

Die kontrollierte Wohnungslüftung

Für ein gesundes Raumklima



Inhalt

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 01 | Darum ist das richtige Lüften wichtig | 05 |
| | Feuchte, Schimmelpilz und Hausstaubmilben | 07 |
| | Kohlendioxid | 12 |
| | Flüchtige organische Komponenten | 14 |
| | Feinstaub | 15 |
| | Radon | 17 |
| 02 | Welche Systeme zur Wohnungslüftung gibt es? | 19 |
| | Freie oder ventilatorgestützte Lüftung | 20 |
| | Ventilatorgestützte Lüftung: Zu-/Abluftsystem, Abluftsystem oder Zuluftsystem | 23 |
| | Ventilatorgestützte Lüftung: Zentral oder dezentral | 26 |
| 03 | Was bringen moderne Wohnungslüftungssysteme? | 29 |
| | Luftqualität und Behaglichkeit | 30 |
| | Energieeffizienz | 33 |
| | Schallschutz | 37 |
| 04 | Fazit: Auswahl eines passenden Lüftungssystems | 39 |
| 05 | Glossar | 45 |

Der Autor

Über den Autor

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Lüftung und Klimatisierung von Innenräumen. Als Bauleiter, Fachplaner und Geschäftsführer eines Forschungsinstitutes in Dresden und Professor für Klima- und Kältetechnik an der HTWK Leipzig hat er die Diskussion um die Wohnungslüftung aktiv mitgestaltet.

Das ITG – Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – hat sich als private Forschungseinrichtung den Brückenschlag zwischen Theorie und Praxis auf die Fahne geschrieben. Zu den Aufgaben gehören unter anderem die Suche nach zukunftssicheren und nachhaltigen Lösungen in der Gebäudetechnik, aber auch die Information der breiten Öffentlichkeit.

Herausgeberin ist die WOLF GmbH.



Einleitung

Wenn wir ans Mieten, Kaufen oder Bauen einer Wohnung beziehungsweise eines Hauses denken, haben wir die Versorgung mit Strom, Internet und Warmwasser sowie das Heizen „auf dem Schirm“ – und nach den letzten heißen Sommern vielleicht sogar das Kühlen.

Anders sieht es beim Lüften aus: Darüber wird auch heute noch wenig nachgedacht. Sehr häufig heißt es von Fachleuten und Laien, dass das manuelle Fensterlüften auch in modernen Gebäuden völlig ausreicht. Aber ist das wirklich so? Können wir uns in den heutigen fast luftdichten Gebäuden tatsächlich auf die Fensterlüftung verlassen?

Dieses E-Book soll Ihnen helfen, ein Gefühl für das richtige Lüften von Wohnräumen zu entwickeln. Insbesondere wenn Gebäude neu gebaut oder energetisch saniert werden, sollten Sie über nachhaltige, gesunde und zukunftssichere Lüftungslösungen nachdenken – ebenso wenn im Gebäudebestand zum Beispiel Aspekte der Luftqualität oder des Schallschutzes in den Fokus rücken. Diese Lüftungsmöglichkeiten werden wir Ihnen hier vorstellen.

Eine Checkliste mit den wichtigsten Fragestellungen zu technischen Lüftungslösungen, eine umfassende Infografik über die gängigsten Systeme und ein Glossar zu den geläufigsten Fachbegriffen finden Sie am Ende des E-Books.



Darum ist das richtige Lüften wichtig



Neben Nahrungsmitteln und Wasser braucht der Mensch Luft zum Leben. Trotzdem muss an dieser Stelle zunächst mit einem weitverbreiteten Vorurteil aufgeräumt werden: Der fast schon sprichwörtliche Sauerstoffmangel ist tatsächlich überhaupt kein Thema für die Bewertung der Luftqualität. Vielmehr ist eine steigende Kohlendioxidkonzentration ein Maß für „verbrauchte“ Raumluft mit schlechter Luftqualität. Es gibt aber auch viele andere gute Gründe, auf eine ausreichende Lüftung in Räumen zu achten.

Was meinen wir eigentlich, wenn wir vom Lüften sprechen?

Dabei geht es um den Austausch von belasteter Raumluft durch frische Außenluft. Bei der Nutzung der Räume werden unterschiedlichste Schadstoffe und Gerüche freigesetzt, die es „wegzulüften“ gilt. In modernen, nahezu luftdichten Gebäuden passiert das nicht mehr automatisch durch Fugen, undichte Fenster und andere Leckagen. Bewusstes und vor allem regelmäßiges Fensterlüften schafft Abhilfe. Dies birgt jedoch immer das Risiko, zu viel oder zu wenig zu lüften. Technische Lösungen zur Wohnungslüftung sind hier eine gute Alternative.



Feuchte, Schimmelpilz und Hausstaubmilben

Es gibt viele Feuchtequellen in Wohnungen, wie etwa:



Für ein gesundes Raumklima sollte Luft weder zu feucht noch zu trocken sein. Als „ideal“ ist eine **relative Luftfeuchte im Bereich von zirka 30 bis 60%**. Das trifft sowohl auf moderne Gebäude mit hohem Wärmeschutz als auch auf ältere Häuser zu. Zu trockene Luft tritt nur an den kalten Tagen im Jahr auf. Inzwischen sind in der Wohnungslüftung auch einfache Lösungen verfügbar, um zu trockene Luft zu vermeiden: zum Beispiel Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung, sogenannte Enthalpiewärmetauscher.

Das Risiko zu feuchter Luft tritt viel häufiger auf. Mit zu feuchter Luft sind einige Risiken verbunden, insbesondere in Verbindung mit ungenügender Beheizung und Schwachstellen in der Gebäudehülle (sogenannte Wärmebrücken): Nicht nur Bauschäden können entstehen, auch Schimmel und Hausstaubmilben können sich bilden und so das Allergierisiko begünstigen.

Nach aktuellen wissenschaftlichen Untersuchungen gibt es in Deutschland in zirka jeder fünften Wohnung Feuchteschäden und in ungefähr jeder zehnten Wohnung Schimmelpilzbefall.ⁱ Und dabei sind verdeckte Schäden – also zum Beispiel hinter der Schrankwand im Schlafzimmer – noch gar nicht erfasst.

Gegen Feuchte und Allergien helfen korrektes Lüften, Heizen und eine gute Wärmedämmung.

Experten-Exkurs

Viren, Feinstaub & Co.: Saubere Luft durch Lüftungsanlagen

Richtiges Lüften ist besonders in der Erkältungszeit sehr wichtig. Denn ein guter Luftaustausch sorgt dafür, dass Viren aus den Innenräumen hinausbefördert werden. Die Ansteckungsgefahr sinkt so maßgeblich. Dasselbe gilt auch für das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2 – auch COVID-19 genannt.ⁱⁱ

Am effektivsten und effizientesten erreichen Sie diesen wichtigen Luftaustausch mit einem Gerät, das sich automatisch und rund um die Uhr darum kümmert. Für das Einfamilienhaus oder die Wohnung ist die kontrollierte Wohnraumlüftung das ideale System. In Schulen, am Arbeitsplatz oder in anderen großen Gebäuden sorgen sogenannte RLT (raumluftechnische) Anlagen unter anderem für einen kontinuierlichen Luftwechsel.

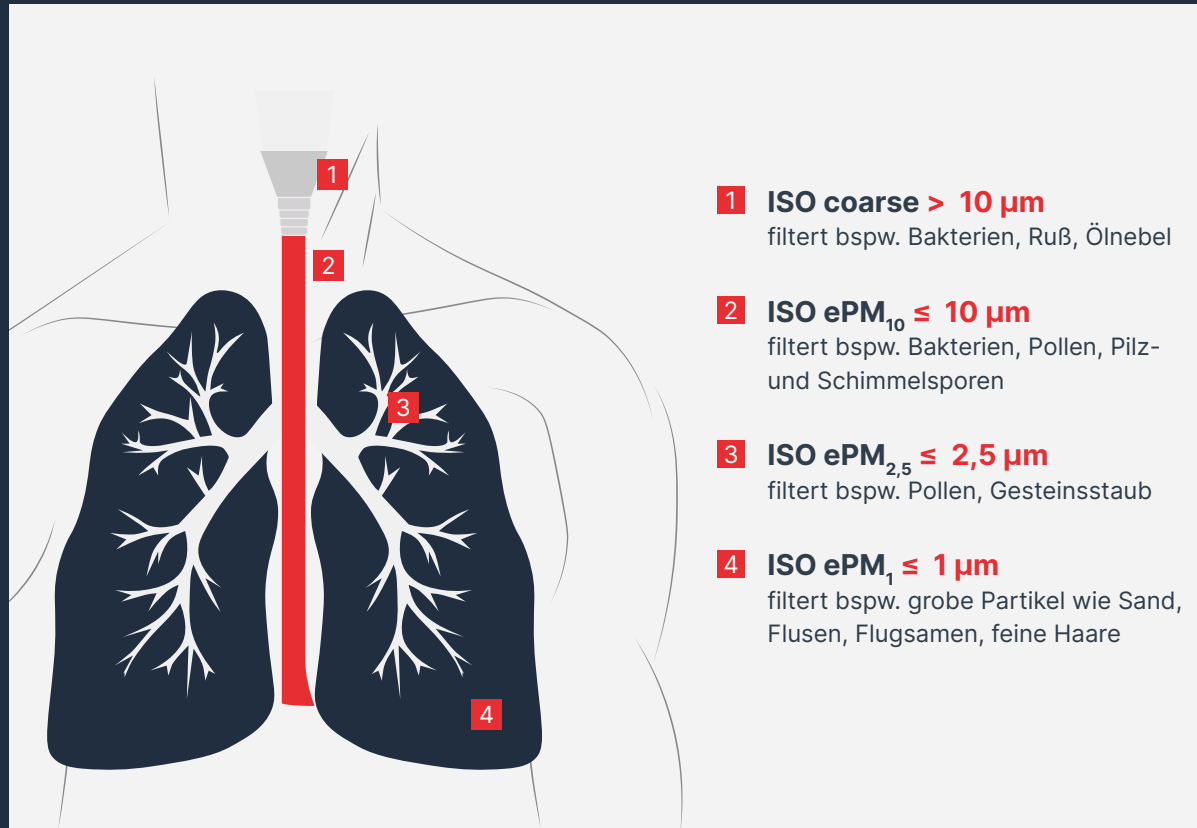
Welchen Filter brauche ich für meine kontrollierte Wohnraumlüftung?

