen. Fehlt ein solches, gelten sie als raumluftabhängig. Aus Holz- und Pelletöfen können bei Unterdruck Verbrennungsgase, insbesondere giftiges Kohlenmonoxid (CO), in den Raum strömen. Potenzielle Leckagen sind Feuer raum- und Aschetür, Reinigungsöffnungen und Abgasleitung. Eine separate Verbrennungsluftzufuhr alleine macht solche Öfen also noch nicht raumluftunabhängig. Trotzdem sind Verbrennungsluftleitungen immer sinnvoll – vorausgesetzt, sie sind durch Ofenbauer und Lieferanten korrekt dimensioniert.

Lüftungseinrichtungen egal welcher Art (Küchenabluftshauben, einfache Abluftanlagen, zentrale Staubauganlagen usw.) dürfen keinen Unterdruck verursachen, der die Funktion der Feuerung stört. Tabelle 10.2 zeigt die zulässigen Unterdrücke für raumluftabhängige und raumluft unabhängige Feuerungen.

Ein unzulässiger Unterdruck muss durch Steuerung und/oder Überwachung ver-

mieden werden. Mögliche Massnahmen sind:

- Sperren von Ablufteinrichtungen über Fensterkontakte schalter – häufig findet man entsprechende Schalter unter der Bezeichnung «Reed-Kontakt».
- Nachströmeinrichtungen, die mit elektrischen Antrieben öffnen und schliessen (beispielsweise Fensterantriebe)
- Dunstabzugshauben mit integrierter Drucküberwachung
- Unterdrucküberwachung am Feuerungs aggregat
- Bei Komfortlüftungen: Geräte mit Konstant-Volumenstromregelung und integrierter Störungsüberwachung

Bei einer Feuerstätte in der Wohnung darf kein Lüftungsgerät eingesetzt werden, das zum Vereisungsschutz der WRG den Zuluftvolumenstrom reduziert oder gar den Zuluftventilator ausschaltet (siehe. auch Kapitel 9.5).

10.3 Konditionierung von Kellerräumen

Das Merkblatt «Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden» von EnergieSchweiz [3] stellt das Problem und die Lösungsvarianten anschaulich dar. Zudem liefert es Hinweise auf weiterführende Literatur. In diesem Kapitel werden Grundlagen und Daten aus dem Merkblatt übernommen.

Kellerräume dienen heute als Lager und Abstellräume, beispielsweise für Möbel, Bücher etc., sowie als Hobbyräume. Hohe Raumluftfeuchten und Schimmelpilzbefall müssen deshalb vermieden werden. In Kellerräumen tritt das Problem hauptsächlich im Sommer auf. Dann führt die hohe absolute Luftfeuchtigkeit in der Außenluft

Tabelle 10.2: Zulässiger Unterdruck bei Feuerstätten.

Art der Feuerstätte	Maximal zulässiger Unterdruck im Raum
Raumluftabhängig (alle Cheminées, Holz- und Pelletöfen ohne Prüfzertifikat, auch mit Verbrennungsluftleitung)	4 Pa
Raumluftunabhängig (nur Aggregate mit Prüfzertifikat)	ca. 10 Pa ¹⁾

1) Der genaue Wert lässt sich dem Prüfzertifikat entnehmen.

zu einer sehr hohen relativen Feuchtigkeit an den Kellerwänden, womit auch die Gefahr von Schimmelbildung steigt.

Vollständig wärmegedämmte Keller

Bei Neubauten mit rundum wärmegedämmten Kellerwänden und -böden besteht kein nennenswertes Schimmelrisiko. Aus Sicht der Normen und Energievorschriften gelten diese Räume als beheizt – selbst, wenn keine Wärmeabgabe installiert ist. In solchen Kellern fällt die Raumtemperatur auch im Winter kaum unter 20°C.

Wegen der Geruchsabgabe von Materialien und auch wegen Feuchtelasten (Waschküchen) sollten solche Räume aber aktiv belüftet werden. Da die Nutzungszeiten kurz sind und von denen der Wohnungen abweichen, ist es sinnvoll, Kellerräume separat zu belüften und nicht an die Wohnungslüftungsanlage anzuschliessen. Bei grossen Mehrfamilienhäusern kann es aber angemessen sein, im Keller eine einfache Lüftungsanlage mit WRG zu installieren. Da der Schallpegel dort weniger wichtig ist als im Wohnbereich, kommen bei kleinen Objekten oder einzelnen Räumen (z. B. Bastelräume) auch kostengünstige Einzelraumlüftungsgeräte, Abluftventilatoren mit ALD oder eine automatische Fensterlüftung infrage. Voraussetzung ist aber, dass eine angemessene Aussenluftfassung möglich ist.

Nicht oder nur teilweise wärmegedämmte Keller

Räume, die nicht oder nur teilweise gedämmt sind, dürfen gemäss den Energievorschriften weder beheizt noch an eine

Wohnungslüftung mit WRG angeschlossen werden. Dies gilt auch für Kellerräume. Das Merkblatt «Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden» vergleicht vier verschiedene Varianten bezüglich Schimmelrisiko und Energieverbrauch.

Die erste Variante ist eine freie Lüftung. Die nicht überraschende Aussage ist, dass damit das Schimmelrisiko nicht behoben wird. Dies entspricht auch den Erfahrungen mit schimmeligen Kellerräumen, die über einen Lichtschacht belüftet werden.

Als zweite Variante wird die Beheizung des Kellerraums mit einem mobilen Elektroheizkörper untersucht. Die Idee dahinter: Eine höhere Raumlufttemperatur senkt die relative Raumluftfeuchte und damit das Schimmelrisiko. Zwar ist eine fest installierte Heizung in einem solchen Kellerraum von den Energievorschriften her nicht zulässig, aber ein mobiler Elektroofen liegt im Graubereich. Der Befund: Trotz des hohen Stromverbrauchs besteht aber weiterhin ein Schimmelrisiko.

Bei der dritten Variante wird ein Luftentfeuchter eingesetzt. Damit lässt sich das Schimmelrisiko eliminieren.

Als vierte Variante wird eine feuchtigkeitsregelte mechanische Lüftung untersucht. Sie ist die eigentliche Top-Lösung bezüglich Schimmelrisiko und niedrigem Energieverbrauch. Entscheidend ist dabei die Regelstrategie: Wenn die absolute Feuchte der Aussenluft tiefer liegt als die der Kellerluft, wird der Ventilator eingeschaltet. Im um-

Wegen der Feuchtproblematik sollten Kellerräume in Neubauten vollständig innerhalb der wärmegedämmten Gebäudehülle liegen.

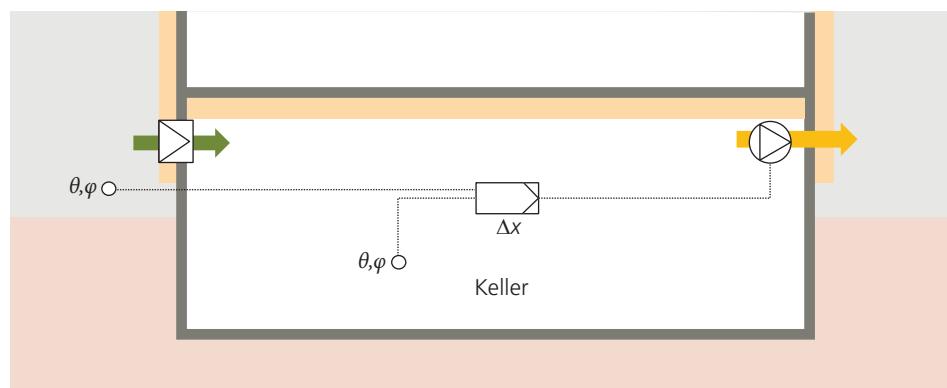


Bild 10.3: Feuchtigkeitsregelte Lüftung eines nicht wärmegedämmten Kellers.

gekehrten Fall wird der Ventilator ausgeschaltet. Eine solcher Betrieb verlangt, dass sowohl in der Aussenluft als auch in der Kellerluft die Temperatur sowie die relative Feuchte gemessen werden müssen. Zudem muss die Regelung in der Lage sein, damit die absoluten Feuchten zu bestimmen. Dies betrifft vor allem den Betrieb von April bis Oktober. In der kalten Jahreszeit kann der Ventilatorbetrieb durch eine minimale relative Feuchte der Kellerluft (z.B. 30 % r.F.) begrenzt werden.

Bild 10.3 stellt diese Lösung schematisch dar. Neben Abluftventilatoren kommen auch Zuluftventilatoren oder Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluft infrage, siehe auch Hinweise zu Radon in Kapitel 10.5. Bild 10.4 zeigt den spezifischen Strombedarf (bezogen auf 1 m² Bodenfläche des Kellers) der vier aufgeführten Varianten und gibt an, ob bei der Variante ein Schimmelrisiko besteht. Der Bereichsbalken zum Strombedarf bezieht sich auf unterschiedliche Dämmgrade und das örtliche Klima. Die Aussagen gelten für die im Merkblatt «Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden» definierten Annahmen. Es würde zu weit gehen, hier die Details zu aufzuführen, aber die Annahmen können für einen Grossteil von Kellerräumen in bestehenden MFH als typisch angesehen

werden. Im Einzelfall empfehlen sich aber Abklärungen mit einem Bauphysiker.

10.4 Luftheizung

Als Luftheizungen werden Anlagen bezeichnet, bei denen die Zulufttemperatur im Winter bewusst über der Raumtemperatur liegt, um die Heizlast der versorgten Räume ganz oder teilweise zu decken. Damit kombinieren sie die Funktionen Luftherneuerung und Raumheizung. Vor- und Nachteile, sowie Einsatzgrenzen solcher Anlagen finden sich in Kapitel 4.3.

Luftheizungen sind bei kleinen Passivhäusern verbreitet, da dort die Bedingung, dass nicht mehr als 10 W/m² über die Luft zugeführt werden sollen, eingehalten ist. Die Zuluft wird oft in sogenannten Multifunktionsgeräten erwärmt, die auch das Brauchwarmwasser erhitzten. Damit die Energiebilanz bei tiefen Außentemperaturen aufgeht, ist in der Regel eine Aussenluft-Vorwärmung durch einen grosszügig dimensionierten Erdreich-Luft-Wärmeübertrager erforderlich. Und für den Fall, dass die Heizung unter Auslegebedingungen laufen muss, haben viele Multifunktionsgeräte noch einen Elektroheizeinsatz für die Wassererwärmung.

Kritische Punkte bei Luftheizungen sind die Wärmeverluste der Zuluftleitungen und Leckagen. Sie können die Funktion

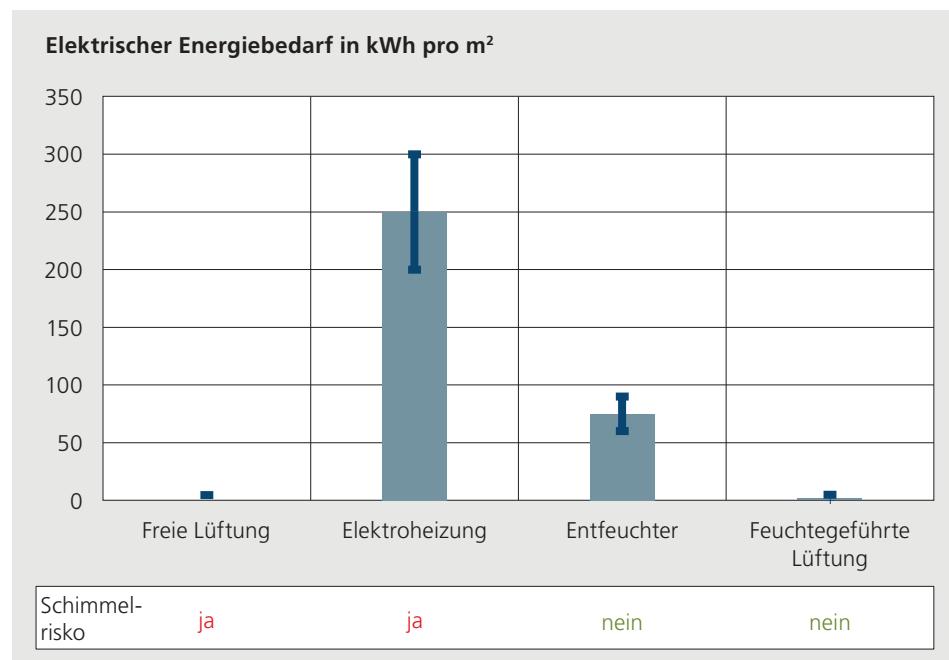


Bild 10.4: Spezifischer Elektrizitätsbedarf (bezogen auf 1 m² Bodenfläche) für die Konditionierung von nicht oder nur teilweise wärmegedämmten Kellerräumen samt Beurteilung des Schimmelrisikos. Variantenbeschreibung siehe Text.

markant beeinträchtigen und im Extremfall zur Untauglichkeit einer Anlage führen. Bild 10.5 zeigt, wo überall Wärme abfließen kann. Bei der Luftverteilung im unbeheizten Untergeschoss sind Verluste von 10 % und mehr realistisch. Auch innerhalb des beheizten Bereiches ist die Wärmeabgabe einer Luftleitung oft nicht sinnvoll. So kann es etwa vorkommen, dass eine Luftleitung in einer Steigzone ungewollt das Nachbarhaus beheizt oder sich die verlorene Wärme undefiniert im eigenen Haus verteilt.

