

Die Wohnungslüftung im **MINERGIE** - Haus

Planungshilfe für Baufachleute



Verfasser Rudolf Fraefel
dipl. Architekt ETH SIA, Grüningen

Lüftungstechnische Fachberatung Heinrich Huber und Prof. Miro Trawnika
Hochschule Technik + Architektur Luzern

Inhalt

0. Zu diesem Heft	3
0.1 Frische Luft im MINERGIE-Haus	
0.2 An wen richtet sich die Planungshilfe	
0.3 Praxisbezug	
1. Vier Methoden, ein Haus zu lüften	4
1.1 Die Ritzenlüftung	
1.2 Die Dauerlüftung	
1.3 Die Stosslüftung	
1.4 Die Lüfterneuerungsanlage	
2. Planungsgrundsätze	6
3. Begriffe und Abgrenzungen	7
3.1 Die kontrollierte Wohnungslüftung	
3.2 Die Lüfterneuerungsanlage	
3.3 Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	
4. Frischluft für die Bewohner	8
4.1 Die Luftführung in der Wohnung	
4.2 Die Luftbewegungen im Raum	
4.3 Die Aussenluftfrate	
4.4 Die Zuluft	
4.5 Die Abluft	
4.6 Die Betriebsweise	
5. Das interne Leitungsnetz	14
5.1 Einzelgerät oder zentrale Anlage	
5.2 Die Materialwahl	
5.3 Die Leitungsführung im Haus	
5.4 Die Leitungsführung in der Wohnung	
5.5 Ein- und Auslässe	
5.6 Schallschutz	
5.7 Einstellelemente	
5.8 Brandschutz	
6. Das Kompaktgerät	20
6.1 Der Wärmetauscher	
6.2 Die Ventilatoren	
6.3 Technische Kennzahlen	
6.4 Die Filter	
6.5 Der Frostschutz	
7. Das externe Leitungsnetz	23
7.1 Die direkte Aussenluftfassung	
7.2 Das Erdregister	
7.3 Der Fortluftauslass	
8. Sonderfälle	27
8.1 Abwärmenutzung	
8.2 Einzelraumgeräte	
8.3 Luftheizung	
9. Die erfolgreichsten Konzepte	30
9.1 Zentrale Anlagen	
9.2 Dezentrale Anlagen	

Die Wohnungslüftung im MINERGIE-Haus. Planungshilfe für Baufachleute

Herausgeber

CLIMA SUISSE
Verband Schweizerischer
Heizungs- und Lüftungsfirmer
Olgastrasse 6 8024 Zürich
Tel. 01 250 52 32
Fax 01 250 52 32
E-Mail info@climasuisse.ch
Homepage <http://www.climasuisse.ch>

Verein MINERGIE
MINERGIE Agentur Bau
c/o Bürgi + Raaflaub, dipl. Arch. ETH SIA
Optingenstrasse 54, 3013 Bern
Tel. 031 333 30 33
Fax 031 333 30 43
E-Mail buergiraaflaub@access.ch
Homepage <http://www.minergie.ch>

Finanzielle Unterstützung

Bundesamt für Energie
Bau-, Verkehrs- und Energiedepartement
des Kantons Bern
Service cantonal de l'énergie Valais

Bezug

CLIMA SUISSE, Zürich
oder bei allen kantonalen
Energiefachstellen

Oktober 1999

0. Zu diesem Heft

0.1 Frische Luft im Minergiehaus

Der MINERGIE-Standard verfolgt erklärtermaßen die nebenstehenden 5 Ziele. Um diese Ziele zu erreichen, steht ein Strauß von möglichen Massnahmen zur Verfügung. Eine der wichtigsten ist die Lüfterneuerungsanlage. Sie gewährleistet in allen Räumen jederzeit die nötige Frischluft, sie führt kontinuierlich verbrauchte Luft, Feuchtigkeit, Gerüche und Schadstoffe ab, sie ermöglicht eine wirksame Wärmerückgewinnung, und sie ist selbst bei heutigen Energiepreisen nahe an der Wirtschaftlichkeitsschwelle.

Konsequenterweise verlangen die Bestimmungen für Minergiehäuser zwingend nach einer kontrollierten Frischluftzufuhr (vgl. Kasten). Es ist jedoch nicht festgelegt, mit welchen Mitteln dieses Ziel erreicht werden soll. Diese Frage zu beantworten, ist der Hauptzweck des vorliegenden Hefts.

0.2 An wen richtet sich diese Planungshilfe

Das vorliegende Heft richtet sich in erster Linie an den Fachmann: Den Haustechnikplaner, den Installateur, den Architekten. Das bau- und haustechnische Grundwissen wird vorausgesetzt. Die Planungshilfe kann unmöglich eine Fachausbildung ersetzen.

Die physikalischen, technischen, physiologischen und wirtschaftlichen Grundlagen werden vorausgesetzt. Sie werden nur insoweit behandelt, als die Wohnungslüftung diesbezügliche Besonderheiten aufweist, welche von der übrigen Lüftungstechnik abweichen. Zusätzliche Informationen finden Sie im Teil 3 des Leitfadens.

Dieses Heft ist - wie der Name sagt - bewusst darauf ausgerichtet, Sie bei der Planung von Wohnungslüftungsanlagen zu unterstützen. Es liefert keine Kochrezepte, sondern nur die Zutaten für ein gelungenes Menu. Der Koch sind und bleiben Sie selber. Dementsprechend finden Sie keine Patentlösungen. Vielmehr werden Ziele und Probleme aufgezeigt und Lösungsvarianten mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert.

0.3 Praxisbezug

Es ist wohl kein Zufall, dass die Federführung bei der Ausarbeitung dieser Planungshilfe nicht bei den Lüftungsfachleuten, sondern bei einem Architekten mit langer Baupraxis auf dem Gebiet der Wohnungslüftung lag. Priorität haben deshalb in diesem Heft

- nicht die wissenschaftlichen Grundlagen, sondern die konkreten Erfahrungen.
- nicht die Lüftungstechnischen Details, sondern die grundlegenden Konzepte.
- nicht die theoretische Exaktheit, sondern die praktische Anwendbarkeit.
- nicht die fachtechnische Vollständigkeit und Genauigkeit, sondern die Übersichtlichkeit und Verständlichkeit.

Es ist natürlich unvermeidlich, dass da und dort die persönlichen Ansichten des Verfassers oder der Fachberater durchschimmern. Nach Möglichkeit werden sie jedoch als solche deklariert.

MINERGIE-Ziele

- 1. Komfort**
- 2. Gesundheit**
- 3. Schadenfreiheit**
- 4. Energieeffizienz**
- 5. Wirtschaftlichkeit**

Die hohe Dichtigkeit der Bauten setzt für den Wohnbereich eine kontrollierbare, für den Komfort notwendige Frischluftzufuhr, mit oder ohne Wärmerückgewinnung, voraus. Unkontrollierte Fensterlüftung genügt dem MINERGIE-Standard nicht.

*Auszug aus dem MINERGIE-Reglement vom
Dezember 1998, Anhang C.*

1. Vier Methoden, ein Haus zu lüften

1.1 Die Ritzenlüftung

Bei der Ritzenlüftung findet der Luftaustausch zwischen Innen und Aussen durch irgendwelche Undichtigkeiten der Gebäudehülle statt.

Das System ist aus mehreren Gründen unbrauchbar:

- Die Luftmengen sind nicht kontrollierbar und schwanken je nach Witterung stark. Drastisch gesagt: Wenn es stürmt, friert man, bei Windstille stinkt's.
- In hohen Räumen oder in Häusern mit offenen Treppen führt der Kamineffekt zu viel zu hohen Luftwechseln. Die Folge sind unkomfortable Temperaturen (kalte Füsse) und hohe Wärmeverluste.
- Wo über längere Zeit warme Luft nach aussen strömt, entsteht innerhalb der Konstruktion Kondenswasser in bedeutenden Mengen (Grössenordnung mehrere Liter pro Monat), was unweigerlich zu Bauschäden führt. Luftdichte Gebäudehüllen sind deshalb heute weitgehend Stand der Technik.