Neben dem kontinuierlichen Luftaustausch verbessern zusätzlich die Filter in kontrollierten Wohnraumlüftungen die Luftqualität in Räumen. Dabei werden bei entsprechend feinen Filtern selbst kleinste Partikel wie etwa Feinstaub, Abgase und Bakterien zurückgehalten. Alle Filter entfernen gröberen Schmutz wie Laub, Insekten, Pollen oder Sand aus der Luft.

Filter werden nach ISO 16890 in verschiedene Stufen klassifiziert. Je „feiner“ die Filterstufe, desto höher das Rückhaltevermögen:

- Vier Größenbereiche sind für Wohnraumlüftungen relevant:
 $\leq 1 \mu\text{m}$; $\leq 2,5 \mu\text{m}$; $\leq 10 \mu\text{m}$; $> 10 \mu\text{m}$.
- Ist der Filter in der Lage, mehr als 50% des Feinstaubs $\leq 1 \mu\text{m}$ abzuscheiden, so wird er zum Beispiel als „ISO ePM₁ 50% Filter“ klassifiziert.
- Die drei Filter „ISO ePM₁“, „ISO ePM_{2,5}“ und „ISO ePM₁₀“ gelten als Feinstaubfilter.
- Weniger feine Filter gelten als Grobstaubfilter und werden der Filterklasse „ISO Coarse“ zugeordnet.

| Filterklasse | Partikelbeispiele |
|------------------------------|--|
| ISO Coarse > 60% | Insekten, Sand, Flusen, Flugsämlinge, Haare |
| ISO ePM ₁₀ ≥ 50% | Bakterien, Schimmel- und Pilzsporen, Pollen, Tonerstaub, Staub (Gesteinsstaub, Stäube von Feldbewirtschaftung) |
| ISO ePM _{2,5} ≥ 50% | kleinere Bakterien, kleinere Schimmel- und Pilzsporen, kleinere Pollen, Tonerstaub |
| ISO ePM ₁ ≥ 50% | kleinere Bakterien, Abgase, Rauch, Ruß, Seesalz |



Normalerweise kann sich der menschliche Körper gegen Feinstaub in der Größenordnung von PM₁₀ und PM_{2,5}, etwa durch Schleimhäute und Nasenhaare, gut selbst schützen. Bei PM₁-Feinstaub reichen diese Schutzmaßnahmen jedoch nicht mehr aus. Die feineren PM₁-Partikel können dadurch Atemwegsprobleme und andere schwerwiegende Erkrankungen auslösen.

Deshalb empfiehlt es sich, in Ihrer Wohnraumlüftung auf der Frischluftseite einen Feinstaubfilter der Filtergruppe ISO ePM₁ einzusetzen. Dieser verhindert ein Verschmutzen der Luftleitungen und des Wärmetauschers und sorgt für frische, gefilterte Raumlufte.

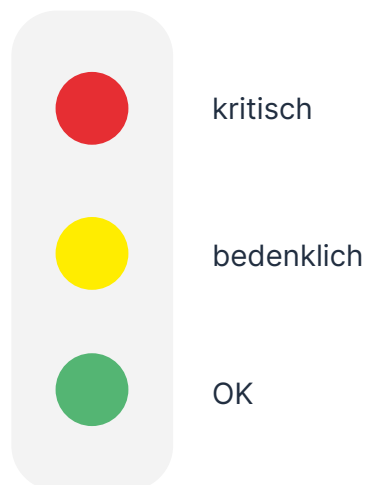


Über den Experten

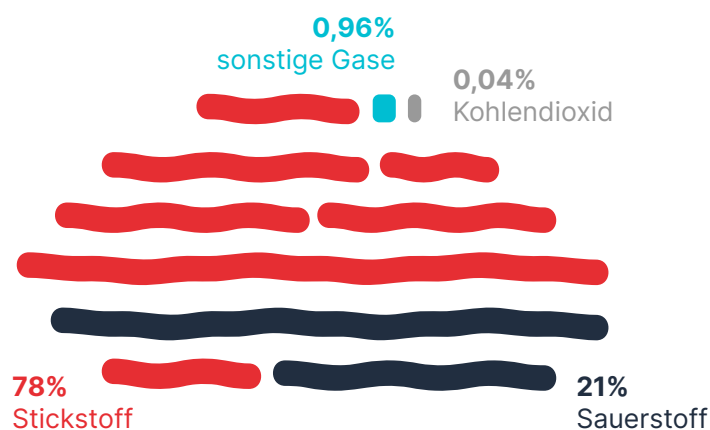
Maximilian Schmidt kümmert sich bei der WOLF GmbH um die Markteinführung neuer Heiz-, Klima- und Lüftungsgeräte und arbeitet als Schnittstelle zwischen Produktmanagement und Kommunikation. Er absolvierte seinen Master of Engineering im Studienfach Technologiemanagement an der TH Deggen-dorf. Seine Masterarbeit schrieb er über Markteinführungs-Ma-nagement am Beispiel von zen-tralen Wohnraumlüftungen.

Kohlendioxid

Als wichtigste Kenngröße zur Bewertung von Geruchsbelastungen gilt **Kohlendioxid (CO₂)**. In dem Maße, in dem wir bei der Atmung Kohlendioxid abgeben, produzieren wir auch Gerüche – in der ausgeatmeten Luft beträgt der CO₂-Gehalt zirka 4%ⁱⁱⁱ. Kohlendioxid ist einfach und preiswert messbar und zum Beispiel als Lüftungsampel gut visualisierbar.



Als gute Luftqualität gilt eine Kohlendioxidkonzentration von 800 bis 1.000, maximal bis 1.500 ppm (ppm steht für „parts per million“, also die Anzahl der CO₂-Moleküle pro 1 Million Luftmoleküle). Der Richtwert von 1.000 ppm gilt schon seit den Arbeiten des Münchner Hygienikers Max von Pettenkofer um 1850.^{iv} Zum Vergleich: In der Außenluft beträgt die Kohlendioxidkonzentration zirka 400 ppm beziehungsweise 0,04%. Hauptbestandteile der Luft sind Stickstoff (etwa 78%) und Sauerstoff (etwa 21%).^v



Zu viel CO₂ in der Raumluft als Indikator für Gerüche und Schadstoffe ist ein sehr häufig auftretendes Problem. Es kann zu Kopfschmerzen, Konzentrationsproblemen und einem wenig erholsamen Schlaf führen.

Gegen Kohlendioxid hilft Lüften, da in der Außenluft deutlich weniger CO₂ enthalten ist als in der Raumluft. Das Filtern von Gerüchen ist hingegen deutlich aufwendiger.



Flüchtige organische Komponenten

Aus

- Baumaterialien,
- Möbeln,
- Farben,
- Bodenbelägen und
- Reinigungsmitteln

können **flüchtige organische Komponenten** (im Englischen als VOC – „volatile organic compounds“ – bezeichnet) in die Raumluft gelangen. Ein bekanntes Beispiel ist Formaldehyd, das früher unter anderem als Bindemittel in Span- und Faserplatten verwendet wurde. Diese VOCs können zu Reizungen von Augen, Nase und oberen Atemwegen sowie zu Befindlichkeitsstörungen führen.

Seit einigen Jahren gibt es unter anderem vom Umweltbundesamt im Bereich der flüchtigen organischen Komponenten Grenzwerte für Einzelsubstanzen und für Summeneffekte.^{vi} Insbesondere bei Baumaterialien, Möbeln und Bodenbelägen liegt der Fokus seitdem auf der Schadstoffvermeidung (beispielsweise durch Zertifizierung der Baustoffe). Dann noch verbleibende Emissionen können durch Lüften abgeführt werden. Bei nutzungsbedingten Emissionen (infolge von Reinigungsprozessen, Hobbytätigkeiten etc.) sind Verbraucherinformation und Lüftung maßgeblich.