Sehr heikel sind diesbezüglich Warmluftleitungen in Decken. Bei ungedämmten Leitungen in Betondecken kann sich die Zuluft innerhalb von wenigen Metern um 5 bis 10 K abkühlen. Das bedeutet im Extremfall, dass ein Raum, der neben der Steigzone liegt, überheizt wird und der entfernteste Raum die Solltemperatur nicht erreicht. Die notwendigen Dämmstärken von Warmluftleitungen müssen unter Berücksichtigung der Auskühlung berechnet werden.

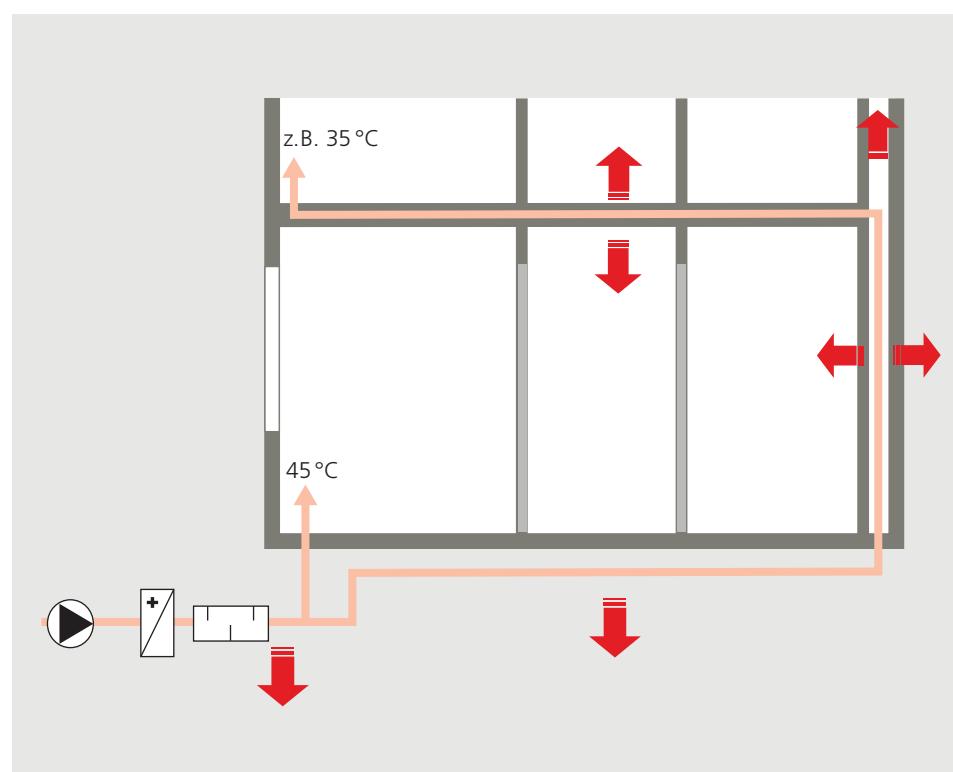
Auch Leckagen sind bei Luftheizung oft gleichbedeutend mit Wärmeverlusten. Das heißt, dass Luftheizungen überdurchschnittlich dicht sein sollen.

10.5 Radonsanierungen

Grundlagen und Konzepte für die Lüftung bei Radonsanierungen finden sich in «Radon – Praxis-Handbuch Bau» [4] und auf der Website des Bundesamts für Gesundheit www.ch-radon.ch. Für die Umsetzung von Lüftungskonzepten bei Radonsanierungen sollte eine Radon-Fachperson zugezogen werden. Bezuglich Komfortlüftungen wird hierfür auf Kapitel 1.4 verwiesen.

Abluftanlage mit ALD

Die Abluftanlage mit ALD ist hinsichtlich der Radonbelastung das ungünstigste System. Abluftanlagen sollen deshalb nur in Gebäuden eingesetzt werden, in denen Radon schon im Voraus kein Problem ist. Bei MFH mit betonierten Kellerböden, einer Betondecke über dem Untergeschoss und dichten Türen zwischen Untergeschoss und Erdgeschoss ist das Risiko in der Regel gering. Zudem müssen mögliche Luftwege vom Untergeschoss in die Wohnungen (über Steigzonen oder Elektrohöfe) vermieden werden.



Einzelraumlüftungsgeräte kombiniert mit Abluftanlagen

Einzelraumlüftungsgeräte sind bezüglich Radon an sich unkritisch. Allerdings werden sie oft mit Abluftventilatoren in Bad/WC kombiniert, die einen Unterdruck erzeugen. Bei bedarfsgesteuertem Ein/Aus-Betrieb sollte unter üblichen Verhältnissen kein relevanter Radoneintrag erfolgen. Bei Radonsanierungen soll das Konzept aber genau geprüft und allenfalls durch zusätzliche Massnahmen ergänzt werden.

Kochstellenentlüftung

Bezüglich der Vermeidung von Unterdruck ist die Umluft-Dunstabzugshaube vorteilhaft. Wenn bei Radonsanierungen eine Fortluft-Dunstabzugshaube vorhanden ist, sollte die Nachströmung der Ersatzluft über ein Fenster sichergestellt werden. Dabei sollte ein Fensterkontakteschalter oder eine Unterdrucküberwachung eingesetzt werden. Die Nachströmung über Aussenluft-Durchlässe erzeugt einen grossen Unterdruck und sollte deshalb nicht eingesetzt werden.

Spezielle Lüftungseinrichtungen zur Druckhaltung

Bei Radonsanierungen werden oft Lüftungseinrichtungen eingesetzt, die ausschliesslich dazu dienen, im Gebäude oder Teilen davon (etwa im Keller) einen bestimmten Druck zu halten. Ob dies im Einzelnen ein Unter- oder Überdruck ist, wird von der Radonfachperson im Rahmen des gesamten Radonsanierungskonzepts festgelegt. Ein Überdruck stoppt das Eindringen von Radon. Ein Unterdruck im Keller verhindert, dass Kellerluft in die Wohnung gelangt. In beiden Fällen geht es lediglich um eine Druckdifferenz von einigen wenigen Pascal.

Kellerlüftung

Bei nicht oder nur teilweise wärmege-dämmten Kellern kann im Rahmen einer Radonsanierung ein Konflikt zwischen Feuchteschutz (siehe Kapitel 10.3) und Radonschutz bestehen. Eine Radonschutzlüftung erfordert einen möglichst durchgehenden Betrieb zur Druckhaltung. Eine

feuchtegeregelte Lüftung ist aber im Sommer und bei tiefen Aussentemperaturen oft ausgeschaltet.

Unter Umständen lassen sich beide Funktionen mit einer einzigen Anlage abdecken. Dabei wird die Lüftung mit einem dicht-schliessenden ALD ausgestattet, der bei ausgeschaltetem Feuchteschutzbetrieb schliesst. Der Ventilator läuft aber weiter, eventuell mit reduzierter Drehzahl, um den Druck zu halten. Die Feuchteschutzlüftung muss bezüglich Unter- oder Überdruck mit dem Radonschutz abgestimmt werden. Das heisst, dass anstelle des in Bild 10.3 dargestellten Abluftventilators allenfalls ein Zuluftventilator eingesetzt wird.

10.6 Literatur

- [1] Merkblatt Kochstellenlüftung bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau. EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2019
- [2] Brandschutzrichtlinie 25-15 Lufttechnische Anlagen, Stand 1.1.2017; Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern; Bezug via www.praever.ch/de/bs/vs
- [3] Merkblatt Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2019
- [4] Breunig, Morris; et. al.: Radon – Praxis-Handbuch Bau. Faktor Verlag, Zürich, 2018
- [5] Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 65/2014 der Kommission vom 1. Oktober 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Haushaltsbacköfen und dunstabzugshauben; Europäische Kommission. Download unter <https://eur-lex.europa.eu>

Schallschutz

Das Thema Akustik wird hier nur punktuell behandelt. Für Grundlagen und eine Vertiefung empfiehlt sich die VDI 2081 Blatt 1 [1]. Auf die Komfortlüftung zugeschnittene Abhandlungen mit Beispielen finden sich in den Fachbüchern «Wohnungslüftung», 2005 [2], und «Komfortlüftung in Wohngebäuden», 2016 [3]. Die normativen Anforderungen der SIA 181 [4] und SIA 382/5 [5] haben sich aber seit dem Erscheinungsjahr der beiden Fachbücher geändert. Deshalb sollen bei der Verwendung von älteren Grundlagen unbedingt die Kapitel 11.2 und 11.3 dieses Buchs beachtet werden. Die akustische Auslegung von Aussenbauteil-Luftdurchlass (ALD) findet sich in Kapitel 7.6 und Hinweise zu Überströmluftdurchlässen (ÜSLD) in Kapitel 3.8.

11.1 Begriffe, Anforderungen

Schalldruck und Schallleistung

Das menschliche Ohr und auch die Messgeräte erfassen den Schalldruck. Schallquellen geben aber eine Schallleistung ab. Weil Berechnungen mit Druck (in Pa) und Leistung (in W) unhandlich wären, wird die Einheit Dezibel (dB) verwendet. Sie wird sowohl für den Schalldruckpegel als auch für den Schallleistungspegel verwendet. Vereinfachend wird gelegentlich auch der Begriff «Schallpegel» verwendet, wobei meistens der Schalldruckpegel gemeint ist. Wie gross der wahrgenommene oder gemessene Schalldruckpegel ist, hängt von der Leistung der Quelle, der Entfernung, von Hindernissen sowie von der Reflektion und Absorption an Oberflächen ab. Bei Lüftungsgeräten soll immer die Schallleistung angegeben werden. Angaben wie «Schall in 1 m Abstand» sind unpräzise bis wertlos.

A-Bewertung

Die sogenannte A-Bewertung passt den physikalischen Schallpegel dem menschlichen Hörempfinden an. In früheren Normen und in der Fachliteratur wurden die

A-bewerteten Schallpegel mit der Einheit dB(A) gekennzeichnet. In den neuen Normen fällt dies weg, womit auch A-bewertete Pegel in der Einheit dB angegeben werden. Die Information, ob ein Schallpegel A-bewertet ist, ergibt sich aus dem Formelzeichen mit dem Index A (beispielsweise L_{Aeq}) oder in der textlichen Beschreibung des jeweils angegebenen Wertes.

Rundungsregel

Die Endresultate von Messungen und Berechnungen werden immer auf 1 dB gerundet.

Anforderungen der SIA 382/5

Die SIA 181 liefert nur Anforderungen für Mehrwohnungsanlagen. Die SIA 382/5 erklärt diese Anforderungen für alle Arten von Wohnungslüftungsanlagen als gültig. Ausgenommen sind Dunstabzugshauben. Für kleine Bad-, Dusch- und WC-Räume wurden die Anforderungen abgeschwächt. Die Anforderungen gelten bei Normallüftungsbetrieb, das heisst, bei Auslegebdingungen der Anlage. Wie in den Kapiteln 3 sowie 6 bis 8 ausgeführt wird, ist die Auslegung für den Tages- und für den Nachtbetrieb dieselbe. Die SIA 382/5 legt für verschiedene Raumarten Anforderungswerte gemäss Tabelle 11.1 fest. Das entspricht dem Messwert plus Pegelkorrekturen. In möblierten Räumen ist der effektive Schallpegel in der Regel tiefer, respektive muss tiefer sein als der Anforderungswert L_H .