1.2 Die Dauerlüftung

Unter Dauerlüftung versteht man einen permanenten Luftwechsel durch dafür vorgesehene Aussenluftöffnungen. Der häufigste Fall ist der berüchtigte Kippflügel.

Auch diese Methode weist gravierende Nachteile auf:

- In dauergelüfteten Zimmern ist es im Winter unangenehm kalt.
- Auch die zeitweise Dauerlüftung (z.B. in Schlafzimmern nur nachts) kühlt die Räume stark aus.
- Die Luftwechsel sind viel zu hoch (je nach Heizleistung, Zimmer- und Fenstergrösse bis zu 10 h^{-1} und mehr). Die Folge sind extrem hohe Wärmeverluste.
- Durch die geöffneten Fenster können Immissionen wie Staub, Pollen, Insekten und Lärm ungehindert eindringen.

1.3 Die Stosslüftung

Die Stosslüftung besteht darin, in regelmässigen Abständen kurz, aber gründlich durchzulüften und dazwischen die Fenster geschlossen zu halten.

Dieses Prinzip wäre grundsätzlich brauchbar, sofern die Anforderungen gemäss nebenstehendem Kasten erfüllt werden könnten. Die Nachteile der Stosslüftung liegen jedoch auf der Hand:

- Es ist offensichtlich, dass die dargestellten Bedingungen auch den gewissenhaftesten Bewohner überfordern. Die Aufgabe, eine Wohnung (und erst recht ein ganzes Haus) nach diesen Vorgaben zu lüften, ist schon fast eine vollamtliche Tätigkeit. Und wer steht schon nachts alle 2 Stunden auf, um stosszulüften?
- Auch bei gewissenhafter Fensterbedienung sind die Komfortbedingungen ungemütlich: Vor dem Lüften herrscht "dicke Luft", während dem Lüften zieht es, und nach dem Lüften ist es kalt.

Intervalle für die Stosslüftung	
Wohnzimmer ohne Raucher	2 Std.
Wohnzimmer mit Raucher(n)	½..1 Std.
Schlafzimmer	2 Std.
Klassenzimmer (25 Schüler)	20 Min.
Dauer der Lüftung (je nach Anordnung und Grösse der Fenster)	½..3 Min.

1.4 Die Lüfterneuerungsanlage

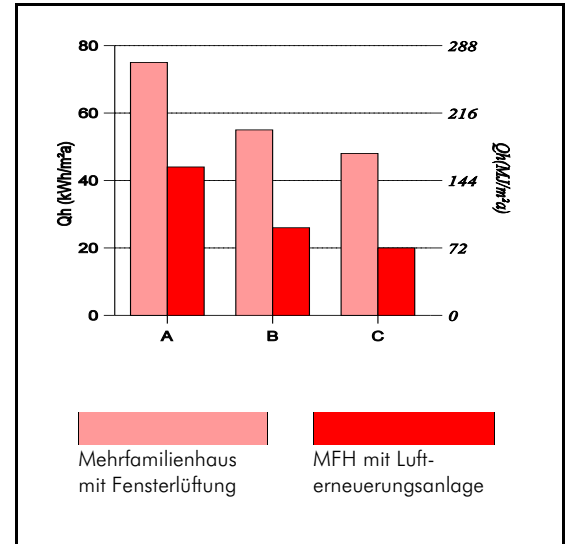
Die Lüfterneuerungsanlage ist die einzige Methode, welche alle Anforderungen erfüllt:

- Jederzeit in jedem Raum genau die richtige Frischluft rate.
- Schadstoffe aller Art (Wohngifte, Tabakrauch, Keime, Pollen, Radon...) werden kontinuierlich abgeführt.
- Keine überhöhte Luftfeuchtigkeit, daher kein Oberflächenkondensat, keine Schimmelbildung und dergleichen.
- Kein Bedienungsaufwand.
- Keine Auskühlung der Räume.
- Keine Zugerscheinungen.
- Es kann bei geschlossenen Fenstern gewohnt und geschlafen werden (Aussenlärm!).
- Die Abluftwärme wird zurückgewonnen. Die Heizenergieeinsparung ist bedeutend (vgl. Diagramm).
- Für Allergiker können Pollenfilter eingebaut werden.

Es fällt auf, dass die wichtigsten Vorteile der Lüfterneuerungsanlage (siehe Kasten) sich genau mit den Zielen des Minergiestandards decken (vgl. 0.1). Nicht umsonst bildet sie einen zentralen Bestandteil des Minergiekonzepts.

Die einzigen Nachteile der Lüfterneuerungsanlage sind psychologischer Natur:

- Von der Fensterlüftung her ist man gewohnt, dass frische Luft kalt ist, und dass warme Luft verbraucht ist. Warme Frischluft ist ungewohnt und erfordert ein Umdenken.
- Das Schlafen bei geschlossenem Fenster verlangt von den meisten Menschen eine Umgewöhnung.



Auswirkung der Lüfterneuerungsanlage auf den Heizenergiebedarf

A = normal gedämmtes MFH

B = gut gedämmtes MFH

C = supergedämmtes MFH

Die wichtigsten Vorteile der Lüfterneuerungsanlage

- | | |
|----------------------|--|
| • Komfort | Keine kalten Räume, keine Zugluft |
| • Gesundheit | Frische Luft, keine Schadstoffe |
| • Schadenfreiheit | Kein Kondensat, kein Schimmel und dgl. |
| • Energieverbrauch | Wärmerückgewinnung |
| • Wirtschaftlichkeit | Energiekosteeinsparung |

2. Planungsgrundsätze

Bei der Planung einer Lüfterneuerungsanlage liegen die Prioritäten anders als bei grösseren Anlagen. Die Rangfolge im nebenstehenden Kasten entspricht den erfahrungsgemäss am häufigsten geäusserten Wünschen der Bewohner. Die aufgeführten Forderungen haben Vorrang vor der technischen Perfektion.

Als Folge dieser Forderungen unterscheiden sich Lüfterneuerungsanlagen in vielen Punkten von konventionellen Lüftungsanlagen.

- Die Lüftraten sind um Grössenordnungen kleiner.
- Die Vermeidung bzw. Dämpfung von Strömungs- und Ventilatorgeräuschen hat höchste Priorität.
- Gefragt sind einfachste, robuste, schon beinahe unprofessionell simple Low-Tech-Anlagen.
- Es kommen in den meisten Fällen einfache Kompaktgeräte ab Stange zur Anwendung. Monoblockartige Anlagen sind eher die Ausnahme, etwa bei grösseren Zentralanlagen.
- Die Luft wird kaum konditioniert. Die Behandlung beschränkt sich normalerweise auf Filterung und Wärmeaustausch.
- Die Geräte müssen häufig an ungewohnten Orten plaziert werden, vor allem bei Renovationen, z.B. in Dachräumen, in Abstellräumen, in Schränken, in Deckenhohlräumen etc.
- Die Rohr- und Kanalführung muss sich nach den räumlichen Gegebenheiten richten. Besondere Trassen, Steigschächte etc. stehen oft nicht zur Verfügung.
- Die elektrische Leistungsaufnahme bewegt sich in ganz anderen Grössenordnungen als gewohnt. 100W pro Wohnung gelten bereits als zu hoch.
- Die Gesamtkosten müssen inkl. Erdregister, Honorare und Nebenkosten deutlich unter den folgenden Beträgen liegen:

Fr. 18 000 für ein Einfamilienhaus, Fr. 12 000 für eine Wohnung

Diese Ziele lassen sich erfahrungsgemäss nur erreichen, wenn die zwei nebenstehenden Planungsgrundsätze konsequent befolgt werden.