Gegen VOCs hilft in erster Linie der Einsatz von schadstoffarmen Baumaterialien, Möbeln und Bodenbelägen, also die Vermeidung von Emissionen. Verbleibende Schadstoffemissionen können durch Lüften beseitigt werden.

Feinstaub

Ein hochaktuelles Thema ist die **Luftbelastung mit Feinstaub**. Dessen Herkunft und Zusammensetzung in Räumen hängt vom Gebäudestandort, der Inneneinrichtung und den Nutzergewohnheiten ab. Typische Staubquellen in der Außenluft sind:

- Straßenverkehr
- Industrie- und Verbrennungsprozesse
- Landwirtschaft
- Natur

In der Wohnung selbst kommen noch

- Reinigungsvorgänge,
- Hobbytätigkeiten oder
- offene Feuerstätten (zum Beispiel Kamine)

als zusätzliche Staubquellen infrage. Der Staub kann über die Atemwege in die Lunge gelangen und dort zu Atemwegserkrankungen bis hin zu Asthma führen. Deshalb gibt es vor allem für sehr kleine Partikel, die in die Lunge gelangen können, europaweit strenge Grenzwerte.



Insbesondere in Innenstädten mit hoher Feinstaubbelastung stößt die Fensterlüftung schnell an ihre Grenzen. Nur eine Lüftungsanlage kann die Luft wirksam filtern, bevor sie ins Gebäude gelangt.

Gegen Feinstaub hilft Lüften, solange die Umgebung, zum Beispiel in Innenstädten, nicht zu stark staubbelastet ist. Dort können Sie mit Lüftungsanlagen mit hochwertigen Filtern Abhilfe schaffen.

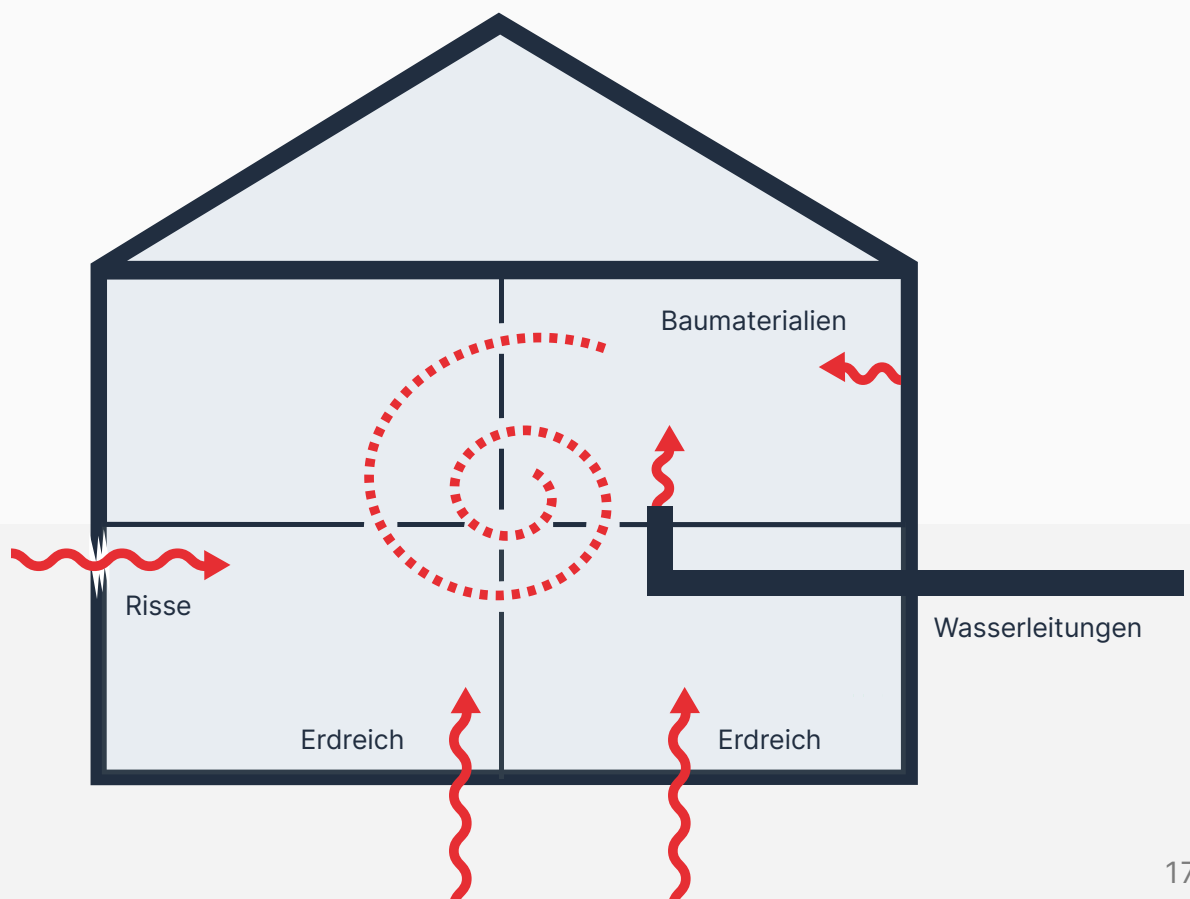


Radon

Was viele nicht wissen: Raumlufte kann radioaktiv belastet sein. Verantwortlich dafür ist **Radon**, ein farb-, geschmack- und geruchloses Edelgas. Man geht davon aus, dass bereits geringe Radonkonzentrationen das Lungenkrebsrisiko deutlich erhöhen.

In Europa gibt es ein Strahlenschutzgesetz mit einem Referenzwert, der an Arbeitsplätzen und in Aufenthaltsräumen (zum Beispiel in Wohngebäuden) nicht überschritten werden soll. Für wenig genutzte Räume (zum Beispiel Lagerräume im Keller von Wohngebäuden) gilt dieser Referenzwert übrigens nicht. In einigen Regionen Deutschlands treten erhöhte Konzentrationen von Radon auf, die über den Boden, zum Beispiel durch Fugen oder an Rohrdurchführungen, in die Gebäude eindringen können. Über Verbindungen zwischen den Geschossen (zum Beispiel offenes Treppenhaus) gelangt das Radon dann in darüberliegende (Wohn-)Bereiche. Besonders betroffen sind die Bergbauregionen im Erzgebirge, das Freitaler Gebiet bei Dresden, Regionen im Fichtelgebirge sowie die Gegend um Freiburg (Breisgau).

Mögliche Eindringpfade von Radon und Verteilung im Gebäude





Zum Schutz vor gefährlichen Radonkonzentrationen können Sie bauliche und Lüftungstechnische Maßnahmen ergreifen.

Zum Schutz vor Radon hilft in erster Linie die Abdichtung des Baukörpers gegen das Erdreich. Ist dies nicht einfach zu realisieren (zum Beispiel nachträglich in bestehenden Gebäuden), kann die Radonkonzentration durch Lüften gesenkt werden.

Welche Systeme zur Wohnungslüftung gibt es?



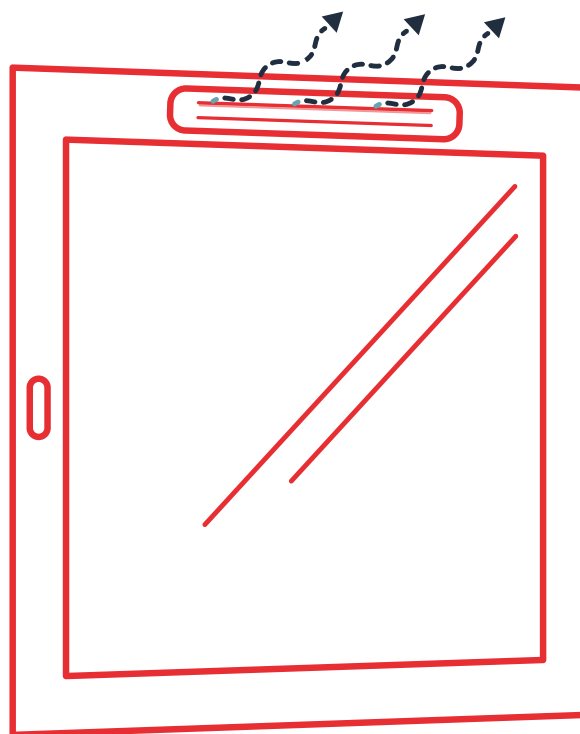
Für die Lüftung von Gebäuden gibt es viele Möglichkeiten. Neben dem manuellen Fensterlüften und der Lüftung durch Leckagen, also durch Fugen, Risse und Löcher (die sogenannte Infiltration) gibt es technische Optionen, auf die wir hier näher eingehen.