Tabelle 11.1: Anforderungswert L_H für den Schutz vor Geräuschen von lüftungstechnischen Einrichtungen nach SIA 382/5.

Raumart	Anforderungswert L_H
Wohnzimmer, Schlafzimmer, Wohnküche	25 dB
Bad/Dusche/WC mit einem Volumen von $\geq 25 \text{ m}^3$, Küche ohne Wohnanteil	29 dB
Bad/Dusche/WC mit einem Volumen $< 25 \text{ m}^3$ bei Dauerbetrieb der Lüftungsanlage bei bedarfsgesteuertem Ein/Aus-Betrieb	38 dB 43 dB

11.2 Nachweis nach SIA 181

Nachweis mit Messung

Schallmessungen finden beispielsweise im Rahmen der Abnahme einer Anlage statt. Sie können aber auch zur Kontrolle bei Reklamationen oder nach Änderungen an der Anlage erforderlich sein. Die Anforderung ist erfüllt, wenn der Gesamtwert für Geräusche der Lüftungsanlage $L_{H,tot}$ den Anforderungswert L_H (Tabelle 11.1) nicht überschreitet. Als Formel ausgedrückt:

$$L_{H,tot} \leq L_H \quad (11.1)$$

Bei der einfachen Messmethode wird der Nachweis mit Formel 11.2 erbracht.

$$L_{H,tot} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \quad (11.2)$$

Bei der genauen Messmethode wird der Nachweis mit Formel 11.3 erbracht.

$$L_{H,tot} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 \quad (11.3)$$

Nachweis in der Projektierung

Zu den Aufgaben der Projektierung gehört neben der fachgerechten akustischen Auslegung auch der Nachweis, dass die Anforderungen erfüllt sind. Dies ist der Fall, wenn der Projektierungswert für Geräusche der Lüftungsanlage $L_{H,d}$ den Anforderungswert L_H (Tabelle 11.1) nicht überschreitet. Als Formel ausgedrückt:

$$L_{H,d} \leq L_H \quad (11.4)$$

Bei der einfachen Methode wird der Nachweis mit Formel 11.5 erbracht.

$$L_{H,d} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.5)$$

Bei der genauen Methode wird der Nachweis mit Formel 11.6 erbracht.

$$L_{H,d} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.6)$$

Die Beschreibung der Formelzeichen ist in Tabelle 11.2 zu finden.

Messgrößen und Rechenwerte

L_{Aeq}	A-bewerteter Mittelungspegel Entspricht dem Schalldruckpegel, der durch die Lüftungsanlage verursacht wird
$L_{nT,A,50-5000}$	A-bewerteter Standard-Schalldruckpegel; gemessen werden die (unbewerteten) Schalldruckpegel L und die Nachhallzeiten T in den Terzbändern von 50 Hz bis 5000 Hz. Pro Terzband wird dann der gemessene Schalldruckpegel nach Formel 11.7 auf den Standard-Schalldruckpegel L_{nT} umgerechnet, also auf 0,5 s Bezugsnachhallzeit standardisiert. $L_{nT} = L - 10 \cdot \lg(T/T_0) \quad (11.7)$ wobei L der Schalldruckpegel eines Terzbandes, T die Nachhallzeit eines Terzbandes und die Bezugsnachhallzeit T_0 von 0,5 s ist. Zum Schluss wird die A-Bewertung durchgeführt und die bewerteten Terzband-Werte werden energetisch (logarithmisch) addiert.
K_1	Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Raum; in Wohnungen wird damit in erster Linie die Möblierung beurteilt. Tabelle 11.3 zeigt die Beurteilungsskala mit der Beschreibung nach SIA 181 und Beispielen des Autors. Für die Projektierung wird ein Standardwert von -2 vorgeschlagen.
K_2	Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Tonhelligkeit; je nach hörbarem Tongehalt variiert dieser Wert zwischen 0 (nicht hörbar) bis 6 (stark hörbarer Tongehalt). In Anlehnung an die lärmrechtliche Beurteilung von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen des Cercle Bruit [6] wird für Lüftungen ein Standardwert von 2 vorgeschlagen. Das entspricht auch den Beispielen der SIA 382/5.
K_3	Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Impulshelligkeit; je nach hörbarem Impulsgehalt variiert dieser Wert zwischen 0 (nicht hörbar) bis 6 (stark hörbarer Impulsgehalt). Impulse treten nur bei mangelhaften Lüftungsanlagen auf, etwa infolge Unwucht des Ventilators oder von Klappergeschenen. Bei einwandfreien Anlagen wird ein Standardwert 0 eingesetzt.
K_p	Projektierungszuschlag; Zuschlag zum Prognosewert, mit dem Unsicherheiten, Abweichungen in der Ausführungsqualität sowie Produktionstoleranzen von Apparaten und Geräten berücksichtigt werden. In Anlehnung an die Beispiele in SIA 382/5 wird ein Standardwert von 2 vorgeschlagen.

Tabelle 11.2: Relevante Messgrößen und Rechenwerte für den Schall- schutznachweis.

Hinweise zu Messungen

Die SIA 181 verlangt, dass an Orten gemessen wird, an denen sich üblicherweise Personen aufhalten. Bei der einfachen Messmethode werden mindestens zwei Mikrofonpositionen verwendet, bei der genauen Messmethode mindestens fünf. Sowohl diese Anforderungen als auch die Art der Messmethode lassen einen Spielraum offen, der zu unterschiedlichen Resultaten führen kann. Deshalb empfiehlt sich, die Rahmenbedingungen für die Nachweisführung zu vereinbaren.

Ein Mikrofon sollte in der Mitte des Aufenthaltsbereichs (nach SIA 180), in 1,5 m Höhe aufgestellt werden. Ein zweites Mikrofon sollte am Rand des Aufenthaltsbereichs in 0,6 m (bei Bodendurchlässen) bis 1,5 m (bei Deckendurchlässen) möglichst nahe beim Luftdurchlass liegen. Allenfalls zusätzlich erforderliche Mikrofonpositionen ergeben sich durch weitere Luftdurchlässe und die Eckpunkte des Aufenthaltsbereichs. Beurteilt wird der energetische (logarithmische) Mittelwert.

In Wohn- und Schlafzimmern liegt die Differenz zwischen den Anlagengeräuschen und den A-bewerteten Hintergrundgeräuschen in der Praxis kaum bei den angestrebten 10 dB. Das Hintergrundgeräusch muss deshalb energetisch subtrahiert werden. Nach SIA 181 dürfen aber bei weniger als 4 dB Differenz maximal 2,2 dB vom Messwert arithmetisch subtrahiert werden.

Die einfache Messmethode kann von Lüftungsfachleuten mit einem soliden akustischen Basiswissen als Kontrollmessung durchgeführt werden. Die genaue Messmethode sollte nur von qualifizierten Bauakustikfachleuten angewandt werden.

11.3 Vergleich von Nachweismethoden

A) Akustiknachweis in der Projektierung

Für ein Zimmer wird der zulässige äquivalente Schallpegel L_{Aeq} mit der einfachen Methode ermittelt. Der Projektierungswert $L_{H,d}$ ist gleich dem Anforderungswert L_H , also

$$L_{H,d} \leq L_H = 25 \text{ dB} \quad (11.8)$$

Zur Bestimmung des zulässigen äquivalenten Schallpegels wird Formel 11.5 nach L_{Aeq} aufgelöst. Für die Berechnung werden die Standardwerte von Kapitel 11.2 verwendet.

$$\begin{aligned} L_{Aeq} &\leq L_{H,d} - K_1 - K_2 - K_3 - K_p \\ &= 25 \text{ dB} - (-2 \text{ dB}) - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} \\ &= 23 \text{ dB} \end{aligned} \quad (11.9)$$

Dieses Beispiel ist insofern allgemeingültig, als mit den Standardwerten der zulässige äquivalente Schallpegel in Wohn- und Schlafzimmern generell 23 dB beträgt. Der Schallleistungspegel $L_{W,A}$, den die Anlage dem Raum zuführen darf, hängt aber von weiteren Rahmenbedingungen, wie der Lage der Luftdurchlässe und der Raumgeometrie ab.

B) Nachweis mit Messung, einfache Methode

Nach Bauvollendung wird im Zimmer von Nachweis A eine Abnahmemessung durchgeführt. Da sie vor dem Bezug der Wohnung stattfindet, ist das Zimmer unmöbliert. Nach Tabelle 11.3 ist $K_1 = -4$. K_2 und K_3 entsprechen den Projektierungswerten.

Beschreibung nach SIA 181 und Beispiel	Pegelkorrektur K_1 in dB
Räume mit stark absorbierender Ausstattung Beispielsweise ein stark möbliertes Zimmer mit viel Wohn- textilien wie Stoffüberzügen, Vorhängen und Teppichen	0
Räume mit gering absorbierender Ausstattung Beispielsweise ein möbliertes Zimmer mit heute üblicher Möblierung und Wohntextilien	-2
Räume ohne absorbierende Ausstattung Beispielsweise ein unmöbliertes Zimmer	-4

Tabelle 11.3: Pegelkorrektur K_1 zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Raum.

Der Zuluftdurchlass befindet sich über der Zimmertür, 2,3 m über Boden. Bild 11.1 zeigt den Grundriss des Schlafzimmers und die beiden vereinbarten Mikrofonpositionen M1 und M2, die sich 1,5 m über Boden befinden. Folgende Werte werden gemessen:

■ Hintergrundgeräusch an beiden Positionen $L_{A, bg} = 24,2$ dB

■ Messwert äquivalenter Schallpegel Position M1 $L_{Aeq, Te1} = 28,4$ dB

■ Messwert äquivalenter Schallpegel Position M2 $L_{Aeq, Te2} = 27,7$ dB

Im ersten Schritt wird das Hintergrundgeräusch subtrahiert. Der äquivalente Schallpegel der Lüftungsanlage L_{Aeq} wird nach VDI 2081 mit Formel 11.10 berechnet:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{Aeq, Te}} - 10^{0,1 \cdot L_{A, bg}}) \quad (11.10)$$

wobei der $L_{Aeq, Te}$ der Messwert und $L_{A, bg}$ das Hintergrundgeräusch sind.

Der äquivalente Schallpegel L_{Aeq} bei der Messposition M1 ist somit:

$$L_{Aeq, 1} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot 28,4} - 10^{0,1 \cdot 24,2}) = 26,3$$

Bei der Position M2 beträgt die Differenz zum Hintergrundgeräusch weniger als 4 dB. Gemäß SIA 181 dürfen deshalb nur 2,2 dB vom Messwert abgezogen werden. Damit ist:

$$L_{Aeq, 2} = 27,7 \text{ dB} - 2,2 \text{ dB} = 25,5 \text{ dB}$$

Der energetische Mittelwert wird nach VDI 2081 mit Formel 11.11 berechnet:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeq, i}} \right] \quad (11.11)$$

Mit den beiden äquivalenten Schallpegeln $L_{Aeq, 1}$ und $L_{Aeq, 2}$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} L_{Aeq} &= 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot L_{Aeq, 1}} + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq, 2}}) \right] \\ &= 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot 26,3} + 10^{0,1 \cdot 25,5}) \right] \\ &= 25,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

Mit Formel 11.2 ist der Gesamtwert für die Geräusche der Lüftungsanlage:

$$\begin{aligned} L_{H, tot} &= L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \\ &= 25,9 \text{ dB} + (-4 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\ &= 23,9, \text{ gerundet } 24 \text{ dB} \end{aligned}$$

In Formel 11.1 eingesetzt:

$$L_{H, tot} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Die Anforderung ist damit erfüllt.

C) Schallnachweis mit Messung, genaue Methode

Für das gleiche Zimmer mit dem gleichen Schallpegel wie in Nachweis B wird der Nachweis mit der genauen Methode geführt. Tabelle 11.4 fasst die Messung und Berechnung in einem Terzband-Bereich von 100 bis 1000 Hz zusammen. Tieffere Frequenzen als 100 Hz und höhere als 1000 Hz beeinflussen das Ergebnis nur marginal und sind daher nicht dargestellt. Die Zeile mit dem Schallpegel L entspricht den korrigierten Messwerten. Dabei ist das Hintergrundgeräusch bereits abgezogen, und die Messwerte der fünf Mikrofonpositionen sind gemittelt (analog Nachweis B). Die Nachhallzeit ist hoch, da wie in Nachweis B von einem unmöblierten Zimmer mit schallharten Oberflächen ausgegangen wird.