Die Low-Tech-Philosophie solcher Anlagen verlangt von allen Beteiligten ein Umdenken. Dementsprechend ist diese Studie nicht nur für Lüftungsplaner (hoffentlich) von Interesse, sondern ebenso für

- Bauherrschaften
- Architekten
- Haustechnikplaner
- Gerätehersteller
- Installateure
- und nicht zuletzt die Bewohner.

Die 8 Wünsche des Bewohners

Der Bewohner erwartet von der Wohnungslüftung folgende 8 Qualitäten (in dieser Rangfolge):

1. Geräuschlosigkeit
2. Luftqualität
3. Günstiger Preis
4. Einfachheit und Übersichtlichkeit
5. Kein Bedienungsaufwand
6. Wenig Unterhalt
7. Niedriger Stromverbrauch
8. Geringer Platzbedarf

Die 2 Konsequenzen für den Planer

1. Möglichst kleine Luftmengen.
2. Immer die einfachste, billigste und technisch anspruchsloseste Lösung suchen.

3. Begriffe und Abgrenzungen

Die kurz formulierten Begriffsdefinitionen sind im nebenstehenden Kasten zusammengefasst. Nachstehend dazu einige Erläuterungen und Präzisierungen.

3.1 Die Kontrollierte Wohnungslüftung

Der Begriff der kontrollierten Wohnungslüftung umfasst alle baulichen und technischen Einrichtungen für den durch Ventilatoren angetriebenen Luftaustausch zwischen der Wohnung und der Aussenluft. Dazu gehören - neben den eigentlichen Lüfterneuerungsanlagen - auch:

- Reine Abluftanlagen mit und ohne Abwärmenutzung.
- Fenster- und Wandventilatoren, Küchendunstabzüge und dgl.

Nicht unter diesen Begriff fallen:

- Fensterlüftung
- Passive Lüftungssysteme
- Vorrichtungen zur Abwärmenutzung

3.2 Die Lüfterneuerungsanlage

Dieser Begriff ist neueren Datums. Er wurde geprägt aus der Erkenntnis, dass der Begriff "Lüftung" bei vielen Menschen negativ besetzt ist. Die Bezeichnung "Lüfterneuerungsanlage" hat einen attraktiveren Klang: gegen erneuerte Luft hat niemand etwas einzuwenden.

Oft wird für solche Anlagen auch der Begriff „Komfortlüftung“ gebraucht, weil der Komfortaspekt für die meisten Bewohner im Vordergrund steht. Er wird hier jedoch bewusst nicht verwendet, weil er die Wohnungslüftung auf einen von fünf Aspekten reduziert (vgl. 0.1 und 1.4).

Technisch bezeichnet der Begriff "Lüfterneuerungsanlage" den gebräuchlichsten Typ der kontrollierten Wohnungslüftung (vgl. Kasten). Auf dieses System beziehen sich deshalb die Ausführungen der folgenden Hauptkapitel 4 bis 7. Sonderfälle behandelt das Kapitel 8.

3.3 Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

- *Wärmerückgewinnung (WRG)* ist eine Wärmeübertragung innerhalb eines Prozesses, bei welchem der Wärmeabnehmer eine tiefere Temperatur aufweist als die Wärmequelle. Zur Wärmerückgewinnung wird ein *Wärmetauscher* eingesetzt.
- *Abwärmenutzung* ist eine Wärmeübertragung zwischen unterschiedlichen Prozessen, bei welchen die Temperatur des Wärmeabnehmers höher liegt als die der Wärmequelle. Für diesen Vorgang ist eine *Wärmepumpe* notwendig.

Generell lässt sich daher sagen:

- Wärmerückgewinnung = Wärmetauscher
- Abwärmenutzung = Wärmepumpe

In den letzten Jahren sind Geräte auf dem Markt aufgetaucht, welche sowohl Elemente der Wärmerückgewinnung als auch der Abwärmenutzung enthalten. Bei solchen Anlagen verwischt sich die obige Abgrenzung. Zumindest gedanklich muss sie aber auch bei diesen Geräten beibehalten werden, um Denkfehler zu vermeiden.

Begriffe

Wohnungslüftung

Gesamtheit aller Vorrichtungen und Massnahmen in und an einer Wohnung zur Zufuhr von Frischluft und zur Abfuhr von belasteter Luft (inkl. Fensterlüftung).

Kontrollierte Wohnungslüftung

Lüftungsanlage, welche der Wohnung die Luft mit Hilfe von Ventilatoren zu- und/oder abführt.

Lüfterneuerungsanlage

Kontrollierte Wohnungslüftungsanlage mit folgenden Merkmalen:

- Gleiche Menge Zu- und Abluft.
- Kleine Luftmengen (nur physiologisches und bauphysikalisches Minimum).
- Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnung

Die WRG entzieht mit Hilfe eines *Wärmetauschers* der Abluft Wärme und erwärmt damit die Zuluft auf *weniger als die Ablufttemperatur*.

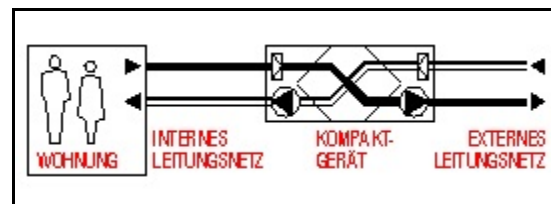
Abwärmenutzung

Die Abwärmenutzung entzieht mit Hilfe einer *Wärmepumpe* der Abluft Wärme und gibt sie *auf höherer Temperatur als die der Abluft* an die Heizung oder den Wassererwärmer ab.

4. Frischluft für die Bewohner

Eine typische Lüfterneuerungsanlage besteht aus 4 Hauptteilen (vgl. neben stehendes Schema). Diese 4 Teile werden in den Kapiteln 4 bis 7 behandelt.

- In diesem Kapitel: Die Wohnung und die Bewohner
- Im Kapitel 5: Das interne Leitungsnetz.
- Im Kapitel 6: Das Kompaktgerät.
- Im Kapitel 7: Das externe Leitungsnetz mit oder ohne Erdregister.



Prinzipisches Schema der typischen Lüfterneuerungsanlage

4.1 Die Luftführung in der Wohnung

Die Belegung der einzelnen Räume innerhalb der Wohnung ändert sich häufig, während in der Wohnung als Ganzes die Personenzahl mehr oder weniger konstant ist. Wie lässt sich das Problem des wechselnden Frischluftbedarfs der Räume bei gleichbleibendem Gesamtbedarf lösen? Grundsätzlich sind 3 Methoden denkbar:

a) Die Einzelraumlüftung

Jedem Raum wird der Volumenstrom zugeführt, den er bei Vollbelegung braucht. Diese Variante benötigt eine viel zu hohe Gesamtluftrate. Sie wird deshalb nur selten angewandt, z.B. bei Luftheizungen.

b) Die bedarfsgeregelte Einzelraumlüftung

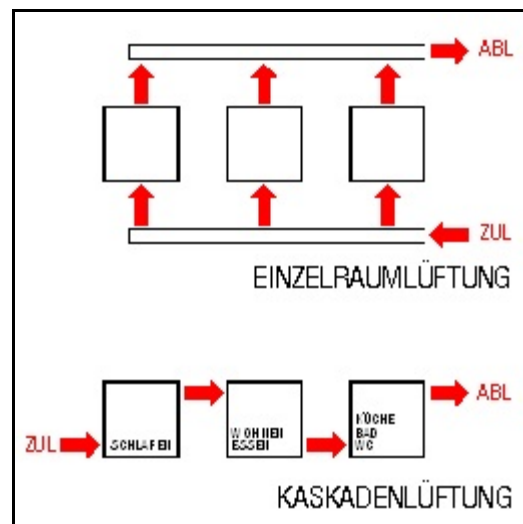
Diese Lösung verlangt entweder nach teuren und störungsanfälligen Regleinrichtungen. Die billigere Variante mit Handbedienung setzt eine Bedienungsdziplin voraus, welche - wie die Praxis zeigt - von den wenigsten Bewohnern aufgebracht wird. Die raumweise Bedarfsregelung ist deshalb für die Wohnungslüftung ungeeignet.

c) Die Kaskadenlüftung:

Bei diesem Konzept führt man die frische Luft nur den Schlafzimmern zu, lässt den Wohnbereich frei durchströmen und fasst die Abluft in den am stärksten belasteten Räumen wie Küche, Bad, WC.