Freie oder ventilatorgestützte Lüftung

Von **freier Lüftung** spricht man, wenn keine **Ventilatoren** zur Lüftung genutzt werden und nur natürliche Antriebskräfte, also der Wind oder Temperaturunterschiede zwischen innen und außen, für eine Lüftung im Gebäude sorgen.

Je nach Antriebskraft wird zwischen Querlüftung (durch Wind) und Schachtlüftung (durch Temperaturdifferenzen) unterschieden.

Freie Lüftung können Sie nutzen, indem Sie manuell Ihre Fenster öffnen. Sie findet auch durch Fugenlüftung oder durch den gezielten Einbau von Öffnungen (sogenannte ALD – Außenbauteil-Luftdurchlässe) statt. Allen gemeinsam ist, dass die freie Lüftung in Abhängigkeit von Jahreszeit und Wind mal mehr, mal weniger gut funktioniert.



Wie der Name schon sagt, benötigen Sie für die **ventilatorgestützte Lüftung** immer mindestens einen Ventilator. Dafür gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten. Je nach Anordnung der Ventilatoren spricht man von

- Zu-/Abluftsystemen,
- Abluftsystemen oder
- Zuluftsystemen.

Und je nach Anordnung des Lüftungsgerätes von

- zentralen Lüftungssystemen oder
- dezentralen Lüftungsgeräten.

Die ventilatorgestützte Lüftung funktioniert im Gegensatz zur freien Lüftung unabhängig vom Wetter. Und bei der regulären Auslegung der Systeme nach den einschlägigen Normen (maßgeblich in Deutschland ist DIN 1946-6) bei üblichen Nutzungsgewohnheiten benötigen Sie auch kein zusätzliches Fensterlüften.

**Zentrales Zu-/Abluftsystem:
WOLF CWL-2**



**Dezentrales Zu-/Abluftsystem:
WOLF CWL-D-70**





Freie Lüftung braucht keine Ventilatoren, funktioniert aber in Abhängigkeit von Jahreszeit und Wind nicht immer gleich gut. Meist wird empfohlen, dass regelmäßig mehrmals am Tag alle Räume stoßgelüftet werden. Das ist häufig nicht einfach umsetzbar und umständlich. Lüftungsgeräte hingegen sorgen dafür, dass die Belüftung unabhängig vom Wetter und von den Lüftungsgewohnheiten der Bewohner stattfindet.

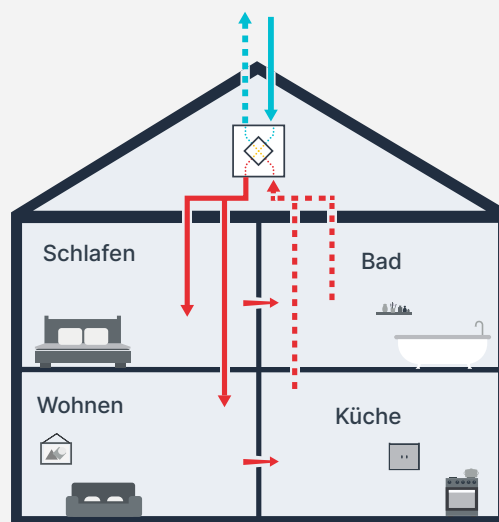
i**Übrigens**

Die Stromkosten für die Lüftungsanlage betragen pro Jahr bei den aktuellen Strompreisen für ein Einfamilienhaus in Abhängigkeit vom eingesetzten Lüftungssystem häufig weniger als 100 Euro. Noch günstiger wird es, wenn Sie eine Photovoltaikanlage haben und Ihren eigenen Strom nutzen.

Ventilatorgestützte Lüftung: Zu-/Abluftsystem, Abluftsystem oder Zuluftsystem

Ein **Zu-/Abluftsystem** ist eine Lüftungsanlage oder ein Lüftungsgerät mit ventilatorgestützt geförderter **Zuluft** und ventilatorgestützt geförderter **Abluft**. Das bedeutet, dass ein Ventilator die frische Außenluft in das Gebäude und ein weiterer Ventilator die verbrauchte Raumluft aus dem Gebäude transportiert.

Funktionsweise zentrales Zu-/Abluftsystem



Zu-/Abluftanlage mit Wärmetauscher



Frische Luft

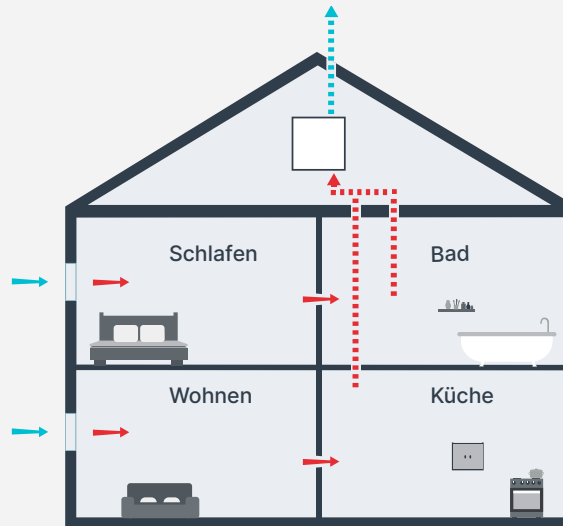


Verbrauchte Luft (Fortluft)

Zu-/Abluftsysteme gehören inzwischen zur Standardausstattung von modernen, energieeffizienten Gebäuden, können aber auch in Bestandsgebäuden eingesetzt werden.

Ein **Abluftsystem** ist eine Lüftungsanlage oder ein Lüftungsgerät mit lediglich ventilatorgestützt geförderter Abluft (verbrauchte Raumluft wird mit einem Ventilator aus dem Gebäude gefördert). Die Außenluft strömt durch den erzeugten Unterdruck über Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) in das Gebäude nach.

Funktionsweise zentrales Abluftsystem



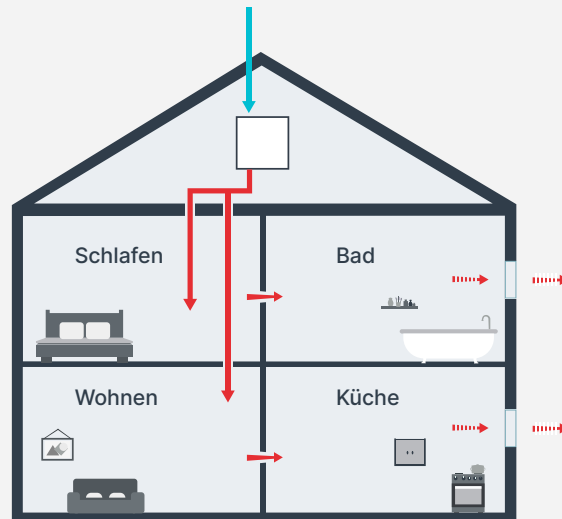
 Abluftanlage
  Frische Luft
  Verbrauchte Luft (Fortluft)

Badentlüfter für innenliegende Bäder oder Toiletten sind eine besondere Form des Abluftsystems.

Ein **Zuluftsystem** ist eine Lüftungsanlage oder ein Lüftungsgerät mit lediglich ventilatorgestützter Zuluft (frische Außenluft wird mit einem Ventilator in das Gebäude gefördert). Die Abluft strömt durch den erzeugten Überdruck über Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) aus dem Gebäude ins Freie.



Funktionsweise zentrales Zuluftsystem



Wegen dieses Überdrucks im Gebäude sind Zuluftsysteme nicht unumstritten und kommen in Deutschland nur selten zum Einsatz.

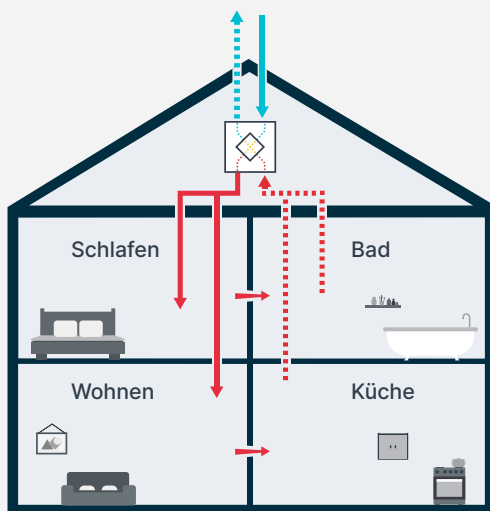
Nach der Anordnung der Ventilatoren unterscheidet man zwischen Zu-/Abluftsystemen, Abluftsystemen und Zuluftsystemen.

- Zu-/Abluftsysteme gehören zur Standardausstattung von modernen, energieeffizienten Gebäuden, sind aber auch im Gebäudebestand einsetzbar.
- Abluftanlagen sind eine einfache Alternative zu den Zu-/Abluftsystemen, die aber prinzipbedingt mit einigen Nachteilen verbunden sind (keine Wärmerückgewinnung, eventuelles Zugluftisiko durch ALD).
- Zuluftsysteme sind umstritten und werden daher selten verwendet.