Mit Formel 11.3 erreicht der Gesamtwert für das Geräusch der Lüftungsanlage:

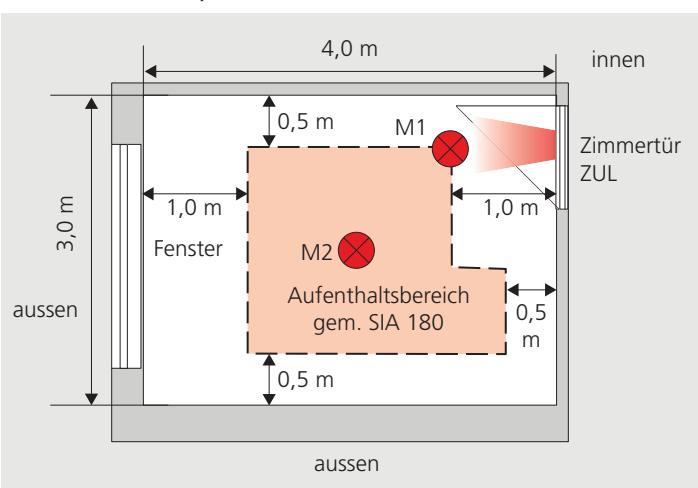
$$\begin{aligned} L_{H, tot} &= L_{nT, A, 50-5000} + K_2 + K_3 \\ &= 23 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\ &= 25 \text{ dB} \end{aligned}$$

In Formel 11.1 eingesetzt:

$$L_{H, tot} = 25 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Die Anforderung ist damit erfüllt.

Bild 11.1: Grundriss des Zimmers aus Nachweis B mit der Lage des Zuluftdurchlasses (ZUL) und den Mikrofonpositionen (M1 und M2).



Folgerungen aus dem Vergleich

Die Differenz zwischen der einfachen und der genauen Methode liegt bei den Beispielen im Bereich von 1 bis 2 dB. Es muss angenommen werden, dass die Pegelkorrektur K_1 für Wohnbauten zu grosszügig ist, respektive dass bei möblierten Zimmern von (zu) tiefen Nachhallzeiten ausgegangen wird.

Für die Projektierung ist die genaue Methode zu aufwändig und zudem sind die akustischen Raumdaten noch kaum bekannt. Hier ist die einfache Methode angemessen. Die Auslegung und Berechnung sollen aber konservativ angegangen werden. Es empfiehlt sich, mit einem Planungswert (= Anforderungswert $L_{H,d}$) von 23 dB zu arbeiten.

11.4 Schallausbreitung in Räumen

Die Raumdämpfung entspricht der Umrechnung des Schallleistungspegels (der von der Lüftungsanlage dem Raum zugeführt wird) auf den Schalldruckpegel an einer bestimmten Position im Raum. Als Analogie dazu kann eine Lampe betrachtet werden, die in einem Raum aufgestellt ist: Die Lampe gibt eine bestimmte Lichtleistung ab – wie hell es aber auf einem Tisch ist, hängt von den Raumeigenschaften und von der Entfernung zur Lampe ab. Die Berechnung der Raumdämpfung D_R nach VDI 2081 ist in Formel 11.12 dargestellt. Ein positiver Wert bedeutet eine Pegelsenkung im Raum.

$$D_R = -10 \lg \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} + \frac{24,5 \cdot T}{V} \right) \quad (11.12)$$

Tabelle 11.4: Mess- und Rechenwerte aus Nachweis C

mit

- Q Richtungsfaktor gemäss Tabelle 11.5
- d Abstand zwischen dem Luftdurchlass und der Position im Raum in m
- V Raumvolumen in m^3
- T Nachhallzeit in s

Die Nachhallzeit von bewohnten Zimmern kann kaum berechnet werden, weil sie von den Baumaterialien, von Möbeln und Textilien deutlich beeinflusst wird. Für akustische Berechnungen werden bei neuen Wohnungen folgende Nachhallzeit empfohlen:

- Schlafzimmer 0,8 s
 - Wohnzimmer, Wohnküchen: 1,0 s

In der Fachliteratur finden sich für Wohn-
respektive Schlafzimmer teilweise tiefere
Nachhallzeiten, beispielsweise 0,5 s. In
neuen Wohnräumen und Zimmern sind
oft nur schwach absorbierende Oberflä-
chen vorhanden, was zu längeren Nach-
hallzeiten als etwa bei dreissigjährigen
Wohnungen führt.

Aus dem Rechenbeispiel 11.1 können folgende allgemeine Schlüsse gezogen werden: In Schlafzimmern liegt die Raumdämpfung oft zwischen 0 und 2 dB. In Wohnzimmern sind es wegen des grösseren Volumens typischerweise 1 bis 3 dB. Gerade in den akustisch sensiblen Schlafzimmern ist der Einfluss der Raumdämpfung klein. Es spielt keine grosse Rolle, wo die Luftdurchlässe platziert werden. Die Platzierung in der Mitte der Raumkante

Tabelle 11.5: Richtungsfaktor Q für verschiedene räumliche Lagen von Luftdurchlässen

Lage des Luftdurchlass	Abstrahlung	Richtungsfaktor Q
in der Raummitte	kugelförmig	1
in einer Wandmitte	halbkugelförmig	2
in der Mitte einer Raumkante	viertelkugelförmig	4
in einer Raumecke	achtelkugelförmig	8

nur ist geringfügig besser (rund 0,5 bis 1,0 dB) als die Platzierung der Raumecke.

11.5 Hinweise zu Komponenten

Luftdurchlässe und Mündungsreflexion

Zuluft- und Abluftdurchlässe sollen wegen der Strömungsgeräusche grosszügig dimensioniert werden. Bei Luftdurchlässen geben die meisten Lieferanten die Schalldämpfung (das sogenannte Einfügungsdämpfungsmass) an. Falls ein Produkt eingesetzt wird, von dem keine Herstellerangaben verfügbar sind, sollte in der Berechnung keine Schalldämpfung eingesetzt werden, also Einfügungsdämpfungsmass 0.

Zum Schallleistungspegel von Luftdurchlässen hingegen sind leider nur von wenigen Lieferanten genaue Daten erhältlich. Manchmal findet man vage Angaben wie «Schallleistungspegel < 20 dB(A)». In solchen Fällen wird empfohlen, die Werte nach VDI 2081 zu berechnen. In Tabelle 11.7, Pos. 14, sind Werte für einen Luftdurchlass mit 100 mm Durchmesser (oder gleiche Fläche) und 10 Pa Druckab-

fall aufgeführt, was für Komfortlüftungen als typisch erachtet werden kann.

An Raumeintritt und -austritt entsteht die sogenannte Mündungsreflexion, die den Schallpegel aus der Luftleitung dämpft. Bei vielen Luftdurchlässen ist der Effekt bereits im ausgewiesenen Einfügungsdämpfungsmass des Lieferanten enthalten. Falls nicht, kann die Mündungsreflexion nach VDI 2081 berechnet werden.

Luftleitungen und Armaturen

Sofern die Luftgeschwindigkeit bei max. 4 m/s liegt, erzeugen Luftleitungen und Formstücke bis zu rund 200 mm Durchmesser bei korrekter Installation keine wahrnehmbaren Geräusche. Bei mangelhafter Verarbeitung, wie etwa vorstehenden Schrauben, können aber Geräusche entstehen.

Bei runden Stahlblechrohren ist die Pegelsenkung praktisch vernachlässigbar. Bei rechteckigen und ovalen Leitungen sowie bei Kunststoffrohren kann eine Pegelsenkung entsprechend den Lieferantenangaben berücksichtigt werden.

Auch Verteilkästen können Schallpegel deutlich reduzieren. Die Wirkung ist insbesondere dann hoch, wenn schalldämpf-

Rechenbeispiel 11.1: Raumdämpfung bei Lüftungsgeräuschen

Für das Zimmer aus Nachweis B in 11.3 wird die Raumdämpfung der Lüftungsgeräusche bei den Positionen M1 und M2 bestimmt. Die lichte Raumhöhe des Zimmers beträgt 2,6 m. Für die Nachhallzeit werden 0,8 s angenommen.

Hinsichtlich des Zuluftdurchlasses ist nicht eindeutig, ob von einer Lage in der Mitte der Raumkante oder in der Raumecke ausgegangen werden soll.

Der reale Wert dürfte dazwischen liegen, weshalb beide Fälle berechnet werden. Tabelle 11.6 fasst die Berechnungen nach Formel 11.12 zusammen.

Bei der Position M1 liegt die Raumdämpfung zwischen 0 und 1 dB und bei der Position M2 zwischen 1 und 2 dB. Für die Berechnung und den Nachweis werden die Mittelwerte verwendet, d. h. 0,5 dB für Position M1 und 1,5 dB für Position M2.

Annahme zur Lage des Zuluft- durchlas- ses	Position im Raum	Abstand	Richtungs- faktor Q	Boden- fläche	Lichte Raumhöhe	Raum- volumen	Nachhall- zeit	Raum- dämp- fung
				A_R	H	V	T	D_R
				m^2	m	m^3	s	dB
Mitte Raumkante	M1	1,3	4	12	2,6	31,2	0,8	0,8
Raumecke	M1	1,3	8	12	2,6	31,2	0,8	-0,1
Mitte Raumkante	M2	2,4	4	12	2,6	31,2	0,8	1,6
Raumecke	M2	2,4	8	12	2,6	31,2	0,8	1,3

Tabelle 11.6:
Beispiel für die
Berechnung der
Raumdämpfung
im Zimmer gemäss
Bild 11.1

fende Auskleidungen oder Elemente eingebaut sind. Solche Elemente müssen sich zu Reinigungszwecken aber ausbauen lassen. Bei Regelarmaturen hängt der Schallpegel von der Einstellung ab und muss vom Lieferanten deklariert werden.

Ventilatoren

Bei kleinen Lüftungsanlagen sind meistens die Ventilatoren die kritischen Schallquellen. Ihr Schallleistungspegel hängt massgebend von der Drehzahl ab. Kleine Ventilatoren erzeugen zwischen 125 und 2000 Hz die höchsten Schallpegel.

Weil bei gegebenem Volumenstrom die Drehzahl mit zunehmendem Förderdruck steigt, reduzieren tiefe Druckverluste nicht nur den Stromverbrauch, sondern auch den Schallpegel. Analog gilt: Ein überdimensionierter Volumenstrom macht die Anlage nicht nur lauter, sondern verursacht im Winter auch noch tiefe Raumluftfeuchten.

Schalldämpfer

Die Dämpfung in der Luftverteilung und die A-Bewertung führen dazu, dass vor allem im Bereich von 125 bis 500 Hz störende Geräusche verbleiben, die von Schalldämpfern absorbiert werden müssen. Schalldämpfer müssen in erster Linie auf das Spektrum des Lüftungsgeräts angepasst sein. Deshalb empfiehlt es sich, die Modelle zu wählen, die der Lieferant als Gerätezubehör anbietet, etwa als Schalldämpferbox.

Rohrschalldämpfer vermögen Ventilatorgeräusche oft nicht ausreichend zu dämpfen. Sie leisten aber gute Dienste für die Telefonieschalldämpfung.

Flexible Schalldämpfer und Schalldämm-schlüche haben innen keine glatte Oberfläche. Zudem sind sie oft nicht sehr stabil, was zu Beschädigungen und Knicken (hoher Druckverlust) führen kann. Hinsichtlich Robustheit und Hygiene sollten solche Produkte deshalb höchsten für kurze Leitungsstücke (höchstens 0,5 m) eingesetzt werden und leicht austauschbar sein. Infrage kommen sie beispielsweise für die Körperschallentkopplung.

Akustische Berechnung von Anlagen

Die hier vorgestellten Berechnungen gelten für typische Wohnungslüftungsanlagen mit bis zu 1000 m³/h Volumenstrom. Für grössere und komplexe Anlagen sowie Anwendungen ausserhalb des Wohnbereichs wird auf die Richtlinie VDI 2081 verwiesen.