Die Kaskadenlüftung hat sich bei Wohnungslüftungen weitgehend durchgesetzt, denn sie weist eine ganze Reihe von Vorteilen auf:

- Die Aussenluftraten sind viel kleiner, weil die gleiche Luft quasi mehrmals verwendet wird: Wenn die Bewohner schlafen, braucht der Wohnbereich keine Frischluft. Und umgekehrt: Wenn sich die Bewohner im Wohnzimmer aufhalten, kommt die Zuluft unverbraucht aus den Schlafzimmern.
- Die Aussenluftrate muss nur für die Schlafzimmer bemessen werden. Die übrigen Räume sind kaskadenartig nachgeschaltet.
- Die Räume mit den höchsten Ansprüchen an die Luftqualität sind die Schlafzimmer. Ihnen wird die Luft direkt zugeführt.
- Der Raum mit der potentiell grössten Personenbelegung ist das Wohn-Ess-Zimmer. Da ein grosser Teil der Luft aus allen Schlafzimmern ins Wohnzimmer gelangt, steht dort die grösste Luftrate zur Verfügung.
- Küche, Bad und WC sind die Räume mit der höchsten Belastung durch Gerüche und Feuchtigkeit. Hier spielt es keine Rolle, wenn die zuströmende Luft bereits etwas vorbelastet ist.
- Gleichzeitig sind diese Räume in der Regel viel kleiner als die Wohn- und Schlafräume. Somit entsteht hier von selbst ein grösserer Luftwechsel.
- Die Stömungsrichtung von den anspruchsvollen zu den belasteten Räumen verhindert eine Ausbreitung von Gerüchen und Schadstoffen in der Gegen-



Prinzipisches Schema der Kaskadenlüftung

richtung. Es gelangt beispielsweise kein Tabakrauch vom Wohnzimmer in die Kinderzimmer, und ebensowenig können sich WC-Gerüche oder Duschkämpfe gegen den Luftstrom in der Wohnung ausbreiten.

Die Kaskadenlüftung hat allerdings eine Einschränkung: Sie funktioniert in dieser Form nur, wenn die Räume entsprechend angeordnet sind, d.h. wenn die Luft auf dem Weg von den Schlafzimmern zur Küche oder zu den Nassräumen das Wohnzimmer durchqueren muss. In neueren Wohnhäusern ist dies meistens der Fall. Manche ältere Objekte haben jedoch ein separates, geschlossenes Wohnzimmer. In diesem Fall braucht das Wohnzimmer einen eigenen Zuluftauslass, wodurch sich natürlich die Gesamtluftrate erhöht.

4.2 Die Luftbewegungen im Raum

In Räumen mit Lüfterneuerungsanlage verhalten sich die Luftbewegungen grundlegend anders als bei konventionellen Anlagen mit grösseren Luftraten. Ein bisschen Theorie bleibt und hier nicht erspart.

4.2.1 Antriebsquellen

1. Wärmequellen

Wärmequellen sind die dominierende Antriebsquelle für Luftbewegungen im Raum. Heizkörper, Lampen, Personen, Computer etc. erzeugen einen Auftrieb, welcher eine oder mehrere Luftwalzen in Bewegung setzt. Vgl. Schema.

2. Kalte Flächen

Kalte Oberflächen (z.B. ein schlecht wärmedämmendes Fenster in einer kalten Nacht) erzeugen einen Kaltluftabfall, welcher ebenfalls eine Luftwalze antreiben kann. Im MINERGIE-Haus sind solche Antriebsquellen jedoch selten und schwach, weil die Aussenwände sehr gut gedämmt sind und hochisolierende Wärmeschutzfenster eingesetzt werden.

3. Personenbewegungen

Eine Person, welche im Raum umhergeht, verursacht Luftbewegungen, welche die Durchmischung der Raumluft fördern. Diese Bewegungen sind zwar intensiv, aber nur kurzzeitig, sodass ihr Einfluss insgesamt kleiner ist als derjenige der Wärmequellen.

4. Temperatur und Feuchtigkeit

Warme Luft ist leichter als kalte, und feuchte Luft ist leichter als trockene. Die Raumluft ist im allgemeinen wärmer und feuchter als die Zuluft. Deshalb sammelt sich die verbrauchte Luft tendenziell eher unter der Decke, während die Zuluft die Tendenz hat, über dem Boden einen „Frischlufsee“ zu bilden.

5. Zuluftauslässe

Auch die Zuluftauslässe haben einen Einfluss die Luftbewegungen im Raum. Er ist jedoch im Vergleich mit den Wärmequellen gering, da sowohl die Menge als auch die Geschwindigkeit der austretenden Luft klein ist, vor allem bei grossflächigen, schwach induzierenden Auslässen.

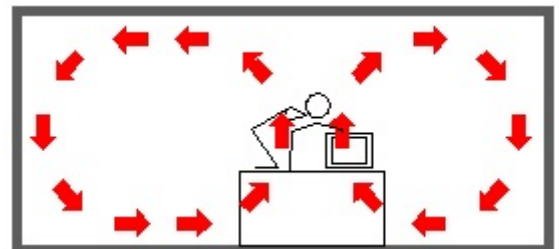
Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass die Ablufteinlässe die Luftbewegungen im Raum *nicht* beeinflussen.

4.2.2 Zwei mögliche Zustände

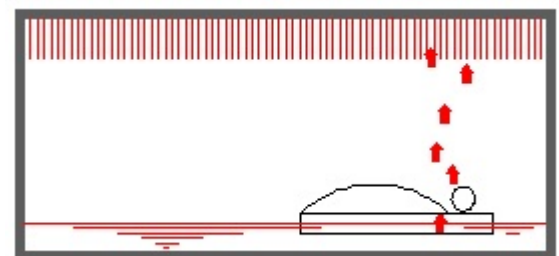
Aus der obigen Rangfolge lässt sich ableiten, dass sich die Raumluft normalerweise in einem der folgenden zwei Zustände befindet:

a) Durchmischung

Wenn es im Raum Wärmequellen, kalte Flächen oder Personenbewegungen gibt, wird die Raumluft praktisch homogen durchmischt.



Durchmischung



Schichtung

b) Schichtung

Wenn es im Raum keine Wärmequellen, kalten Flächen oder Personenbewegungen gibt, bilden sich entsprechend der Temperatur und Feuchtigkeit zwei mehr oder weniger ausgeprägte Luftschichten: Frischluft über dem Boden, verbrauchte Luft unter der Decke.

Diese Feststellungen bilden die Grundlage für die Anordnung der Aus- und Einlässe in den Räumen. Grundsatz:

- Bei Durchmischung: Position der Aus-, Ein- und Durchlässe frei.
- Bei Schichtung: Zuluftauslässe unten, Abluftein- oder Durchlässe oben, Zuluftauslässe schwach induzierend (= grossflächig, langsam fließend). Unteren Türspalt mit Planet abdichten.
- Mit induzierenden Zuluftauslässen kann eine Durchmischung erzwungen werden. Dadurch ist die Position der Aus-, Ein- und Durchlässe frei.