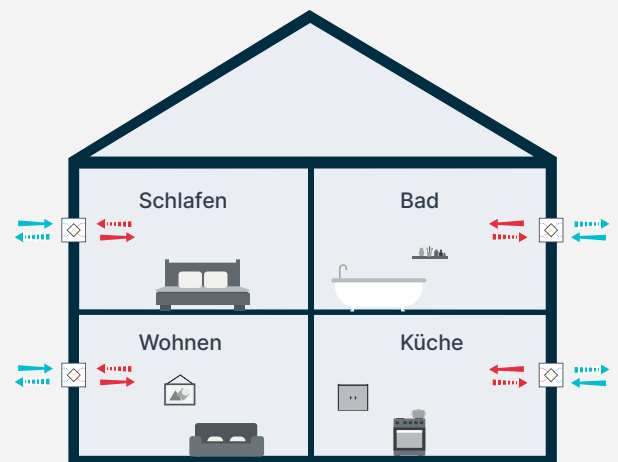
Ventilatorgestützte Lüftung: Zentral oder dezentral

Je nachdem, wo das Lüftungsgerät eingebaut wird, spricht man von zentralen oder dezentralen Lüftungssystemen.

Zentrale Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung



Dezentrale Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung



Wärmetauscher

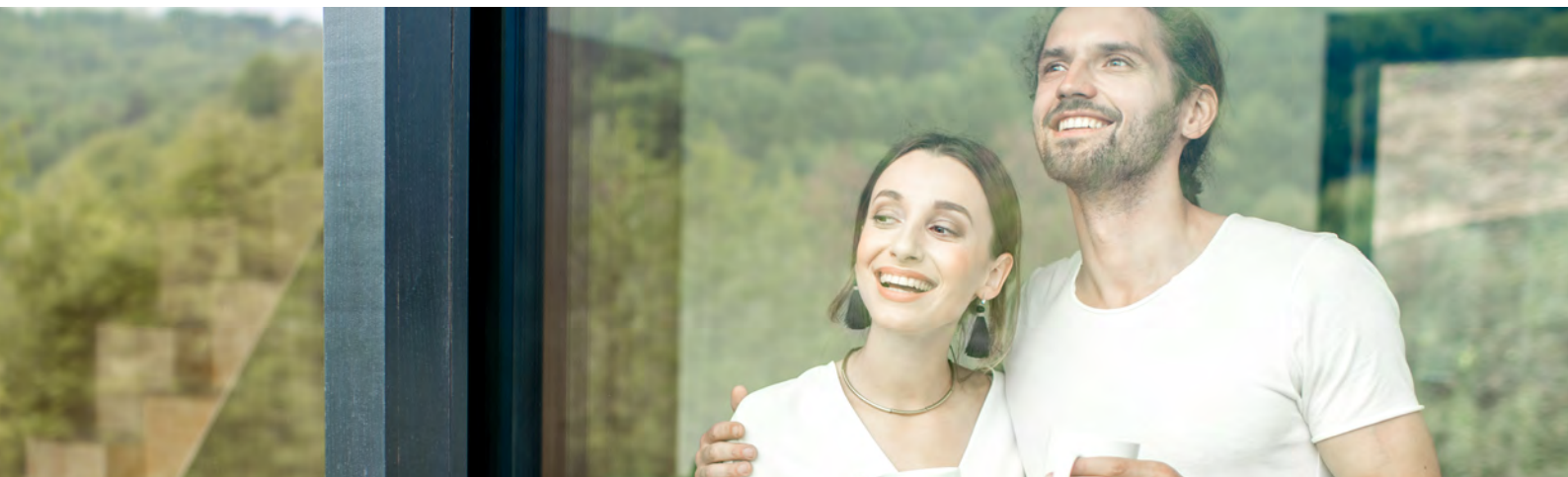


Frische Luft



Verbrauchte Luft (Fortluft)

Bei **zentralen Systemen** versorgt ein einziges Lüftungsgerät eine Wohnung oder ein gesamtes Gebäude (Ein- oder Mehrfamilienhaus).



Ein zentrales Zu-/Abluftgerät wird meist in einem Technikraum oder Heizungskeller eingebaut, kann aber auch als Deckengerät (beispielsweise im Bad) installiert werden. Neben dem eigentlichen Lüftungsgerät sind dann Luftleitungen (häufig auch als Luftkanäle bezeichnet) erforderlich. Diese verbinden das Lüftungsgerät mit allen Räumen. Jene Luftleitungen werden heute im Neubau meist nicht sichtbar in die Decken/Fußböden integriert.



Bei **dezentralen Systemen** hingegen wird pro Raum ein Lüftungsgerät eingebaut. Man spricht häufig auch von raumweisen Lüftungsgeräten. Luftleitungen sind in diesem Fall nicht erforderlich.


Diese raumweisen Zu-/Abluftgeräte werden häufig in Verbindung mit dem Fenster installiert (zum Beispiel unter der Fensterbank) oder aber direkt beziehungsweise auf der Außenwand montiert. Pro Raum bedarf es einer beziehungsweise zwei Öffnung(en) nach außen, die für das (getrennte) Zuströmen der Außenluft und das Abströmen der Abluft benötigt wird.

Bei raumweisen Zu-/Abluftgeräten sind zwei Betriebsweisen üblich, nämlich kontinuierlich und alternierend arbeitende Lüftungsgeräte. Letztere arbeiten in aller Regel als Gerätepaar zusammen und werden häufig auch als Pendellüfter oder Push-Pull-Geräte bezeichnet.

Je nach Anordnung der Lüftungsgeräte unterscheidet man zwischen zentralen und dezentralen Lüftungssystemen.

- Bei zentralen Systemen versorgt ein Lüftungsgerät eine Wohnung oder ein Gebäude. Dafür sind Luftleitungen zwischen dem Lüftungsgerät und den einzelnen Räumen erforderlich.
- Bei dezentralen Systemen wird pro Raum ein Lüftungsgerät eingebaut. Dafür ist in jedem Raum mindestens eine Öffnung nach außen notwendig.

Die verschiedenen Systeme mit ihren Vor- und Nachteilen haben wir am Ende dieses E-Books noch einmal übersichtlich für Sie in einer Infografik zusammengestellt.

A woman with long, wavy brown hair is sitting on a patterned rug in a room with large windows. She is holding a smartphone in her right hand and looking at it. She is wearing a white t-shirt and black leggings. The rug has a geometric pattern in shades of blue, yellow, and grey. In the background, there are large windows with a black metal railing, and some patterned cushions are visible on the floor.

Was bringen moderne Wohnungs- lüftungssysteme?

Luftqualität und Behaglichkeit

Ventilatorgestützte Lüftungssysteme verbessern die Raumluftqualität und Behaglichkeit in Wohnräumen maßgeblich.

- **Kontinuierlich & automatisch:** Der Luftaustausch findet zuverlässig zu jeder Zeit statt. Er ist unabhängig von der Witterung und vom Nutzer.
- **Bedarfsführung des Luftwechsels:** Dank Sensoren, zum Beispiel für Luftfeuchtigkeit und Kohlendioxid, wird der Luftwechsel immer an die Situation angepasst.
- **Filterung:** Die Wohnungslüftung filtert die Luft. Schadstoffe, Viren, Pollen, gefährliche Stoffe wie Radon und Co. werden entfernt.
- **Wärmerückgewinnung:** Durch das effiziente Vorwärmen der Zuluft entsteht keine unangenehme Zugluft.

Für die Luftqualität sind die **Größenordnung des Luftwechsels** und die **Art der Filter** entscheidend. Nach den einschlägigen technischen Regelwerken werden ventilatorgestützte Lüftungssysteme für Wohnungen für einen Luftwechsel von etwa 0,3 (große Wohnungen oder Einfamilienhäuser) bis 0,8 (kleine Wohnungen) pro Stunde ausgelegt.^{vii} Das bedeutet, dass 30 bis 80% der Raumluft in jeder Stunde durch (frische) Außenluft ersetzt werden – und das kontinuierlich und nicht wie beim Fensterlüften nur stoßweise und in Abhängigkeit von den Lüftungsgewohnheiten.

i

Übrigens

In gut gedämmten, dichten Gebäuden wird durch die wenigen verbleibenden Fugen nur noch ein Luftwechsel von 0,05 bis 0,15 pro Stunde ermöglicht. Das reicht keinesfalls aus, um Schimmel zu vermeiden und Schadstoffe abzuführen – und erst recht nicht für eine gute Luftqualität.

Ein weiterer Vorteil moderner Lüftungssysteme ist, dass sie meist **bedarfsgeführt** betrieben werden. Das Lüftungsgerät erfasst dabei mithilfe von Sensoren (zum Beispiel für die Feuchte oder das Kohlendioxid) die Luftqualität und passt den Luftwechsel (Techniker sprechen lieber vom Luftvolumenstrom) an diesen Bedarf an. Im Resultat heißt das: Wenn tagsüber niemand zuhause ist, sinkt der Luftwechsel. Wenn abends alle im Wohnzimmer sitzen, steigt er und die Raumluftqualität bleibt hoch.