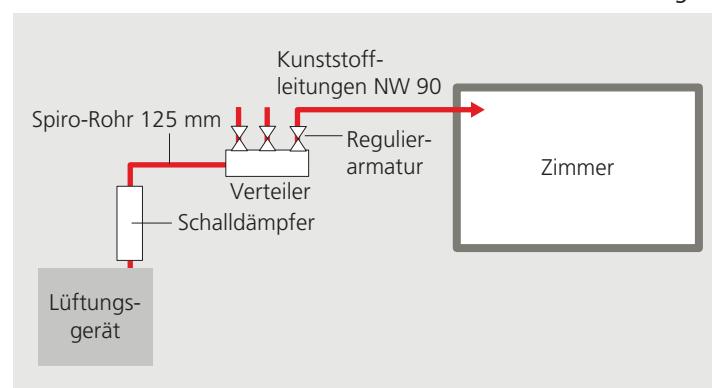
Für die akustische Berechnung von Komfortlüftungen steht das frei verfügbare Online-Instrument «KWL-Tool» [7] zur Verfügung. Damit wurde exemplarisch die Beispielanlage aus Bild 11.2 berechnet. Die Daten der Anlage sind:

- Luftvolumenstrom: Drei Zimmer à 30 m³/h = 90 m³/h
- Externer Druckverlust: 70 Pa
- Leitung vor dem Luftverteilerkasten: Spiro-Rohr, Nennweite 125 mm, Länge 1 m plus zwei Bögen
- Luftverteiler: ungedämmter Kasten mit drei Abgängen
- Regulierarmatur zum Einstellen des Volumenstroms beim Abgang aus dem Verteiler
- Leitungen nach dem Verteiler: flexible Kunststoffleitung NW 90, Länge 4 m
- Zimmer gemäss Beispiel in Kapitel 11.5 (s. auch Bild 11.1)

Die Daten von Lüftungsgerät, Schalldämpfer, Regulierarmatur, Kunststoffleitung und Zuluftdurchlass lehnen sich an reale Lieferantenangaben an. Tabelle 11.7 fasst die Daten und Resultate zusammen. Die Berechnung gilt für das Oktavband von 63 Hz bis 4000 Hz. Erst am Schluss wird die A-Bewertung durchgeführt.

Die Strömungsgeräusche von Schalldämpfer, Verteiler und Luftleitungen werden

Bild 11.2: Beispieldiagramm für die Schallberechnung.



vernachlässigt. Der Schallpegel am Austritt dieser Komponenten entspricht dem Schallpegel beim Eintritt minus der Schalldämpfung der Komponente.

Die Regulierarmatur und der Zuluftdurchlass hingegen verursachen Strömungsgeräusche. Sie werden wie folgt berechnet:

- Als Zwischenwert wird vom eintretenden Schallleistungspegel die Schalldämpfung der Komponente abgezogen.
- Der Schallleistungspegel des Zwischenwertes wird mit dem Schallleistungspegel der Komponente logarithmisch addiert. Dies entspricht dem Schallleistungspegel am Austritt der Komponente.

Anhand der Resultate aus Tabelle 11.7 kann nun kontrolliert werden, ob die Anforderung erfüllt ist. Der äquivalente Schallpegel an einer Position im Raum ist:

$$L_{Aeq,i} = L_{W,A} - D_{R,i} \quad (11.13)$$

wobei im Beispiel $L_{W,A}$ der Schallleistungspegel aus Tabelle 11.7, Pos. 18, und $D_{R,i}$ die Raumdämpfung an der Position i gemäss in Kap. 11.5 ist.

Für die Positionen M1 (siehe Bild 11.1) ergibt sich

$$L_{Aeq,1} = 22,4 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} = 21,9 \text{ dB}$$

und für M2

$$L_{Aeq,2} = 22,4 \text{ dB} - 1,5 \text{ dB} = 20,9 \text{ dB}.$$

Der energetische Mittelwert gemäss Formel 11.11 ist $L_{Aeq} = 21,4 \text{ dB}$.

Mit Formel 11.5 und den Standardwerten von Kap. 11.2 wird der Projektierungswert für die Geräusche der Lüftungsanlage zu

$$L_{H,d} = 21,4 \text{ dB} + (-2 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 2 \text{ dB} = 23,4 \text{ dB}.$$

Tabelle 11.7: Beispiel für die Berechnung des Schallleistungspegels einer Lüftungsanlage.

Pos.	Komponente/Beschreibung	Quelle ¹⁾	Symbol	Einheit	Oktavband-Mittenfrequenz in Hz						
					63	125	250	500	1000	2000	4000
1	Schallleistungspegel Zuluft Lüftungsgerät	Lieferant	L_{W1}	dB	60,1	60,1	59,8	53,8	47,6	44,6	36,9
2	Schalldämpfer	Lieferant	D_2	dB	-8,0	-12,0	-22,0	-35,0	-40,0	-42,0	-38,0
3	Dämpfung Bögen, $d = 125$	VDI	D_3	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,0	-4,0	-6,0
4	Dämpfung der Leitung bis zum Verteiler, $d = 125 \text{ mm}$, Länge 1 m	VDI	D_4	dB	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
5	Dämpfung Verteiler, 3 Abgänge	VDI	D_5	dB	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
6	Dämpfung Regulierarmatur	Lieferant	D_6	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Schallleistungspegel nach der Dämpfung durch die Regulierarmatur (Summe Pos. 1 bis 6)		L_{W7}	dB	47,2	43,2	32,9	13,7	0,5	-6,5	-12,2
8	Schallleistungspegel Regulierarmatur	Lieferant	L_{W8}	dB	18,0	24,0	20,0	17,0	13,0	7,0	2,0
9	Schallleistungspegel beim Austritt der Regulierarmatur (log. Addition von Pos. 7 und 8)		L_{W9}	dB	47,2	43,3	33,1	18,7	13,2	7,2	2,2
10	Dämpfung Kunststoffleitung nach dem Verteiler, NW 90, 4 m	Lieferant	D_{10}	dB	-0,8	-1,6	-2,0	-1,2	-1,2	-1,6	-2,8
11	Dämpfung Zuluftdurchlass	Lieferant	D_{11}	dB	-8,0	-7,0	-10,0	-9,0	-14,0	-14,0	-13,0
12	Mündungsreflexion (gemäss Lieferant in Pos. 11 enthalten)	Lieferant	D_{12}	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Schallleistungspegel nach Zuluftdurchlass (Summe Pos. 9 bis 12)		L_{W13}	dB	38,4	34,7	21,1	8,5	-2,0	-8,4	-13,6
14	Schallleistungspegel Zuluftdurchlass	VDI	L_{W14}	dB	22,0	22,0	22,0	17,0	9,0	0,0	0,0
15	Schallleistungspegel beim Raumeintritt (log. Addition von Pos. 13 und 14)		L_{W15}	dB	38,5	34,9	24,6	17,6	9,3	0,6	0,2
16	A-Bewertung	VDI	ΔL_A	dB	-26,1	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
17	Summe Pos. 15 und 16			dB	12,4	18,9	16,0	14,4	9,3	1,8	1,2
18	Schallleistungspegel beim Raumeintritt, A-bewertet ²⁾		$L_{W,A}$	dB					22,4		

1) Lieferant = Angabe des Lieferanten; VDI = berechnet resp. abgeschätzt nach VDI 2081, Blatt 1

2) Erhält man durch logarithmische Addition der Werte aus Pos. 17

Für den Nachweis wird aufgerundet. Nach Gleichung 11.2 ist damit:

$$L_{H,d} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Die Anforderung ist somit erfüllt. Wenn in einem Raum mehrere Luftdurchlässe vorhanden sind, werden die Schallpegel energetisch addiert. Bei zwei Luftdurchlässen mit identischem Schallpegel nimmt der äquivalente Schallpegel L_{Aeq} und damit auch der Projektierungswert $L_{H,d}$ um 3 dB zu.

Luftschallschutz zwischen Räumen

Für den Schallschutz zwischen Wohnungen gilt SIA 181. Bezuglich des Schallschutzes zwischen einzelnen Räumen einer Wohnung fordert SIA 382/5 in Ziff. 2.2.7.8:

Der Luftschallschutz D_i von Trennbauteilen zwischen Räumen innerhalb von Nutzungseinheiten darf durch die Lüftungsanlage nicht messbar (gerundet 1 dB) geschwächt werden. Liegen keine Anforderungen für den Luftschallschutz D_i vor, wird ein Minimalwert von 40 dB empfohlen. Diese Empfehlung gilt für Räume ohne Einfluss von Türen, offenen Treppen und Überström-Luftdurchlässen.

Der rechnerische Nachweis dieser Anforderung lässt sich nach VDI 2081 führen. Dabei gilt es zu beachten, dass Luftdurchlässe beim Schalleintritt in den Raum und beim Schallaustritt aus dem Raum ein unterschiedliches Einfügungsdämpfungsmaß aufweisen können.

Bei Mehrwohnungsanlagen empfiehlt es sich unbedingt, zwischen den Wohnungen Telefonieschalldämpfer einzusetzen.

Tabelle 11.8 zeigt Richtwerte für Massnahmen, zum Erfüllen der Anforderungen von SIA 382/5. Dabei muss nur eine der aufgeführten Massnahmen realisiert werden. Bei der Schallübertragung zwischen Räumen muss neben der Zuluft, auch die Abluft beachtet werden.

11.6 Schallschutz gegen aussen

Im Allgemeinen sind die Schallemissionen von Wohnungslüftungsanlagen gegen aussen nicht problematisch. Bei Mehrwohnungsanlagen sowie bei benachbarten Fassaden von MFH mit mehreren Außen- und Fortluftdurchlässen von Einzelwohnungsanlagen sollten aber Lärmschutzspezialisten zugezogen werden.

Neben der Lärmschutzverordnung LSV [8] gilt es auch, das Vorsorgeprinzip gemäss dem Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) [9] Art. 11 Abs. 2 zu berücksichtigen. Es fordert:

«Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.»

Das lässt sich so interpretieren: Es ist technisch verhältnismässig und wirtschaftlich zumutbar, in Außen- und Fortluftleitungen Schalldämpfer einzubauen, wenn damit der Schallpegel etwa beim nächstgelegenen Fenster oder beim Gartensitzplatz des Nachbars hörbar reduziert wird. Neben den Schallemissionen der Außen- und Fortluftdurchlässe spielen dabei auch die Umgebungsgeräusche eine Rolle.

Massnahme	Erforderliches Einfügungsdämpfungsmaß bei 500 Hz und 1000 Hz, wenn nur eine Massnahme realisiert wird, für	
	Sternverteilung mit flexiblen Kunststoffleitungen	Baumverteilung mit Spiro-Rohren bis zu den Zimmern
Luftdurchlass	12 dB pro Durchlass	15 dB pro Durchlass
Schallgedämmter Verteilkasten	25 dB zwischen Raumabgängen	–
Telefonieschalldämpfer vor jedem Luftdurchlass	10 dB pro Schalldämpfer	12 dB pro Schalldämpfer

Tabelle 11.8:
Richtwerte für das erforderliche Einfügungsdämpfungsmaß von einzelnen Massnahmen.

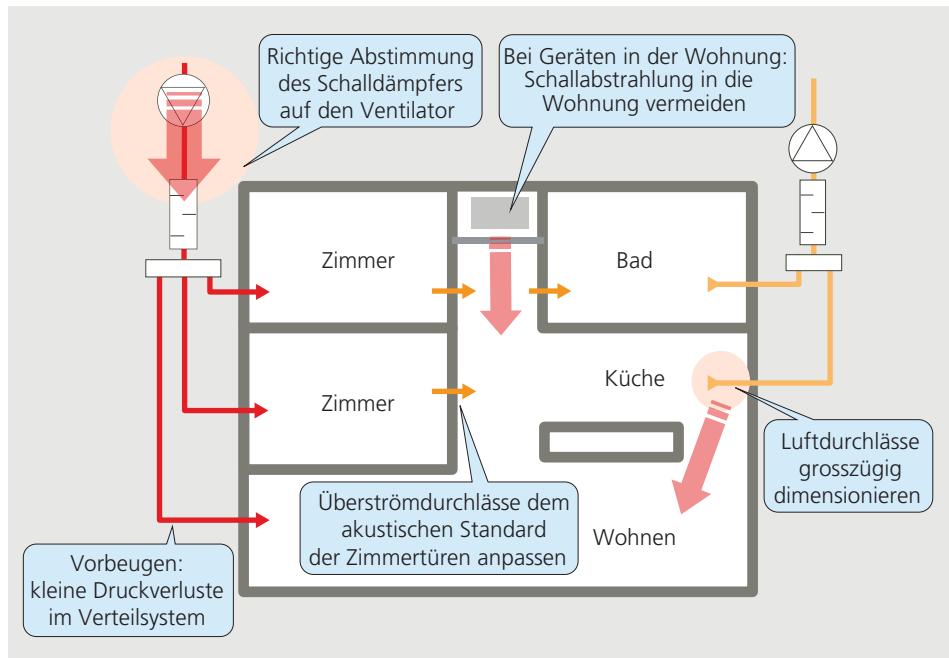
11.7 Merkpunkte für einen guten Schallschutz

Für einen guten Schallschutz bei Wohnungslüftungen sind die folgenden Punkte wesentlich (siehe auch Bild 11.3):

- Kleine Druckverluste sorgen nicht nur für geringen Stromverbrauch der Ventilatoren, sondern auch für einen tiefen Schallpegel der Anlage.
- Die Schalldämpfer müssen auf das Lüftungsgerät abgestimmt sein.
- Luftdurchlässe müssen grosszügig dimensioniert werden, damit sie möglichst wenig Strömungsgeräusche verursachen.
- Lüftungsgeräte sollten nicht im Wohnbereich aufgestellt werden. Innerhalb der Wohnung kommen höchstens Abstell- und Hauswirtschaftsraum infrage, wobei die Wände und Türen solcher Räume ein hohes Schalldämmmass aufweisen müssen.
- Überströmdurchlässe werden dem akustischen Standard der Zimmertüren angepasst.
- Für eine gute Telefonieschalldämpfung wird eine Massnahme aus Tabelle 11.8 gewählt.