4.2.3 Anordnung der Aus- und Einlässe

a) Dusche und im Bad

Schon kurz nach der Benützung bildet sich eine Schichtung. Deshalb:

- Ablufteinlass oben im Raum.
- Nachströmdurchlass = unterer Türspalt.

b) Wohn- und Esszimmer

Während der Benützung ist die Luft vollständig durchmischt. Deshalb:

- Position der Aus-, Ein- und Durchlässe frei.
- Durchlässe so anordnen, wie es für angrenzende Räume günstig ist.

c) Schlaf- und Kinderzimmer: Optimalvariante

Am Tag: Wie Wohn- und Esszimmer.

Nachts: Fenster und Türen geschlossen, Personen zugedeckt, keine Wärmequellen. Luftschichtung. Deshalb:

- Zuluftauslass unten im Raum, schwach induzierend.
- Abluftdurchlass oben im Raum, schalldämpfend.
- Türe mit Planet.

d) Schlaf- und Kinderzimmer: Sparvariante

Induzierende Auslässe erzwingen eine Durchmischung. Deshalb:

- Position der Aus-, Ein- und Durchlässe frei.
- Als Abluftdurchlass kann der untere Türspalt verwendet werden.

Vorteil: Einfacher, billiger, überall möglich.

Nachteile: Schlechtere Schalldämmung. Für gleiche Luftqualität grössere Lüfrate nötig, bzw. bei gleicher Lüfrate schlechtere Luftqualität.

4.3 Die Aussenlüfrate

Die Aussenlüfrate errechnet sich gemäss der neuen Norm SIA 180 entweder nach der Personenbelegung oder nach der Feuchtigkeitsbelastung des Raumes oder der Wohnung.

a) Nach der Personenbelegung.

Für Nichtraucher gibt der Normentwurf eine minimale Aussenlüfrate von 12..15 m³/h·Person an.

b) Nach der Feuchtebelastung.

Die minimale Aussenlüfrate wird so bemessen, dass eine maximal zulässige absolute Luftfeuchte im Raum nicht überschritten wird.

Beide Bedingungen sind zu erfüllen. Daraus folgt:

- Bei kleinen Wohnungen (mehr Nassräume als Schlafzimmer) ist die Feuchtebelastung massgebend.
- Bei grösseren Wohnungen (mehr Schlafzimmer als Nassräume) ist die Personenbelegung massgebend.

Faustregeln für die Anordnung der Aus- und Einlässe im Raum

1. Die Lage der Aus- und Einlässe im Raumgrundriss ist unerheblich.
2. Zuluftauslässe nicht im Aufenthaltsbereich von Personen (Sitzmöbel, Arbeitsplätze, Betten...) anordnen. Faustregel: Mindestens 1m, besser 2 m Abstand in Ausblasrichtung.
3. Zuluftauslässe wenn möglich in Bodennähe anordnen.
4. Überströmdurchlässe von Räumen mit Zuluft (z.B. Schlafzimmer) in den Gang wenn möglich in der oberen Raumhälfte anordnen.
5. Überströmen durch den unteren Türspalt ist möglich, aber lüftungstechnisch und vor allem schallschutztechnisch schlechter.
6. Hingegen eignet sich der untere Türspalt als Überströmdurchlass vom Gang in die Nassräume.
7. Abluft in den Nassräumen (Küche, Bad, WC) immer in Deckennähe fassen.

Aussenlüfraten

Regel:

Kleinwohnungen
bis 3½ Zimmer 60m³/h·Wohnung

Grössere Wohnungen
ab 3½ Zimmer 30 m³/h·Schlafzimmer

Beispiele:

1½-Zimmerwohnung	60 m ³ /h
2½-Zimmerwohnung	60 m ³ /h
3½-Zimmerwohnung	60 m ³ /h
4½-Zimmerwohnung	90 m ³ /h
5½-Zimmerwohnung	120 m ³ /h
6½-Zimmerwohnung	150 m ³ /h

*Empfohlene Aussenlüfraten
in Mietwohnungen*

4.4 Die Zuluft

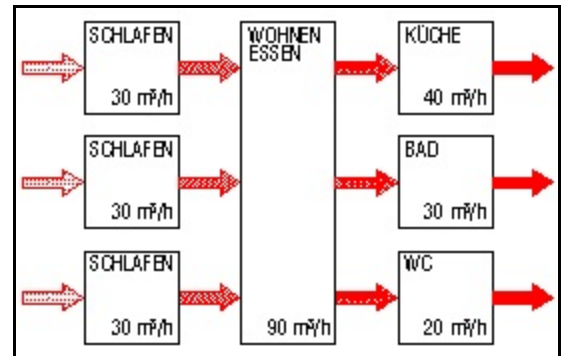
Bei 2 Personen pro Schlafzimmer ergibt sich als generelle Regel eine Zulufrate von $30\text{m}^3/\text{h}$ und Schlafzimmer. (Nach herkömmlicher Berechnungsweise ergibt das in diesen Räumen bei einer Zimmergrösse von 12 m^2 Bodenfläche = 30 m^3 Rauminhalt einem 1-fachen Luftwechsel/h.)

In Mietwohnungen werden alle Schlafzimmer unabhängig von der tatsächlichen Belegung für 2 Personen ausgelegt, auch wenn der Erstmieter bekannt ist. Denn erfahrungsgemäss werden bei Mieterwechseln die Anlagen kaum jemals nachreguliert. Büros, Gästezimmer etc. innerhalb der Wohnung werden wie Schlafzimmer behandelt.

In Einfamilienhäusern und Eigentumswohnungen kann die Luftrate pro Schlafzimmer gemäss der tatsächlichen Belegung einreguliert werden. Für Einzelzimmer kann die Luftrate etwas reduziert werden, womit sich die Gesamtluftmenge nochmals verkleinert. Im Hinblick auf aussergewöhnliche Situationen (zusätzliche Schadstoffquellen, mehrere Personen im Raum, teilweise offene Türen und dgl.) sollten jedoch $20\text{ m}^3/\text{h}$ und Zimmer nicht unterschritten werden.

Offene Wohnzimmer (d.h. Wohnzimmer, welche von der Luft auf dem Weg von den Schlafzimmern zur Küche oder zu den Nassräumen durchströmt werden) brauchen keine eigenen Zuluftauslässe (vgl. weiter oben im Abschnitt über die Kaskadenlüftung). Geschlossene Wohnzimmer ohne Raucher können wie ein Schlafzimmer behandelt werden. Zwar sind sie oft mit mehr als 2 Personen belegt, aber meist nur für relativ kurze Zeit.

Für Räume, in denen geraucht wird, sind keine allgemeingültigen Aussagen möglich. Dazu müsste bekannt sein, wieviele Personen rauchen, wie stark und was sie rauchen.



Lufführung und Luftmengen am Beispiel einer $4\frac{1}{2}$ -Zimmerwohnung

4.5 Die Abluft

4.5.1 Die Wohnung

Für die Wohnung als Ganzes gilt: *Zuluft* = *Abluft*. Die Abluftmenge wird jedoch sinnvollerweise nicht in allen Räumen gleich eingestellt. Sie richtet sich nach der Raumgrösse und nach dem Feuchtigkeitsanfall. Das nebenstehende Schema stellt eine sinnvolle Luftverteilung in einer $4\frac{1}{2}$ -Zimmerwohnung dar.

4.5.2 Das Bad oder WC

Herkömmliche Abluftanlagen in Nassräumen arbeiten mit wesentlich höheren Luftraten. Daher können sich hier unter Umständen Komfort- und Akzeptanzprobleme ergeben, weil es länger dauert, bis beispielsweise WC-Gerüche nicht mehr feststellbar sind.