Moderne Zu-/Abluftsysteme verfügen in aller Regel über hochwertige **Feinstaubfilter**. Für sogenannte Hygiene-Geräte wird auf der Zuluftseite mindestens ein Filter ISO ePM₁ ≥50% gefordert. Diese technische Bezeichnung steht dafür, dass dieser Filter Partikel in der Größenordnung von 0,3 bis 1 Mikrometer zu mindestens 50% abscheidet: Das sind etwa Rußpartikel, Abgase oder Rauch. Pollen sind deutlich größer und werden natürlich ebenfalls abgeschieden.

Ganz wichtig ist, dass Sie die Filter regelmäßig reinigen oder austauschen. Das können Sie selbst tun oder von einem Profi machen lassen. Der richtige Ansprechpartner für das Thema Wohnungslüftung ist übrigens ein SHK-Fachhandwerker – oder umgangssprachlich auch Heizungsbauer genannt. Einen Überblick über Installateure in Ihrer Nähe erhalten Sie zum Beispiel auf der Suchplattform „**Dein Heizungsbauer**“.

Neue Lüftungsgeräte müssen nach EU-Vorschrift über eine optische Filterwechselanzeige verfügen.^{viii} Grundsätzlich sollte man die Filter halbjährlich reinigen oder tauschen (gemäß DIN 1946-6).

Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit gibt es viele verschiedene Kriterien. Aus Sicht der Lüftung spielt die Minderung von Zugluft meist die entscheidende Rolle. Zu-/Abluftanlagen mit **Wärmerückgewinnung** bieten dabei einige Vorteile: Anders als bei freier Lüftung oder bei Abluftanlagen strömt die (im Winter kalte) Luft nicht direkt von außen in die Räume.

Dank Zu-/Abluftsystemen mit Wärmerückgewinnung erreichen Sie behagliche Verhältnisse ohne Zugluft in Ihren Wohnräumen, wenn Sie Folgendes beachten:

- dass durch effiziente Wärmerückgewinnung die Zulufttemperaturen möglichst im Bereich der Raumlufthtemperatur liegen;
- dass die Luftdurchlässe für die Zuluft möglichst im Außenwandbereich angeordnet werden.

Wohnungslüftungsgeräte verbessern die Luftqualität und die Behaglichkeit in Wohnräumen maßgeblich: durch einen kontinuierlichen Luftwechsel in Verbindung mit Bedarfsführung und Luftfilterung sowie durch Wärmerückgewinnung zur Verminderung des Zugluftrisikos.

Energieeffizienz

Auf der Suche nach Energieeinsparmöglichkeiten in modernen, energieeffizienten Gebäuden gerät die Lüftung verstärkt in den Fokus. Durch die stetig verschärften gesetzlichen Vorschriften (zum Beispiel durch die Energieeinsparverordnung) wurde bisher im Wesentlichen die Wärmedämmung von Häusern verbessert. Fensterlüften ist daher mittlerweile einer der Hauptgründe für Wärmeverluste in Gebäuden.

Wenn weniger gelüftet wird, um Energie zu sparen, verstärkt sich jedoch die Gefahr von hygienischen und bauphysikalischen Problemen, wie das Wachstum von Schimmelpilzen. Das gilt vor allem in modernisierten, aber auch in neu errichteten Gebäuden.

Die ventilatorgestützte Lüftung mit Wärmerückgewinnung bietet die Möglichkeit, die Wärmeverluste durch Lüftung zu senken, ohne Abstriche bei der Raumlufthygiene und dem Bautenschutz machen zu müssen. Dazu existieren prinzipiell drei Möglichkeiten:

1. Wärmerückgewinnung der in der Abluft enthaltenen Energie mit Wärmeübertrager oder **Abluft-Wärmepumpe**
2. Vorwärmung der zugeführten Außenluft mittels erneuerbarer Energien, beispielsweise mit **Erdreich-Wärmeübertrager**
3. Verringerung des Außenluftwechsels durch bedarfsgeführte Lüftung

Wärmeübertrager in Wohnungslüftungsgeräten haben heute üblicherweise einen Wirkungsgrad von 80% oder mehr.^{ix} Das bedeutet, dass mindestens 80% der in der Abluft enthaltenen Wärme zurückgewonnen wird. Oder anders formuliert: Bei einer Außentemperatur von -10°C und einer Raumtemperatur von 20°C wird bei einer Wärmerückgewinnung von 80% die Zuluft auf 14°C erwärmt, bei 90% Wärmerückgewinnung sogar auf 17°C.

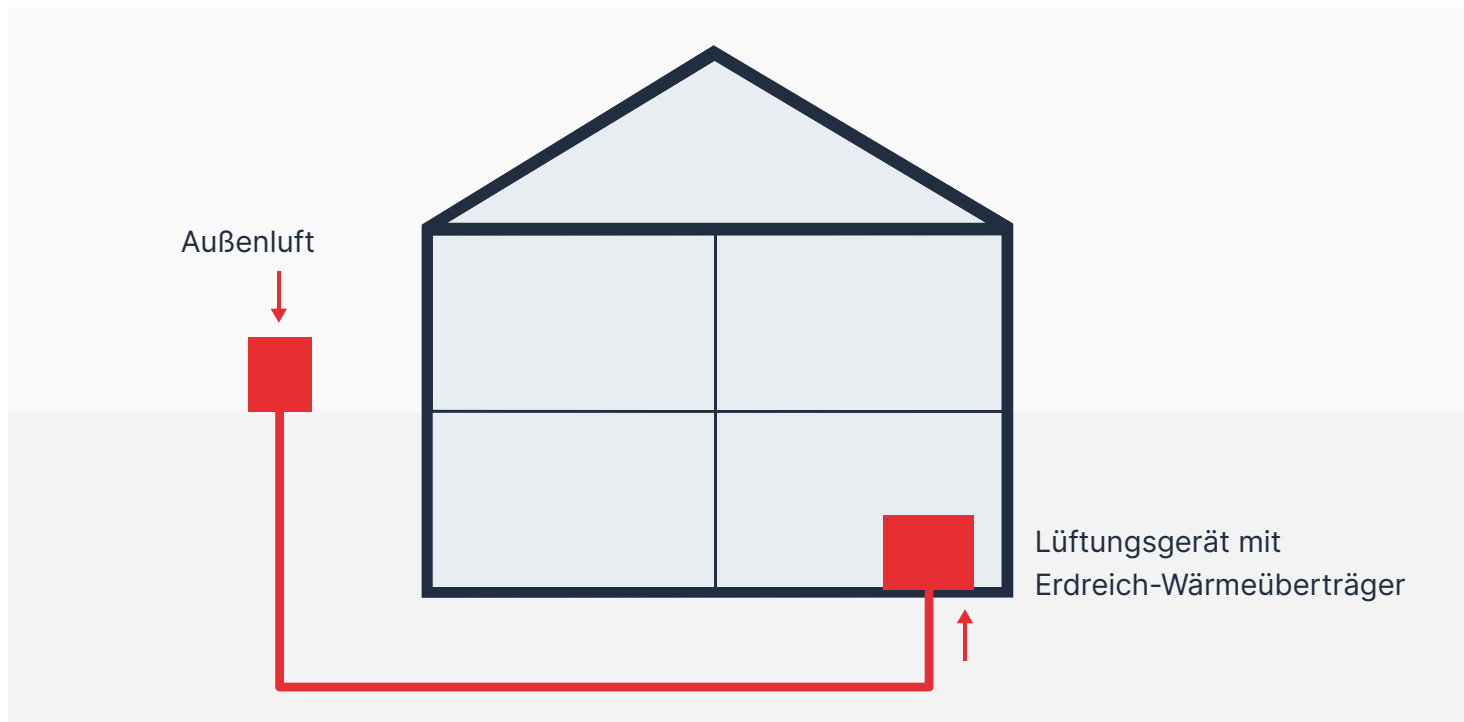


Sehr gute Lüftungsgeräte erreichen heute eine Wärmerückgewinnung von teilweise deutlich über 90% (gemessen nach DIN EN 13141-7). Auch unter Beachtung des benötigten Stroms lassen sich damit gegenüber einer Fensterlüftung Energie einsparen und die Heizkosten deutlich senken. Es lohnt sich also, bei der Wahl des Geräts diesen Wert (der technisch als Temperaturänderungsgrad oder Rückwärmzahl bezeichnet wird) zu vergleichen.

Eine andere Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung ist die **Abluft-Wärmepumpe**. Das ist mit etwas größerem technischen Aufwand verbunden, erlaubt aber, die Abwärme flexibler zu nutzen – entweder wie beim Wärmeübertrager zur Erwärmung der Zuluft oder zur Erwärmung von Wasser für Heizung oder Warmwasser. Es gibt übrigens auch Kombigeräte (auch Haustechnikzentrale genannt), die Lüftung, Heizung und eventuell sogar Warmwasserbereitung in einem einzigen Gerät vereinen.