11.8 Literatur

- [1] VDI 2081, Blatt 1: 2019-03 Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung. VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
- [2] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung, Faktor Verlag, Zürich, 2006
- [3] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2016
- [4] SIA 181: 2020 Schallschutz im Hochbau
- [5] SIA 382/5: 2021 Mechanische Lüftung in Wohngebäuden
- [6] Cercle Bruit, Vollzugshilfe 6.20: Lärmrechtliche Beurteilung von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen. Vereinigung Kantonaler Lärmschutzfachleute, 2020. Download via www.cerclebruit.ch
- [7] KWL-Tool: www.kwl-tool.ch, Enerhaus Web Services GmbH, Zuchwil <https://enerweb.ch/support-kwl.html>
- [8] Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV; SR 814.41)
- [9] Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01)



Übergabe und Betrieb

12.1 Übergabe

Mit der Übergabe geht die Anlage in den Besitz und die Verantwortung des Auftraggebers, der Auftraggeberin über. Damit beginnen die Rüge- und Verjährungsfristen zu laufen. Die Übergabe besteht aus fünf Teilen:

- Vollständigkeitsprüfung
- Funktionsprüfung
- Funktionsmessungen
- Hygiene-Erstinspektion
- Dokumentation der Anlage

Die Übergabe wird protokolliert. Bei Einzelwohnungsanlagen eignet sich das kurze Formular aus dem Dokument «Leistungsgarantie Haustechnik» von Minergie, Suisse tec und EnergieSchweiz [1]. Bei Mehrwohnungsanlagen kommt das ausführliche Formular SWKI 96-5 [2] in Frage.

Vollständigkeitsprüfung

Dies Vollständigkeitsprüfung umfasst:

- Die Vollständigkeit und die vereinbarte Qualität des bestellten Materials
- Die technisch korrekte und vorschriften-gemäße Installation
- Die Zugänglichkeit für das Betreiben und Instandhalten der Anlage
- Die Sauberkeit

Zur Vollständigkeit gehört unter anderem, dass die Lüftungsanlage in sauberem Zustand ist. Eine verschmutzte Anlage ist nicht betriebsbereit. Allenfalls muss eine Reinigung zu Lasten des Erstellers verlangt werden.

Falls die Filter während der Inbetriebsetzung belastet wurden, müssen sie anlässlich der Sauberkeitskontrolle ersetzt werden. Nach diesem Filterwechsel sollte pro Gerät immer noch mindestens ein Satz Ersatzfilter auf der Anlage vorhanden sind. Dies betrifft alle Arten von Filtern, also auch solche für alle ALD, Einzelraumlüftungsgeräte, Überströmdurchlässe und Abluftdurchlässe. Um klare Verhältnisse zu schaffen, sollten die allenfalls erforderliche

Reinigung und die Anzahl Ersatzfilter im Werkvertrag geregelt werden.

12.2 Funktionsprüfung und -messungen

Mit der Funktionsprüfung wird kontrolliert, ob die Anlage korrekt in Betrieb genommen wurde. Weitere Funktionsprüfungen können zu beliebigen Zeitpunkten stattfinden, beispielsweise nach einer Revision oder anlässlich einer Handänderung. Ohne anderslautende Vereinbarung soll die Funktionsprüfung bei sauberen Filtern durchgeführt werden.

Die korrekte Strömungsrichtung an allen Luftdurchlässen wird mit einem Plausibilitätstest, etwa mit Rauchrörchen, und dem Check des Inbetriebnahmeprotokolls überprüft. Die Messung und Einregulierung von sämtlichen Zuluft- und Abluftdurchlässen muss tabellarisch protokolliert werden. Das resultierende Dokument ist Bestandteil des Inbetriebnahmeprotokolls. Es sind verschiedene Fälle von verstopften Luftleitungen oder vertauschten Zuluft- und Abluftleitungen bekannt, die wegen unsorgfältiger Funktionsprüfung erst zu spät erkannt wurden.

Bei der Funktionsprüfung wird auch die Steuerung/Regelung getestet. Dabei werden die Funktionen der Schalterstellungen, Zeitprogramme und Fernbedienungen überprüft. Weiter werden die Sicherheitsfunktionen kontrolliert.

Toleranzen und Messunsicherheiten

Mit den Funktionsmessungen soll nachgewiesen werden, dass die vereinbarten Werte erreicht werden. Dabei muss zwischen der Messunsicherheit und der Toleranz vom Sollwert unterschieden werden:

- Die **Messunsicherheit** sagt aus, wie genau ein verwendetes Messgerät respektive Messverfahren ist. Deshalb muss auf dem Inbetriebsetzungsprotokoll beides beschrieben sein. Die Messunsicherheit wird gemäss den internationalen Standards mit

einem Vertrauensintervall von 95 % angegeben.

■ Die **Toleranz des Sollwerts** beschreibt, wie weit ein Messwert vom Sollwert abweichen darf. Der am Messgerät abgelesene Wert, respektive der aus der Ablesung berechnete Wert, muss innerhalb der Toleranz liegen.

Tabelle 12.1 liefert Vorschläge für zulässige Messunsicherheiten und Toleranzen. Bezüglich Art der Messgröße werden drei Arten unterschieden:

■ Bei einem **Bereichswert** darf die Toleranz weder unter- noch überschritten werden.

■ Ein **Minimalwert** darf höchstens um die angegebene Toleranz unterschritten werden. Ein höherer Wert ist immer zulässig.

■ Ein **Maximalwert** darf höchstens um die angegebene Toleranz überschritten werden. Ein tieferer Wert ist immer zulässig.

Tabelle 12.1: Vorschlag für zulässige Messunsicherheiten und Toleranzen von Sollwerten.

Um einen Messwert beurteilen zu können, müssen die Rahmenbedingungen bekannt sein. Diese werden durch **Referenzwerte** definiert. Wenn zum Beispiel die Temperatureffizienz der WRG beurteilt werden soll, müssen neben der Zulufttemperatur auch die Abluft- und Aussenlufttemperatur gemessen werden. Da aber die Wohnungslüftung beispielsweise die Außentemperatur nicht beeinflussen kann, werden bei Referenzwerten keine Anforderungen an die Toleranz gestellt, wohl aber an die Messunsicherheit.

Es muss vereinbart werden, wie die Toleranz und Messunsicherheit zu handhaben sind. Eine angemessene Anforderung ist, dass der Messwert innerhalb der Toleranz liegen und gleichzeitig die angegebene Messunsicherheit eingehalten werden muss. Liegt der Messwert ausserhalb der Toleranz, sollte das Ergebnis nicht akzeptiert werden. Das heisst insbesondere,

Messgröße	Art der Messgröße	Zulässige erweiterte Messunsicherheit ¹⁾	Zulässige Toleranz vom Sollwert
Luftvolumenstrom			
• Eines Raumes	Bereichswert	± (2,5 m ³ /h + 5 % vom Messwert)	± (3,0 m ³ /h + 6 % vom Messwert)
• Einer gesamten Wohnung und einer gesamten Anlage	Bereichswert	± 10 %	± 10 %
Lufttemperatur			
• Anlage nur mit WRG: Zuluftaustritt am Gerät ²⁾	Minimalwert	± 0,5 K	-1,0 K
• Anlage mit Nachwärmer: Zuluftaustritt am Gerät	Bereichswert	± 0,5 K	± 1,0 K
• Übrige Lufttemperaturen	Referenzwert	± 0,5 K	-
Relative Luftfeuchte			
• Raumluft	Bereichswert	± 5 % r. F.	⁴⁾
• Zuluft bei Anlagen mit Feuchterückgewinnung ³⁾	Minimalwert	± 5 % r. F.	-15 %
• Übrige Luftfeuchten	Referenzwert	± 5 % r. F.	-
Mittlere Raumluftgeschwindigkeit	Maximalwert	± 0,05 m/s	+ 15 %
Druckdifferenz			
• Zulässiger Unterdruck in Räumen ⁵⁾	Maximalwert	± 1 Pa	+ 0 %
• Druckverlust von Luftverteilungen und Komponenten	Maximalwert	± 3 Pa	+ 10 %
• Externer Förderdruck Lüftungsgerät	Referenzwert	± 3 Pa	-
Elektrische Leistungsaufnahme Ventilator	Maximalwert	Klasse 1 ⁶⁾	+ 10 %
Energieäquivalenter Schallpegel und Beurteilungspegel	Maximalwert	Klasse 1 ⁷⁾	+ 0 dB ⁸⁾

1) Bei einem Vertrauensintervall von 95 %

2) Bei Winterbedingungen; ohne Kondensation, Vereisungsschutzfunktion der WRG ist nicht aktiv. Der Sollwert wird anhand der Herstellerangaben zum Lüftungsgerät und der Referenzwerte bestimmt.

3) Nur bei Enthalpieübertragern; Bedingungen wie bei 2)

4) Siehe Kapitel 1.5

5) Der Unterdruck ist als positiver Wert definiert. Wenn der Druck im Raum z. B. 4 Pa tiefer ist als der Druck im Freien, beträgt der Unterdruck + 4 Pa.

6) nach SN EN 12599, Tabelle D.7

7) gemäss SIA 181:2020, A.4.1

8) gemäss SIA 181:2020, Ziff. 2.1.2

dass die Toleranz und die Messunsicherheit nicht addiert werden dürfen.

Die Toleranzen und Messunsicherheiten von Berechnungsgrößen wie die Temperaturreffizienz einer WRG oder die spezifische Geräteleistung (SPI) müssen separat vereinbart werden. Die FprEN 308:2021 legt unter anderem verschiedene Präzisionsklassen fest.

Luftvolumenströme

Die wichtigste Messung bei Wohnungslüftungsanlagen betrifft den Luftvolumenstrom bei Normalbetrieb. Dabei müssen die Werte in allen Zimmern und bei allen Durchlässen gemessen werden. Die geläufigen Messverfahren sind:

Anemometer: Bei Leitungsquerschnitten und Luftvolumenströmen, die bei Komfortlüftungen üblich sind, liegt die Messunsicherheit von Anemometern selbst unter Laborbedingungen bei rund 20 %. In realen Anlagen finden sich zudem selten genügend lange gerade Leitungen, in denen das nötige homogene Strömungsprofil vorhanden wäre. Anemometer eignen sich deshalb nur für erste Einstellungen und Plausibilitätskontrollen. Für Funktionsmessungen im Rahmen der Übergabe sind sie zu ungenau.

Messtrichter: Gemäß Herstellerangaben liegt die Messunsicherheit von Messtrichtern bei etwa 10 %. Bei Luftvolumenströmen unter etwa $50 \text{ m}^3/\text{h}$ dürfte die Messunsicherheit aber vermutlich zunehmen. Es wird geschätzt, dass die absolute Messunsicherheit um mindestens $5 \text{ m}^3/\text{h}$ liegt.