Es wurde schon versucht, die Entstehung von WC-Gerüchen an der Quelle zu verhindern, indem die Abluft durch das Spülrohr der WC-Schüssel abgezogen wird. Die Idee ist grundsätzlich richtig. Aber sie widerspricht dem Grundsatz, die Abluft immer unter der Decke zu fassen. Wenn sich beispielsweise im gleichen Raum eine Dusche befindet, wird die Feuchtigkeit schlecht abgeführt, was zu Feuchteschäden führen kann.

Praktisch bewährt hat sich folgende Lösung: Die Abluft wird ganz normal unter der Decke gefasst. Wenn die Bewohner höhere Ansprüche an die Geruchs-beseitigung stellen, kann ein handelsüblicher Spülkasten mit Geruchsabsaugung und Geruchfilter (z.B. „Geberit Fresh“) oder ein entsprechender WC-Sitz (z.B. „Balena“) eingesetzt werden. Voraussetzung ist lediglich ein Stromanschluss beim WC.

4.5.3 Die Küche

Die normale Abluftmenge von ca. $30\text{...}80\text{ m}^3/\text{h}$ (je nach Wohnungsgrösse) genügt zwar erfahrungsgemäss bei normalem Kochen. Bei Belastungsspitzen

(Anbraten, Ablöschen...) sind jedoch um eine 10er-Potenz höhere Abluftleistungen notwendig. Mehrere Lösungen sind möglich:

a) Fensterlüftung

Die Fensterlüftung ist die einfachste und billigste Lösung. In Anbetracht der sehr kurzen und seltenen Belastungsspitzen ist es vertretbar, ab und zu das Küchenfenster für ein paar Minuten zu öffnen. Allerdings funktioniert die Fensterlüftung nur, wenn die Küche durch eine geschlossene Türe von der Wohnung getrennt ist. Andernfalls trägt sie im Gegenteil dazu bei, Küchengerüche in der ganzen Wohnung zu verteilen.

b) Abluftanlage

Die herkömmliche reine Abluftanlage widerspricht dem Grundsatz Zu-luft=Abluft. Sie erzeugt in der Wohnung einen Unterdruck. Die Ersatzluft wird unkontrolliert durch Ritzen, aus dem Treppenhaus oder sogar aus dem Cheminée angesaugt. Dieser Nachteil entfällt, wenn gleichzeitig das Küchenfenster geöffnet wird, oder wenn eine Nachströmöffnung in der Außenwand eingebaut wird. Dabei stellen sich aber die gleichen Komforteinbußen ein wie bei der Fensterlüftung.

c) Eigene Zu- und Abluftanlage mit WRG

Eine eigene Zu- und Abluftanlage mit WRG für die Küche ist eine optimale, aber teure Lösung. Ein einfaches und kostengünstiges Gerät für diesen Zweck ist zur Zeit noch nicht auf dem Markt.

d) Kombiniert mit der Wohnungslüftungsanlage

Es gibt Beispiele, bei denen bei Bedarf von der Küche aus die ganze Ersatzluftanlage auf eine höhere Stufe geschaltet werden kann. Da jedoch in einer offenen Küche ein wirksamer Dunstabzug eine Luftleistung von 500...1000 m³/h erbringen muss, bedeutet das, dass für diese seltenen und kurzzeitigen Spitzen die ganze Anlage 10-fach überdimensioniert werden muss.

e) Umluft-Dunstabzug

Eine weitere Möglichkeit ist ein handelsüblicher Umluft-Dunstabzug mit Kohlefilter. Er weist eine Reihe von Vorteilen auf:

- einfach
- billig
- kein Wärmeverlust
- keine Beeinflussung des Druckgleichgewichts

Ein Nachteil ist, dass je nach Beanspruchung etwa 1...3 Mal pro Jahr der Aktivkohlefilter ersetzt werden muss.

In Fachkreisen bestehen Vorbehalte gegenüber Aktivkohlefiltern für Küchenumluft. Dem steht gegenüber, dass viele Wohnobjekte (EFH und MFH) mit dieser Lösung ausgerüstet sind, bei denen keine Reklamationen bekannt sind.

Der Verfasser bevorzugt auf Grund guter Erfahrungen die Variante e). Auch die Varianten a), b) und c) werden mit Erfolg eingesetzt, wobei die Lösung a) nur in geschlossenen Küchen zu empfehlen ist. Die Variante c) könnte in Zukunft interessant werden, sobald hierfür ein einfaches und kostengünstiges Gerät auf den Markt kommt.

4.6 Die Betriebsweise

4.6.1 Ein/Aus-Betrieb oder Dauerbetrieb?

Eine oft diskutierte Frage ist, ob die Lüfterneuerungsanlage im Sommer abgeschaltet werden soll. Unter Sommer wird in diesem Zusammenhang die Zeit

ausserhalb der Heizperiode verstanden. Damit liesse sich die Betriebsdauer von fast 9000 Jahresstunden um etwa ein Drittel verkürzen.

Der Vorteil dieser Betriebsart ist die namhafte Stromeinsparung. Dem stehen jedoch auch Nachteile gegenüber:

- Im Sommer muss auf eine der anderen 3 Lüftungsmethoden zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel "Vier Methoden, ein Haus zu lüften"). Das ist jedoch nicht so einfach: Ritzen gibt es im MINERGIE-Haus keine, für Dauerlüftung ist es in unserem Klima auch im Sommer bei schlechtem Wetter häufig zu kühl, und die Stosslüftung bietet im Sommer die gleichen praktischen Probleme wie im Winter.
- Bei besonders sparsamen oder umweltbewussten Bewohnern besteht die Gefahr, dass die Anlage zu oft und zu lange ausgeschaltet wird, was zu unhygienischen Zuständen und zu Bauschäden führen kann.
- Der Vorteil der Stromeinsparung muss relativiert werden, da es sich ja um Sommerstrom handelt, welcher bekanntlich noch auf Jahrzehnte hinaus in genügender Menge zur Verfügung steht.
- Wenn eine Anlage ausgeschaltet werden kann, muss sie die trotzdem anfallenden Luftbelastungen in kürzerer Zeit abführen können. Sie muss deshalb grösser dimensioniert werden.
- Während der Stillstandzeit müssen die Zu- und Abluftleitungen mit dichten Klappen verschlossen sein, um Rückströmungen oder gar Überströmungen aus Nachbarwohnungen zu verhindern.

Als Resultat dieser Überlegungen kann gesagt werden, dass der Ein-Aus-Betrieb bei weitem mehr Nachteile als Vorteile aufweist. Der ganzjährig durchgehende, einstufige Betrieb ist in den meisten Fällen die zweckmässigste Lösung, ganz besonders in folgenden Fällen:

- Zentrale Anlagen in Mehrfamilienhäusern.
- Anlagen in Wohnungen mit innenliegenden Nassräumen.
- Anlagen mit Abwärmenutzung.
- In Neubauten in den ersten 2 Jahren, wenn noch Baufeuchtigkeit abgeführt werden muss.

Umso wichtiger ist natürlich die sorgfältige erstmalige Einregulierung.

4.6.2 Ein- oder mehrstufiger Betrieb?

Die Personenbelegung von Wohnungen ist nicht konstant. An Wochentagen sind die Bewohner tagsüber bei der Arbeit oder in der Schule, in den Ferien ist die Wohnung gänzlich unbewohnt. Andererseits können auch einmal mehrere zusätzliche Personen zu Besuch kommen, darunter vielleicht auch Raucher. Der Gedanke liegt nahe, die Ventilatorendrehzahl der Belastung anzupassen.

In der Schweiz sind viele Anlagen mit mehrstufigem Betrieb realisiert worden. Gute Erfahrungen wurden dort gesammelt, wo die Bedingungen gemäss nebenstehendem Kasten erfüllt sind. Die wichtigste Voraussetzung ist jedoch die Bereitschaft der Bewohner, sich aktiv mit dem Lüften zu befassen. Bei Eigentumswohnungen und Einfamilienhäusern ist dies eher der Fall als in Mietwohnungen.