Bei einem **Erdreich-Wärmeübertrager** wird die Außenluft nicht direkt durch die Außenwand zum Lüftungsgerät geführt, sondern über eine im Erdreich verlegte Luftleitung.



Mit diesem Erdreich-Wärmeübertrager will man zwei Ziele erreichen:

1. Im Winter soll die vorgewärmte Außenluft immer mit mindestens 0°C am Lüftungsgerät ankommen.^x Damit kann das Lüftungsgerät nicht einfrieren und andere technische Lösungen, wie ein elektrisches Vorheizregister, sind nicht erforderlich.
2. Im Sommer kann die Außenluft abgekühlt werden, bevor sie über das Lüftungsgerät ins Gebäude gelangt. Zusammen mit einer sommerlichen Nachtlüftung (möglichst große Volumenströme, wenn die Außentemperatur unter die Raumtemperatur sinkt) können Sie damit spürbare Kühleffekte erreichen, ohne dass Sie eine Klimaanlage einsetzen müssen.

Typischerweise sollte die im Erdreich verlegte Luftleitung bei einem Einfamilienhaus etwa 30 bis 40 Meter lang sein. Sie kann also meist in der (bei unterkellerten Gebäuden) ohnehin vorhandenen Baugrube untergebracht werden.

Bei der **Bedarfsführung** wird mit geeigneten Sensoren (beispielsweise für Feuchte oder Kohlendioxid) die Luftqualität erfasst und der Luftwechsel an diesen Bedarf angepasst. Ist also tagsüber niemand zuhause, wird der Luftwechsel reduziert und Energie gespart. Dadurch haben Sie weniger Wärmeverluste und das Gerät verbraucht weniger Strom.

Mit Lüftungsanlagen lässt sich durch Wärmerückgewinnung, die Vorwärmung der Außenluft und die Bedarfsführung der Geräte Energie einsparen.

Schallschutz

In den einschlägigen technischen Normen wird das Ziel formuliert, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen.

Ein erster Problemkreis besteht in den **Schalldämmeigenschaften der Gebäudehülle**. Zu beachten sind dabei besonders Fenster und gegebenenfalls zusätzliche Lüftungskomponenten in der Gebäudefassade (also zum Beispiel Außenbauteil-Luftdurchlässe bei Abluftsystemen oder Zu-/Abluftgeräte bei dezentralen Lüftungssystemen). Fehlender Schallschutz während des Fensteröffnens ist ein entscheidendes Manko der Fensterlüftung. Der Außenlärm (besonders kritisch zum Beispiel an stark befahrenen Straßen) beeinflusst oft maßgeblich die Lüftungsintensität und -häufigkeit.

Aus Sicht des Schallschutzes wichtig sind auch die Geräusche, die **durch ventilatorgestützte Lüftungsanlagen entstehen oder übertragen werden**. Die Schallschutzanforderungen stellen Ansprüche an die Konstruktion der Lüftungsgeräte und insbesondere der Ventilatoren. Darüber hinaus ist bei zentralen Wohnungslüftungen der Einsatz von Schalldämpfern üblich, die die Schallübertragung von außen und vom Lüftungsgerät in das Haus reduzieren, aber eventuell auch zwischen den Räumen.

Der Schallschutz ist für viele Nutzer eine elementare Anforderung. Bei der Fensterlüftung wird es oft laut im Innenraum.

Ventilatorgestützte Lüftungssysteme (vor allem zentrale Zu-/Abluftsysteme) dämpfen den Schall durch günstige Konstruktion der Lüftungsgeräte und durch Schalldämpfer.



Fazit: Auswahl eines passenden Lüftungssystems

Bei der Entscheidung für ein passendes Lüftungssystem müssen Sie sowohl im Rahmen einer energetischen Sanierung als auch in einem Neubau viele Aspekte und Randbedingungen beachten. Die heute gerade im Bestand noch weitverbreitete Fensterlüftung ist dabei aber nicht das Maß aller Dinge. Denn mit den ventilatorgestützten Wohnungslüftungssystemen sind zeitgemäßere und effizientere Lösungen verfügbar.

Die folgende Übersicht soll Ihnen als Entscheidungshilfe wesentliche Vor- und Nachteile der wichtigsten Systeme aufzeigen.



| System | Freie Lüftung | | Abluftsystem | | Zu-/Abluftsystem | |
|---|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| | Manuelles Fensterlüften | Außenbau-Luftdurchlässe | dezentral | zentral | dezentral | zentral |
| Lüftung und Lufthygiene | | | | | | |
| Kontinuierliche Lüftung | | | | | | |
| Abfuhr von Schadstoffen | | | | | | |
| Bedarfsführung mit Sensoren | | | | | | |
| Reinigung der Außenluft mit Luftfiltern | | | | | | |
| Schutz vor Atemwegsallergien | | | | | | |
| Schallschutz | | | | | | |
| Schallschutz mit Schalldämpfern | | | | | | |
| Energieeinsparung | | | | | | |
| Wärmerückgewinnung | | | | | | |
| Abluft-Wärmepumpe | | | | | | |
| Erdreich-Wärmeüberträger | | | | | | |
| Kosten im Einfamilienhaus | | | | | | |
| Investition | 0 Euro | 500-1.000 Euro | 1.000-2.000 Euro | 2.000-3.000 Euro | 5.000-10.000 Euro | 6.000-12.000 Euro |
| Fördermöglichkeiten <small>Stand: September 2020 – Förderbedingungen können sich jederzeit ändern.</small> | – | – | – | – | KfW Länder-ebene | KfW BAFA Länder-ebene |
| Energiekosten | Referenzfall | etwa gleich | steigen | steigen | sinken | sinken |
| Wartungsaufwand | keiner | minimal | 1* | 2* | 3* | 4* |

1* eventuell Filterreinigung/
Filtertausch, Gerätewartung

2* eventuell Filterreinigung/
Filtertausch, Anlagenwartung

3* 2 x jährlich Filterreinigung/
Filtertausch, Gerätewartung

4* 2 x jährlich Filterreinigung/
Filtertausch, Anlagenwartung



Bei der Wahl des passenden Systems spielen verschiedene Faktoren eine wichtige Rolle: neben den persönlichen Anforderungen (Schutz bei Allergien etc.) auch zum Beispiel der Standort des Gebäudes (Außenschall und Luftbelastung der Umgebung etc.).

Dazu kommen die üblichen Überlegungen bei Entscheidungen für technische Systeme:

- Welches System kann bautechnisch installiert werden?
- Wie viel müssen Sie investieren? Wie hoch sind die Energiekosten?
- Wie viel Wartungsaufwand gibt es?

Sie sollten sich folgende Fragen stellen, um zu einer Entscheidung zu kommen:

- 1** Können Luftleitungen eingebaut werden (im Bestand durch Abkofferungen, im Neubau häufig in die Decke integriert)?
 - Ja: Zentrale Systeme sind möglich.
 - Nein: Zentrale Systeme sind nicht möglich. Dezentrale Systeme sind eine Alternative.
- 2** Können Öffnungen in der Gebäudehülle angeordnet werden (als Kernbohrung in der Außenwand oder integriert in das Fenster oder den Rollladenkasten)?
 - Ja: Dezentrale Systeme sind möglich.
 - Nein: Dezentrale Systeme sind nicht möglich.
- 3** Wollen Sie eine gute Luftqualität bei starker Belastung der Umgebung erreichen?
 - Ja: Zentrale oder dezentrale Zu-/Abluftsysteme mit Luftfiltern sind sinnvoll.
- 4** Möchten Sie einen guten Schutz vor Außenlärm?
 - Ja: Zentrale Zu-/Abluftsysteme mit Schalldämpfern sind sinnvoll.
- 5** Wollen Sie Energie einsparen?
 - Ja: Zu-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung oder Abluftsysteme mit Abluft-Wärmepumpe sind sinnvoll.

- 6** Wie steht es um Ihr individuelles Gesundheitsbewusstsein?
Leiden Sie beispielsweise unter Konzentrationsproblemen oder Allergien?
➤ Ja: Zentrale Zu-/Abluftsysteme mit hochwertigen Filtern sind sinnvoll.
- 7** Gibt es womöglich Probleme mit zu geringer Luftfeuchtigkeit?
➤ Ja: Zentrale Zu-/Abluftsysteme mit Feuchterückgewinnung sind sinnvoll.



Glossar

Abluft

Abluft ist die Luft, die mit einem ventilatorgestützten Lüftungssystem aus den Räumen abgesaugt wird. Diese Luftabsaugung erfolgt typischerweise in den sogenannten Feuchträumen (also Küche, Bad, WC, Sauna usw.). Hier ist die Luft besonders feucht und gegebenenfalls mit Schadstoffen und Gerüchen belastet.