Druckkompensierte Geräte: Bei diesem Verfahren wird der Druckabfall des Messgerätes durch einen Stützventilator kompensiert. Bild 12.1 zeigt beispielhaft ein Gerät, das ab $10 \text{ m}^3/\text{h}$ mit 3 % Messunsicherheit arbeitet; unterhalb von $10 \text{ m}^3/\text{h}$ beträgt die Messunsicherheit 3 m^3/h . Eine Messung dauert nur einige Sekunden. Solche Geräte sind deutlich teuer als Messtrichter, sie können aber bei einigen Systemanbietern und Instituten ausgeliehen werden. Bei hohen Ansprüchen an die Einregulierung sowie bei Expertisen und Gutachten sollte mit druckkompensierten Geräten gemessen werden.

12.3 Hygiene-Erstinspektion

Zwischen der Endreinigung des Gebäudes und dem Bezug der Wohnung soll die Lüftungsanlage durch eine unabhängige Firma bezüglich Hygiene inspiziert werden. Bei optisch sauberen Anlagen, deren Zuluftseite nie mit flüssigem Wasser in Berührung kommt, besteht ein sehr geringes Risiko für eine gesundheitlich relevante Belastung der Zuluft. Bei offensichtlichen Verschmutzungen hingegen muss eine Anlage unbedingt gereinigt werden. Besteht der Verdacht auf verschmutzte Leitungen, soll eine Inspektion mit einer Rohrleitungskamera durchgeführt werden. Die Kosten für diese Kontrolle sollen bereits im Werkvertrag geregelt sein.

Bei der Installation können Ereignisse auftreten, die zu Zuluftbelastungen führen. Um solche Risiken auszuschalten, wird bei der Hygieneerstinspektion eine Keimmessung an folgenden Stellen empfohlen:

- Aussenluft (als Vergleichsgröße)
- Zuluft nach dem Lüftungsgerät
- Zuluft beim Raumeintritt – bei Einzelwohnungsanlage in zwei Räumen, bei Mehrwohnungsanlagen ein Raum pro Wohnung

Hygienekontrollen und Reinigungen sind anspruchsvolle Arbeiten, die entsprechende Ausbildungen und Erfahrungen erfordern. Dementsprechend sollen Fachpersonen Atteste für Hygieneschulungen vorweisen können.

Bild 12.1: Volumenstrommessgerät mit Nulldruckkompensation. (Quelle: ACIN instrumenten bv, BG Rijswijk NL)



12.4 Dokumentation und Instruktion

Bei der Übergabe werden dem Auftraggeber, der Betreiberin die Dokumentation und die Bedienungsanleitung der Anlage überreicht. Sie sollen folgende Teile enthalten:

- Kurzanleitung für die Benutzer und Benutzerinnen, etwa eine A4-Seite lang
- Wartungsplan, unter anderem mit Hinweisen zu Filtern, Inspektionsintervallen sowie geeignetem Reinigungsverfahren
- Adresse der Servicestelle
- Adresse für den Bezug von Verbrauchs- und Ersatzmaterial, speziell von Filtern
- Adresse der beteiligten Installateure, Planerinnen und Lieferanten
- Prinzipschema und Revisionsplan der Anlage
- Datenblätter der Geräte und Komponenten
- Elektroschema
- Inbetriebnahmeprotokoll
- Journal für die Dokumentation von Service, Revisionen und Änderungen

Bauherr und Betreiberin müssen bezüglich Betrieb und Instandhaltung informiert und angeleitet werden. Hierzu gehören:

- Betriebsstufen der Lüftungsanlage: Zweck und Bedienung
- Zusätzliches Öffnen der Fenster, speziell hinsichtlich des Schlafens bei offenem Fenster
- Raumluftfeuchte: Verhalten und Massnahmen bei zu tiefen und zu hohen Raumluftfeuchten
- Verhalten bei nicht belegten Wohnungen, speziell im Winter (Ferien, Mieterwechsel, Ferienwohnungen etc.)
- Möglichkeiten und Grenzen der Lüftungsanlage: Aussengerüche, Rauchen, Räucherstäbchen, Wäschetrocknen und andere massive Belastungsquellen
- Sommerbetrieb und sommerlicher Wärmeschutz: Ausschalten der Lüftungsanlage, Sommerbypass, Nachtauskühlung mit Fensterlüftung, Bedienung der Be- schattungseinrichtung

- Überströmdurchlässe: Keine Teppiche unter Türpalten legen, die der Überströmung dienen
- Instandhaltung: Erläutern der Zuständigkeiten anhand des Wartungsplans
- Demonstration des Filterwechsels; Hinweise zum Umgang mit Filtern (Schutz vor Kontamination, Entsorgung)
- Verhalten bei Störungen der Lüftungsanlage
- Verhalten bei Brand- und Störfällen
- Falls die Küchenabluft in die Komfortlüftung eingebunden ist: Betrieb sowie Filterwartung

12.5 Instandhaltung

Spätestens bei der Übergabe der Anlage sollen die Zuständigkeiten für die Instandhaltungsarbeiten festgelegt werden. Dazu gehören auch Wartungsverträge. Wenn Kontrollarbeiten durch Laien erledigt werden, müssen sie durch Fachleute instruiert werden.

Filter

Der Zuluftfilter ist ein hygienisches Schlüssellelement. Filter sollen je nach Außenluftqualität und Auslegung ein- bis dreimal jährlich ersetzt werden.

Bei Einzelwohnungsanlagen in Mietwohnungen müssen die Filter durch die Eigentümerin, respektive durch Beauftragte, etwa den Hausdienst, gewechselt werden. Es ist nicht ratsam, die Filter durch Mieter wechseln zu lassen.

Wartung und Reinigung durch Betreiber

Betreiber von Anlagen sollen nur Anlage- teile reinigen, die ohne Werkzeuge zugänglich sind und ohne Sicherheitsrisiko reinigbar sind. So soll etwa keine Leiter dafür erforderlich sein. In erster Linie kommen gut zugängliche ALD, Zuluft- und Ab- luftdurchlässe sowie Überströmdurchlässe in Frage. Luftdurchlässe sollen aber nur dann von den Betreibern gereinigt werden, wenn dabei die einregulierten Luftvo- lumenströme nicht verändert werden.

Bei EFH und Eigentumswohnungen kann allenfalls vereinbart werden, dass Besitzerinnen die Lüftungsgeräte selbst kontrol-

lieren und reinigen. Dabei soll dieselbe Arbeitsschutzausrüstung getragen werden wie beim Filterwechsel.

Gereinigt wird nach Bedarf, das heisst, wenn ein Anlageteil optisch verschmutzt wirkt. Wenn immer möglich verwendet man hierfür trockene, saubere Lappen oder Papiertücher. Allenfalls kommt eine feuchte Reinigung mit Wasser infrage. Reinigungsmittel sollen nicht verwendet werden, da ihre Rückstände später in die Lüftung und damit in die Raumluft gelangen.

Inspektion und Reinigung

Eine Komfortlüftung soll regelmässig von Fachleuten kontrolliert und bei Bedarf gereinigt werden. Das Intervall hängt von der Belastung ab, also etwa von Aussenluftqualität, Lage der Aussenluftfassung, Staubanfall in der Wohnung.

Wenn kein Wartungsvertrag vorhanden ist, der eine häufigere Inspektion umfasst, wird empfohlen, eine Komfortlüftung alle drei bis fünf Jahre von einer Fachfirma kontrollieren zu lassen. Gereinigt wird sie aber nur bei Bedarf. Keimmessungen sollen veranlasst werden, wenn der Verdacht besteht, dass auf der Aussen- respektive Zuluftseite Feuchte und Schmutz eingedrungen ist.

Bei korrekt positionierter Aussenluftfassung und korrekt gewarteten Filtern bleibt die Zuluftverteilung über Jahrzehnte sauber. Die Abluftseite hingegen kann verschmutzen. Deshalb ist es angezeigt, die Abluftverteilung nach etwa acht bis zwölf Jahren zu reinigen. Der Zeitraum hängt vom Staubanfall in der Wohnung an. So können Wohntextilien, Haustiere, Haarspray und Kerzenruss die Verschmutzung fördern.

Der Aufwand für eine Inspektion und Reinigung hängt stark von der Grösse, der Zugänglichkeit und vom Zustand der Anlage ab. Bei einfachen Anlagen, die nicht speziell verschmutzt sind, sollte ein Inspektionsaufwand von einem halben Tag reichen. Dabei sind auch einfache Wartungs- und Reinigungsarbeiten eingerechnet. Die Reinigung der Komfortlüftung eines einfachen EFH sollte von einer Zwei-Personen-Equipe in einem Arbeitstag durchführbar

sein. Bei starken Verschmutzungen kann aber ein deutlich grösserer Aufwand resultieren. Die Zeitschätzung beruht im Übrigen darauf, dass die Anlagen nach den Regeln der Baukunde geplant wurden und damit gut zugänglich sind. Weiter wird vorausgesetzt, dass keine Verschmutzungen aus der Bauphase vorhanden sind. Die Checkliste im Anhang auf Seite 157 gibt Hinweise auf typische Instandhaltungsarbeiten.

12.6 Literatur

- [1] Leistungsgarantie Haustechnik, Teil Komfortlüftung EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2019, Download unter: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/2610>
- [2] SWKI 96-5 Abnahmeprotokolle, 1997

Anhang

13.1 Autor

Heinrich Huber ist hauptamtlicher Dozent für Gebäudetechnik und leitet seit August 2015 die Prüfstelle Gebäudetechnik am Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw. Seine Kompetenzen liegen in der energieeffizienten Gebäude-technik. Sein Spezialgebiet ist die Wohnungslüftung. Hier gehört der zu den führenden Schweizer Fachleuten. Er hat zu diesem Thema mehrere Fachbücher geschrieben und diverse Artikel verfasst.

13.2 Symbole

Sinnbilder Lüftungstechnik in Anlehnung an EN 12792			
Sinnbild	Bedeutung	Sinnbild	Bedeutung
	Ventilator mit Antriebsmotor		Klappe
	Luftherwärmer		Konstant-Volumenstromregler
	Luftkühler		Variabel-Volumenstromregler oder mehrstufiger Volumenstromregler
	Wärmeübertrager für Wärmerückgewinnung		Regler
	Schalldämpfer		Temperaturfühler
	Filter		Druckfühler
	Wetterschutzgitter, Außen- und Fortluftdurchlass		Bedienungseinheit

13.3 Abkürzungen

ABL	Abluft
ABL-WP	Abluftwärmepumpe
ALD	Aussenbauteil-Luftdurchlass
AUL	Aussenluft
AWN	Abwärmennutzung
EFH	Einfamilienhaus
EWA	Einzelwohnungsanlage
FOL	Fortluft
JAZ	Jahresarbeitszahl
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKEN	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
MWA	Mehrwohnungsanlage
NTU	Number of Transfer Units (dt. etwa «Anzahl der Übertragungseinheiten»)
NW	Nennweite
NWLA	Nichtwohnungs-Lüftungsgeräte
PM10	Feinstaub (Particulate Matter) mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer, dito PM2,5 mit weniger als 2,5 Mikrometer und PM1 mit weniger als 1 Mikrometer
SEC	Seasonal Energy Consumption, siehe SEV
SEV	Spezifischer Energieverbrauch von Lüftungsgeräten gemäss Energieetikette
SFP	Spezifische Ventilatorleistung (engl. Specific Fan Power)
SPI	Spezifische Geräteleistung (engl. Specific Power Input)
TVOC	Total Volatile Organic Compounds → VOC
UG	Untergeschoss
ÜSLD	Überströmluftdurchlass
VOC	Flüchtige Kohlenwasserstoffe (Volatile Organic Compounds)
WLA	Wohnungslüftungsanlage
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
ZUL	Zuluft

13.4 Wichtige Begriffe und Definitionen

- **Bezugsluftvolumenstrom:** Luftvolumenstrom, auf den sich die Leistungsdaten eines Lüftungsgeräts beziehen (Herstellerangaben)
- **Jahresarbeitszahl:** Verhältnis zwischen zugeführter Energie einer Wärmepumpe und der tatsächlich erzeugten Heizungswärme über die Dauer eines Jahres
- **Leckluftrate:** Verhältnis zwischen Leckluftvolumenstrom und Bezugsvolumenstrom des Lüftungsgeräts, wird auch als Leckluftquote bezeichnet.
- **Massgebender Luftvolumenstrom:** Volumenstrom, der der Auslegung einer Anlage zugrundegelegt wird
- **Mischarte:** Kurzschluss zwischen Außen- und Fortluft, respektive zwischen Zu- und Abluft
- **Normalbetrieb:** s. Tabelle 1.4
- **Grundbetrieb:** s. Tabelle 1.4
- **Intensivbetrieb:** s. Tabelle 1.4
- **Regelung:** Nach DIN ist die Regelung ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine zu regelnde Grösse erfasst, mit einer Führungsgrösse verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgrösse beeinflusst wird.
- **Regulieren, auch Einregulieren:** Hier im Sinne des Einstellens einer Anlage für den optimalen Betrieb gebraucht, entweder über steuernde oder regelnde Massnahmen.
- **Steuerung:** Nach DIN ist die Steuerung ein Vorgang, bei dem eine oder mehrere Eingangsgrössen eine oder mehrere Ausgangsgrössen eines Systems beeinflussen.