Der Verfasser bevorzugt aus folgenden Gründen einstufige Anlagen:

- Die einmalige Einregulierung auf das Betriebsoptimum bleibt unverändert.
- Funktionssicherheit auch bei unkundigen oder unmotivierten Bewohnern.
- Keine Fehlbedienungen.
- Keine teuren Steuerungen, Schalter, Verdrahtungen etc.

Merkpunkte für individuelle Steuerungen:

- Übersichtliche und selbsterklärende Bedienungselemente
- Klare Beschriftungen
- Bedienungselemente an zentraler Lage in der Wohnung, z.B. im Korridor
- Klare Gebrauchsanleitungen
- Information und Instruktion der Bewohner
- In Mehrfamilienhäusern: Instruierte Ansprechperson (z.B. Hauswart)
- Minimallüftung oder Basisprogramm über eine Schaltuhr

5. Das interne Leitungsnetz

Das interne Leitungsnetz ist hier definiert als die Gesamtheit aller Rohre, Kanäle, Form- und Spezialstücke, Armaturen, Mess- und Regeleinrichtungen etc., welche dem Lufttransport vom Lüftungsgerät in die Wohnräume und zurück dienen.

5.1 Einzelgerät oder zentrale Anlage

Bei einem freistehenden EFH kommt natürlich nur die Einzelanlage in Frage. Schon bei einem Doppelhaus, und erst recht bei Reihen- und Mehrfamilienhäusern, müssen beide Varianten geprüft werden. Nach dem Grundsatzentscheid (Lufterneuerungsanlage ja oder nein) ist dies die zweite Frage, welche beantwortet werden muss.

Für die zentrale Anlage sprechen folgende Argumente:

- Es kann ein grösserer technischer Aufwand betrieben werden (bessere Tauscher, Filterüberwachung, Steuerung etc.), weil sich die Kosten auf mehrere Wohnungen verteilen.
- Die Regulierung und der Unterhalt kann zentral durch geschultes Personal durchgeführt werden.

Dezentrale Einzelanlagen pro Wohnung haben demgegenüber folgende Vorteile:

- Individueller Betrieb.
- Kein Verwaltungsaufwand. Der Strom läuft über den Wohnungszähler, der Unterhalt erfolgt individuell.
- Bessere Akzeptanz. Jeder Wohnungseigentümer hat seine eigene Anlage.
- Keine Steigschächte (sofern auf ein Erdregister verzichtet wird).
- Für Altbauten oft die einzig mögliche Lösung.
- Etappenweise Realisierung problemlos möglich.
- Einfache, gutmütige, billige Seriengeräte.
- In vielen Fällen tiefere Anlagekosten.

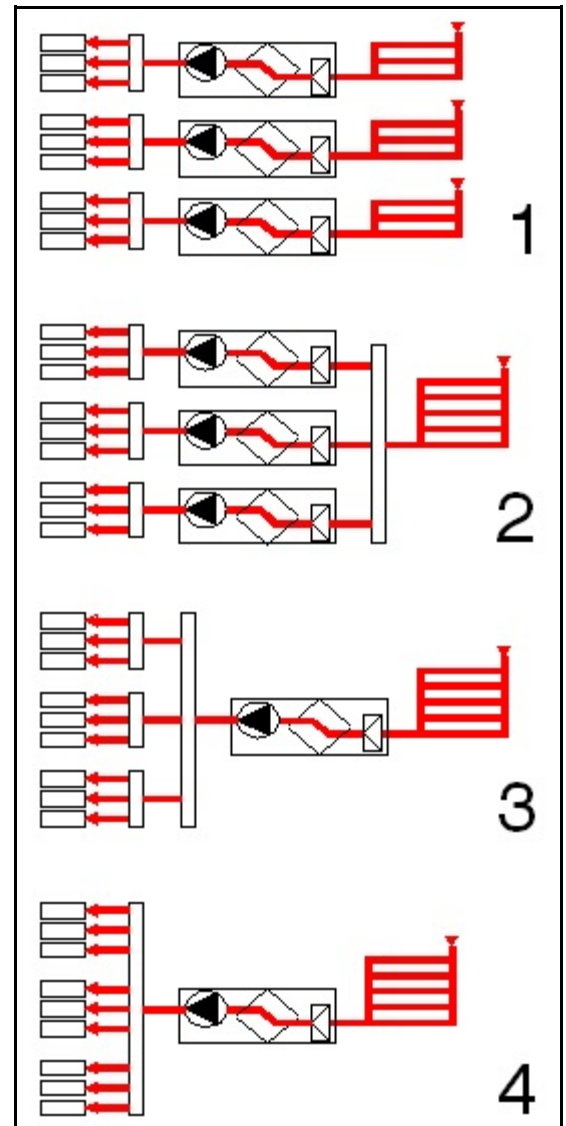
Möglich sind auch Zwischenlösungen, bei welchen nur ein Teil der Anlage zentralisiert ist. Vgl. Variante 1 bis 4 im nebenstehenden Schema. Dargestellt ist nur die Zuluft. Für die Abluft kommen die gleichen Systeme in Frage.

5.2 Die Materialwahl

In den meisten Fällen wird das interne Kanalnetz aus Rohren oder Kanälen aus verzinktem Stahlblech hergestellt. Das Material ist

- feuchtigkeitsbeständig
- hitzebeständig
- leicht zu bearbeiten und zu verlegen
- billig

Lufterneuerungsanlagen haben ein ungünstiges Verhältnis von Oberfläche zu gefördertem Volumenstrom. Deshalb muss besonders auf die luftdichte Ausföhrung geachtet werden. Leitungen, welche im Beton oder im Unterlagsboden eingelegt werden, sind von selber dicht. Bei den übrigen Leitungen sind besondere Massnahmen notwendig. Vgl. Kasten.



Schemata von teilweise zentralisierten Anlagen. Dargestellt ist nur die Zuluft.

Für die Abluft gelten die Schemata analog.

- 1 Einzelanlagen mit eigener Luffassung
- 2 Einzelanlagen mit gemeinsamer Luffassung
- 3 Zentralanlage mit dezentralen Wohnungsverteilern.
- 4 Zentralanlage mit zentraler Zimmerverteilung.

5.3 Die Leitungsführung im Haus

Diese Aufgabe stellt sich natürlich nur, wenn zentrale Anlagenteile vorkommen, wie Erdregister, Zentralgeräte oder Fortluftkanäle über Dach. Einzelanlagen mit je eigener Zu- und Abluft weisen ausschliesslich wohnungsinterne Kanäle auf.

Das Leitungskonzept ergibt sich aus dem Standort der Wohnungsverteiler.

- Schema 1: Wenn die Wohnungsverteiler dezentral in den Wohnungen platziert sind, genügt ein Steigkanal pro Wohnung.
- Schema 2: Sind die Wohnungsverteiler zentral angeordnet, z.B. im Untergeschoss, muss natürlich für jedes Zimmer eine eigene Steigleitung installiert werden. Diese Lösung kann dann vorteilhaft sein bei grossen Wohnungen, welche mehrere Steigzonen aufweisen. Die horizontale Verteilung zentral an der Kellerdecke ist oft einfacher und billiger als separat in jeder Wohnung.
- Auch Kombinationen sind möglich, z.B. ein Zuluftnetz nach Schema 1 und ein Abluftnetz nach Schema 2.

5.4 Die Leitungsführung in der Wohnung

5.4.1 Im Unterlagsboden

Die Luftführung in Flachkanälen im Unterlagsboden eignet sich besonders für die Zuluft, da deren Einlässe meist in Bodennähe liegen.