Abluft-Wärmepumpe

Als Wärmepumpe wird generell eine Maschine bezeichnet, die in einem kontinuierlichen Kreisprozess Wärme von einem Medium (Wärmequelle) auf ein anderes Medium (Wärmesenke) überträgt. Dabei hat die Wärmequelle (zum Beispiel Außenluft) eine niedrigere Temperatur als die Wärmesenke (zum Beispiel Heizungswasser). Die Wärme wird also auf ein höheres Temperaturniveau „gepumpt“. Eine Abluft-Wärmepumpe nutzt die Abluft als Wärmequelle, um die Zuluft zu erwärmen oder Wasser für Heizung oder Warmwasser zu erhitzen.

Bedarfsführung

Ein Lüftungssystem wird als bedarfsgeführt bezeichnet, wenn der Luftwechsel beziehungsweise der Luftvolumenstrom im Lüftungsgerät automatisch an den tatsächlichen Lüftungsbedarf angepasst wird. Das Lüftungsgerät erfasst dazu mithilfe von Sensoren (zum Beispiel Feuchte oder Kohlendioxid, aber auch VOC oder Radon sind möglich) die Luftqualität und verändert die Drehzahl der Ventilatoren und damit den Luftwechsel entsprechend.

Erdreich-Wärmeübertrager

Als Erdreich-Wärmeübertrager bezeichnet man die Luftführung der Außenluft durch eine im Erdreich verlegte Leitung zum Lüftungsgerät. Dabei macht man sich den Temperaturunterschied zwischen Außenluft und Erdreich zunutze, um die Außenluft im Winter vorzuheizen und im Sommer abzukühlen.

Alternativ zur direkten Verlegung der Luftleitung im Erdreich kann der Fachbetrieb eine mit Sole durchströmte Leitung im Erdreich verlegen (sogenannter Erdreich-Sole-Wärmeübertrager). Die Wärme wird dann vom Erdreich auf die Sole übertragen und erst danach – besser regelbar – mit einem zwischengeschalteten Wärmeübertrager von der Sole auf die Außenluft.

Ventilator

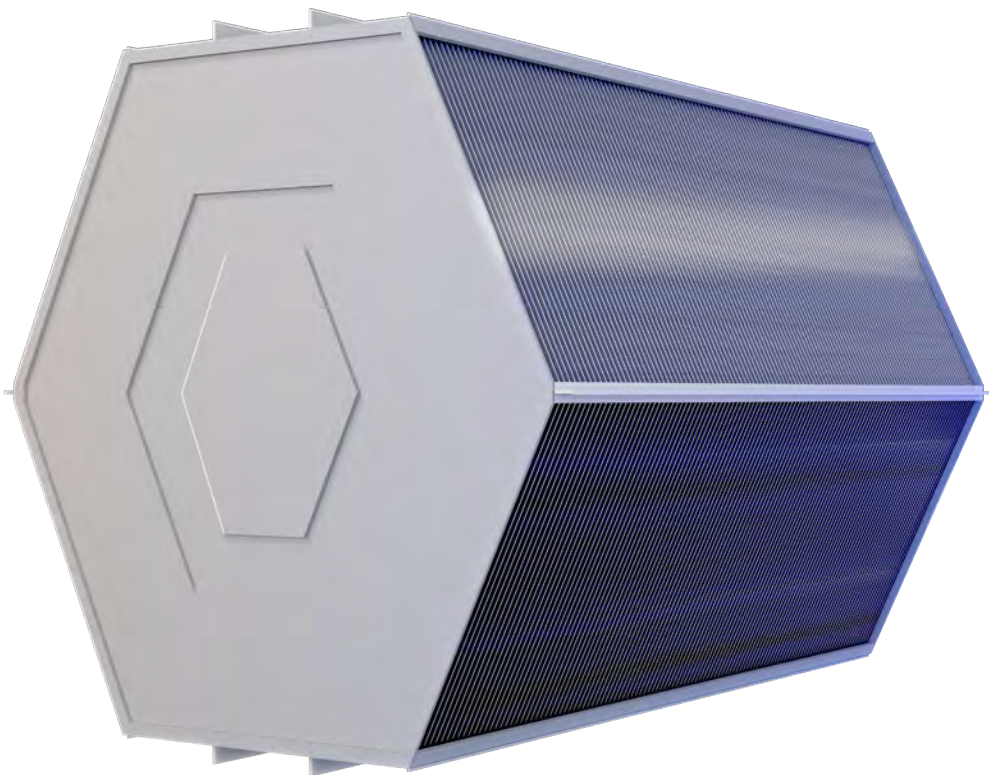
Ventilatoren bewegen die Luftmassen in Lüftungsgeräten. In einem zentralen Zu-/Abluftsystem gibt es zwei Stück: einen für die Zuluft und einen für die Abluft. Hochwertige Ventilatoren laufen ruhig und messen den Volumenstrom sehr präzise.



Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung beschreibt üblicherweise einen Prozess, bei dem Abwärme eines wärmeren Mediums für die Erwärmung eines kühleren Mediums genutzt wird. Im Fall der ventilatorgestützten Lüftung wird in der Heizzeit die warme Abluft genutzt, um die kalte Außenluft vorzuwärmen (nach der Wärmerückgewinnung spricht man dann von Zuluft). Das dafür verwendete Bauteil heißt Wärmetauscher oder Wärmeübertrager (exakt Abluft-Zuluft-Wärmeübertrager).

Für diese Wärmeübertrager gibt es unterschiedliche technische Lösungen. Gebräuchlich sind Plattenwärme-Übertrager (nach der Art der Durchströmung zum Beispiel als Gegenströmer oder als Kreuzgegenströmer ausgeführt), Wärmeübertrager mit Umschaltung zwischen Speichern oder rotierende Wärmeübertrager.



Zuluft

Zuluft ist die Luft, die mit einem ventilatorgestützten Lüftungssystem den Räumen zugeführt wird. Im Unterschied zur Außenluft ist diese Luft „behandelt“, also etwa vorgewärmt und gefiltert. Diese Luftzuführung erfolgt typischerweise in den sogenannten Aufenthaltsräumen, wo die Anforderungen an die Luftqualität besonders hoch sind (also Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Arbeitszimmer usw.).



Quellenverzeichnis

- i Brasche et al.: Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Auswirkungen von Feuchteschäden in Wohnungen, Bundesgesundheitsblatt 8/2003
- ii https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Hygiene.html, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- iii <https://www.co2online.de/service/klima-orakel/beitrag/wie-viel-co2-atmet-der-mensch-aus-8518/>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- iv Pettenkofer, M.v.: Besprechung allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen In: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden J.G.Cotta'sche Buchhandlung, München, 1858
- v <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/zusammensetzung-der-luft>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- vi <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- vii <https://www.beuth.de/de/norm/din-1946-6/314483915>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- viii <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014R1253-20170109&from=DE>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- ix <https://tzwl.de/endkunden/infoportal-wohnungslueftung/tzwl-ebulletin>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020
- x <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4640-blatt-4-thermische-nutzung-des-untergrundes-direkte-nutzungen>, zuletzt abgerufen am 24.08.2020

Impressum

Die WOLF GmbH ist Herausgeberin dieses E-Books. Sie zählt zu den führenden Systemanbietern von Heizungs- und Frischluftsystemen. Das Unternehmen ist Experte für gesundes Raumklima und unterstreicht diesen Anspruch mit Publikationen wie dieser.



WOLF GmbH

Industriestraße 1
84048 Mainburg
Web: www.wolf.eu

Kontakt

Tel. +49 (0) 8751 74-0
Fax. +49 (0) 8751 74-1600
eMail: info@wolf.eu

Bildnachweise

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| Cover | © SmartPhotoLab / Shutterstock |
| Seite 4 | © WOLF GmbH |
| Seite 5..... | © S.Kobold / Adobe Stock |
| Seite 6..... | © tunedin / Adobe Stock |
| Seite 11 | © WOLF GmbH |
| Seite 13..... | © Ralf Geithe / Adobe Stock |
| Seite 15..... | © WOLF GmbH |
| Seite 16..... | © WOLF GmbH |
| Seite 18..... | © Vadim Georgiev / Shutterstock |
| Seite 19..... | © Friends Stock / Adobe Stock |
| Seite 21..... | © WOLF GmbH |
| Seite 22 | © WOLF GmbH |
| Seite 24 | © WOLF GmbH |
| Seite 26 | © rh2010 / Adobe Stock |
| Seite 27..... | © WOLF GmbH |
| Seite 29 | © LUMINA / Stocksy |
| Seite 31..... | © fizkes / Adobe Stock |
| Seite 32 | © Klaus Vedfelt / gettyimages |
| Seite 34 | © manushot / Adobe Stock |
| Seite 35 | © WOLF GmbH |
| Seite 38 | © Kristin Gründler / Adobe Stock |
| Seite 39 | © RyanJLane / gettyimages |
| Seite 40 | © WOLF GmbH |
| Seite 42 | © denisismagilov / Fotolia |
| Seite 44 | © fizkes / Shutterstock |
| Seite 46 | © WOLF GmbH |
| Seite 47 | © WOLF GmbH |
| Seite 48 | © Christian Hillebrand / Adobe Stock |