13.5 Farbcodes Luftarten

ABL	gelb
AUL	grün
FOL	braun
Infiltration	grau
Leckluft (in der Anlage)	grau
Raumluft	grau
Überströmluft	grau
Verbund	orange
ZUL Lüftungsanlagen mit WRG	rot
ZUL Lüftungsanlagen ohne WRG	grün

13.6 Checkliste Instandhaltungsarbeiten

Jedes Jahr im Sommer		
1.1	Aussen- und Fortluftdurchlässe	Auf Verschmutzung, Beschädigung und Korrosion prüfen. Reinigen und allenfalls Ursache für eine Verunreinigung ermitteln
1.2	Erdreich-Luft-Wärmeübertrager	Auf stehendes Wasser und sichtbare Verschmutzung prüfen; reinigen und alle Ursachen für Verschmutzung respektive stehendes Wasser ermitteln; Kondensatablauf prüfen; Siphon füllen
1.3	Filter	Prüfen: unzulässige Verschmutzung, Differenzdruck, Filteranzeige; bei Bedarf Filter wechseln und entsorgen
1.4	Sommer-Bypass (im Lüftungsgerät)	An einem warmen Tag: prüfen, ob Bypass öffnet
1.5	Vereisungsschutz und Luftheritzer	Prüfen, ob vollständig ausgeschaltet – auch allfällige Umwälzpumpen
1.6	Zu- und Abluftdurchlässe	Auf Verschmutzung prüfen, reinigen; bei starker Verschmutzung Ursache ermitteln; Einstellung nicht verändern
Jedes Jahr im Winter		
1.11	Zuluftfilter	Filter wechseln und entsorgen; auf Nässe prüfen; allenfalls Ursache für Verfärbung ermitteln
1.12	Abluftfilter	Filter wechseln und entsorgen
1.13	Lüftungsgerät	Alle Komponenten (Ventilatoren, Wärmerückgewinnung, Luftheritzer, Klappen, Gehäuse) auf Verschmutzung, Korrosion, Beschädigung und Wasserbildung prüfen, reinigen
1.14	Kondensatablauf	Kondensatablauf prüfen, Siphon füllen
1.15	Sommer-Bypass	Prüfen, ob der Bypass geschlossen ist
1.16	Vereisungsschutz	Bei Aussentemperatur über 0 °C: Prüfen, ob ausgeschaltet
1.17	Steuerung/Regelung	Testen der Betriebsstufen: beurteilen der Funktion der Steuerung; Kontrolle der Einstellung von Zeitprogrammen; allenfalls detaillierte Kontrolle durch Fachfirma oder Lieferant
Alle 2 Jahre		
2.1	Überströmdurchlässe	Auf Funktion und Verschmutzung prüfen; allenfalls vorhandene Filter wechseln, reinigen; bei starker Verschmutzung Ursache ermitteln
2.2	Luftleitungen	An gut zugänglichen Stellen (z. B. bei Luftdurchlässen und beim Anschluss am Lüftungsgerät) stichprobenweise auf starke Verschmutzung prüfen
Bei Mietwohnungen alle 3 Jahre, bei Wohneigentum spätestens alle 5 Jahre		
Diese Arbeiten sollen durch Fachfirmen durchgeführt werden.		
3.1	Aussen- und Fortluftdurchlass ¹⁾	Inspektion
3.2	Erdreich-Luft-Wärmeübertrager ¹⁾	Kontrolle des Erdreich-Luft-Wärmeübertragers, bei Verdacht auf Verschmutzung, allenfalls mit Rohrkamera
3.3	Lüftungsgerät ¹⁾	Reinigung und Funktionskontrolle
3.4	Luftverteilung, inklusive Zu- und Abluftdurchlässe ¹⁾	Kontrolle von mehreren Leitungen im Sinne einer Stichprobe – bei Verdacht auf Verschmutzung allenfalls mit Rohrkamera; nach der Kontrolle und Reinigung Luftvolumenströme einregulieren und messen
3.5	Steuerung/Regelung	Funktionskontrolle der Regelung: Betriebsstufen, Sommer-Bypass, Vereisungsschutz, allenfalls vorhandene Nachwärmern

1) Die ausführende Person muss mindestens eine erfolgreiche Hygieneschulung der Kategorie B für eine Hygieneinspektion nach SWKI VA104-01 [1] ausweisen können.

Bei Mietwohnungen alle 6 Jahre, bei Wohneigentum spätestens alle 10 Jahre

Inspektion durch eine Fachperson, die eine Hygieneschulung der Kategorie A nach SWKI VA104-01 ausweisen kann.

[1] SWKI VA104-01: Raumlufttechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte, Ausgabe 2019. Bemerkung: Die Richtlinie ist abgesehen vom nationalen Anhang textgleich mit der VDI-Richtlinie 6022 Blatt 1

13.7 Stichwortverzeichnis

A

Abkürzungen 156
 Abluftanlage 43
 Auslegung Luftvolumenströme 82
 Druckverhältnisse und Luftvolumenströme 80
 Druckverlust 111
 Einsatzgrenzen 44
 Hygiene und Wartung 80
 Infiltration 82
 Layout 86
 Praxisuntersuchung 92
 Radon 136
 Stellschrauben 79
 Steuerung/Regelung 86
 Typen 80
 Abluftdurchlässe 34
 Abluftvolumenströme, minimale 39
 Akustische Berechnung Anlagen 145
 ALD
 Akustische Auslegung 89
 Auslegung Dauerbetrieb 84
 Auslegung Ein-/Aus-Betrieb 83
 Auslegung Wohnungsabluftanlage 85
 Nachweis Schallschutz 91
 Strömungstechnische Auslegung 88
 Thermische Behaglichkeit 88
 Aufenthaltsbereich 19
 Aufgaben der Lüftung 5
 Aussenbauteil-Luftdurchlässe, siehe ALD
 Aussenlärm 20
 Aussenluftbelastung 7
 Aussenluftqualität 20

B

Bedienung 12
 Belegung und Nutzung 15
 Brandschutz 13, 21

C

CO₂-Gehalt 6

D

Disbalance 107, 114
 Disbalance-Faktor 115
 Distanz Aussen- und Fortluftdurchlass 74
 Dokumentation und Instruktion 152
 Druckverhältnisse 20
 Druckverhältnisse, Kaskade 26

Dunstabzugshaube 129

Anschluss an Komfortlüftung 131

E

Eco-Design 126
 Einfache Lüftungsanlage (Komfortlüftung) 45
 Einregulierung und Messung 58
 Einzelraumlüftung
 Empfindlichkeit Luftstrom 97
 Filter 99
 Gerätetypen 96
 Kombination mit Abluftanlagen 46, 101, 104
 Massgebende Luftvolumenströme 96
 Praxis 106
 Prinzip 33
 Projektierung 95
 Raumluftfeuchte 96
 Schall 100
 Stellschrauben 95
 Einzel- versus Mehrwohnungsanlagen 48
 Einzelwohnungsanlagen 65
 Druckverluste 68
 Gerätestandort 64, 65
 Energiebedarf 109
 Energieklassierung 126
 Enthalpieübertrager 112
 Eisbildung 112
 Erdreich-Wärmeübertrager 74

F

Farbcodes Luftarten 156
 Fenster 19
 Fensterlüfter 42
 Fensterlüftung, automatische 41
 Fensterlüftung, manuelle 41
 Feuchteempfindliche Baustoffe 10
 Feuchteproduktion 8
 Feuchteproduktion pro Person 9
 Feuchteschutz 17
 Feuerstätten 133
 Feuerung in der Wohnung 106
 Filter 110, 152
 Filterklassen 109
 Filterverschmutzungsfaktor 109, 110
 Filterwechsel 110
 Funktionsprüfung 149

- G**
Geräte 109
Geräteleistung, spezifische 110
- H**
Hygiene-Erstinspektion 151
- I**
Inspektion 153
Installationszonen 21
Instandhaltung 20, 152
Instandhaltungsarbeiten 157
- J**
Jahresenergiebedarf Lüftungsanlagen 120
- K**
Kanäle
Material- und Platzbedarf 57
Wärmedämmung 58, 119
Kaskade, Prinzip 26
Kellerräume 133
Kochstellenlüftung 129
Ersatzluft 130
Komfortlüftung
Aussen- und Fortluftdurchlässe 72
Bedienung 62
Dokumentation 78
Druckverlust 111
Druckverluste und Energiebedarf 71
Gerätestandort 69
Luftverteilung 62
Projektierung 59
Reinigung und Hygiene 76
Stellschrauben 59
Steuerung/Regelung 62
Komponenten 109
Koordination bei der Planung 54
Küchen 39
Kurzschlusströmung 118
KWL-Tool 53
- L**
Leckagen und Übertragungsraten 117
Leitungsarten und -materialien 56
Luftdichtheit der Hüllfläche 21
Luftförderung 110
Luftführung 23
im Raum 33
Luftgeschwindigkeiten 56
- Luftheizung 135
Luftleitungen, Dimensionierung 56
Luftschallschutz zwischen Räumen 147
Luftspalt Tür 36
Druckverlust 37
Schalldämmung 37
- Luftströmung in Wohnungen 23
Lüftung mit Heizfunktion 46
Lüftungsgeräte
Hygiene 109
Mehrwohnungsanlagen 71
- Lüftungskonzept 15
Lüftungssystem 41
Lüftungswärmeverluste 121
Luftvolumenstrom
Massgebender 60
Zeitprofil 24
- M**
Mehrwohnungsanlagen, Gerätestandort 68, 69
Mischlüftung, Grenzen 38
Multifunktionsgeräte 127
Mündungsreflexion 144
- N**
Nachtauskühlung 12
Natürliche Lüftung 41
Nebenräume 22
Normen 6
- P**
Platten-Wärmeübertrager 111
Projektablauf 53
Projektierung 53
Push-Pull-Lüfter 96, 102
Luftvolumenstrom 99
- R**
Radon 8, 136
Raumdämpfung 144
Räume mit kurzzeitiger Nutzung 40
Raumluft
Klassen nach SIA 7
Raumluftbelastung 7
Raumluftfeuchte 8
Raumluftqualität 6
Empfundene 16
Regenerator, statischer 111
Reinigung 153

S

- Schallabsorption im Raum 141
- Schallausbreitung in Räumen 143
- Schalldämpfer 145
- Schalldruck 139
- Schallleistung 139
- Schallpegel, A-Bewertung 139
- Schallschutz 139
 - Gegen aussen 147
 - Nachweis 140
- SFP (Specific Fan Power), spezifische Ventilatorleistung 110
- Sommerlicher Wärmeschutz 11
- Spezifischer Bedarf elektrische Leistung 125
- Spezifischer Jahresbedarf elektrische Energie 125
- Spiralfalzrohre 56
- SPI (Specific Power Input), spezifische Geräteleistung 110
- Steuerung/Regelung 12

Z

- Zuluftdurchlässe
 - Normal induzierende 33
 - Schwach induzierende 34

T

- Temperaturverhältnis 112
- Toleranzen und Messunsicherheiten 149
- Tür als Verbundelement 31

U

- Übergabe und Betrieb 149
- Überströmluftdurchlässe 34
- Positionierung 38

V

- Ventilatorleistung, spezifische 110
- Verbund
 - Mit aktiver Verteilung 27
 - Mit freier Verteilung, Prinzip 31
- Verbundlüfter 28
 - Druckverhältnisse 27
- Vereisungsschutz
 - Energiebedarf 122
 - WRG 116
- Vereisungstemperatur 113

W

- Wärmedämmung Luftverteilung 119
- Wärmepumpe, Arbeitszahl 126
- Wärme- und Feuchterückgewinnung 111
- Wohnungslüftung
 - Systemvergleich 50, 123
- Wohnungslüftungsbox 70