Vorteile:

- Der Lüftungsmonteur kann das ganze Leitungsnetz im ganzen Haus in einem Arbeitsgang verlegen.
- Bei einem späteren Umbau sind Anpassungen an der Kanalführung möglich, da ja bei Änderungen der Raumaufteilung der Unterlagsboden ohnehin angepasst werden muss.
- Das System eignet sich auch für Altbauten.

Nachteile:

- Der Unterlagsboden muss etwas dicker ausgeführt werden (erfahrungsgemäss = 8 cm).
- Kreuzungen mit Bodenheizungsrohren müssen vermieden werden.

5.4.2 In den Betondecken

Das bisher am häufigsten ausgeführte System sind in die Decken einbetonierte Spiro- oder Kunststoffrohre.

Vorteile:

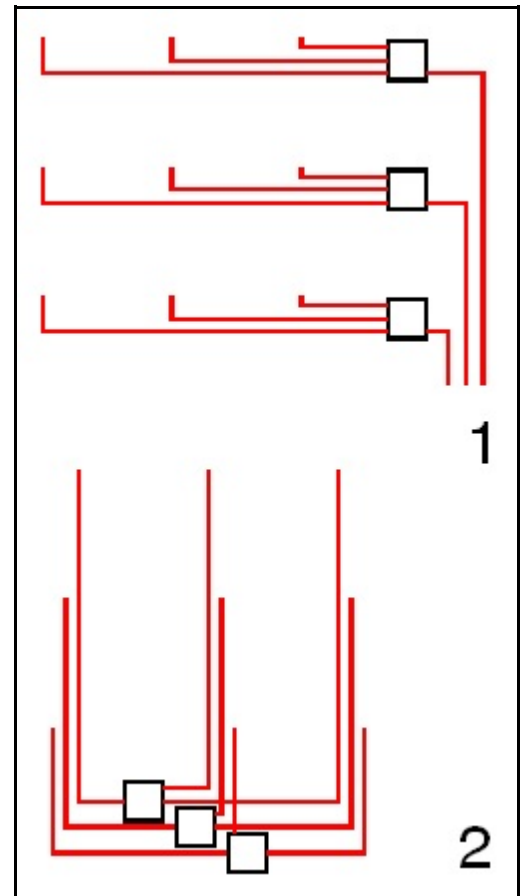
- Einfache Planung ohne grosse Rücksichtnahme auf Wände etc.
- Jeder beliebige Punkt in der ganzen Wohnung kann problemlos erreicht werden.
- Die Leitungen behindern den Innenausbau nicht.

Nachteile:

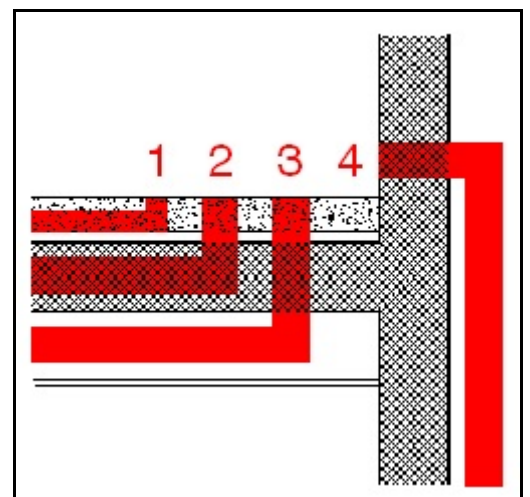
- Das System eignet sich nur für Neubauten.
- Bei späteren Umbauten oder Nutzungsänderungen sind keine Anpassungen möglich.
- Die Zuluftrohre der oberen Wohnung, die Abluftrohre der unteren Wohnung und die Schmutzwasserleitungen kommen sich gegenseitig in die Quere, was oft zu umständlichen Leitungsführungen zwingt.
- Der Lüftungsmonteur muss für jede Betonieretappe anrücken.
- Die vielen kleinen Etappen bei der Rohrverlegung wirken sich kostenerhöhend aus.

5.4.3 Im Deckenhohlraum

Wenn die Raumhöhe ausreicht, können die Rohre in einem geeigneten Bereich (meist in einem Vorraum oder Gang) an der Decke verlegt und mit einer abgehängten Decke verkleidet werden.



2 mögliche Systeme für die Leitungsführung im Haus



4 Möglichkeiten der Kanalführung innerhalb der Wohnung

- 1 im Unterlagsboden
- 2 in den Decken
- 3 im Deckenhohlraum
- 4 im Steigschacht

Vorteile:

- Der Lüftungsmonteur kann das ganze Leitungsnetz im ganzen Haus in einem Arbeitsgang verlegen.
- Die ganze Installation ist jederzeit zugänglich.
- Das System eignet sich auch für Altbauten.

Nachteile:

- Nur möglich bei genügender Raumhöhe.
- Nur möglich, wenn alle zu be- bzw. entlüftenden Räume an den Gang stossen.

5.4.4 Im Steigschacht

Räume, welche an die Steigzone stossen, können direkt von dieser aus be- und entlüftet werden. Das System eignet sich besonders für die Abluft, weil die Nassräume meist direkt an der Steigzone liegen.

Vorteile:

- Der Lüftungsmonteur kann das ganze Leitungsnetz im ganzen Haus in einem Arbeitsgang verlegen.
- Durch den Wegfall der horizontalen Verteilung ist das System sehr einfach und kostengünstig.

Nachteile:

- Nur möglich, wenn alle zu be- bzw. entlüftenden Räume an den Steigschacht stossen.
- Innerhalb der Steigzone können Konflikte mit anderen Installationen entstehen.

5.4.5 Kombinationen

Die 4 Varianten können auch kombiniert werden. Ein bewährtes Beispiel:

- Zuluftverteilung im Unterlagsboden gemäss Variante 1.
- Abluft im Steigschacht gemäss Variante 4.

5.5 Aus-, Ein- und Durchlässe

5.5.1 Anordnung der Aus-, Ein- und Durchlässe im Raum

Wo die Aus-, Ein- und Durchlässe im Raum platziert werden, hängt hauptsächlich davon ab, ob die Raumlufte im Auslegungszustand durchmischt oder geschichtet ist.

- Bei Durchmischung: Position der Aus-, Ein- und Durchlässe frei.
- Bei Schichtung: Zuluftauslässe unten, Abluftein- oder Durchlässe oben, Zuluftauslässe schwach induzierend (= grossflächig, langsam fliessend). Unteren Türspalt mit Planet abdichten.
- Mit induzierenden Zuluftauslässen kann eine Durchmischung erzwungen werden. Dadurch ist die Position der Aus-, Ein- und Durchlässe wieder frei.

5.5.2 Zuluftauslässe

Um einen spürbaren Luftzug zu vermeiden, müssen Zuluftauslässe in einem Raumbereich platziert werden, wo nicht mit dem längeren Aufenthalt von Personen zu rechnen ist, schwach induzierende Auslässe z.B. neben oder über einer Türe oder hinter einem Heizkörper, induzierende Auslässe z.B. unter der Decke waagrecht ausblasend.

In Bereichen, wo sich Personen aufhalten, sollte die Luftgeschwindigkeit 0.15 m/s nicht überschreiten. Der Abstand vom Auslass bis zum nächsten Aufenthaltsbereich (Sitzmöbel, Arbeitsplatz, Bett) sollte mindestens 1 m, besser 2 m betragen.

5.5.3 Überströmdurchlässe

Bei der kaskadenartigen Luftführung durchquert die Luft mehrere Räume. Wenn

Begriffe

Auslass: Öffnung, durch welche die Luft aus dem Kanalnetz in den Raum austritt.

Einlass: Öffnung, durch welche die Luft aus dem Raum abgeführt wird (= in das Kanalnetz eintritt).

Durchlass: Öffnung, durch welche die Luft aus einem Raum in einen zweiten Raum hinüberströmt. Der Durchlass wirkt im ersten Raum als Einlass, im zweiten als Auslass.

diese durch Türen voneinander getrennt sind, müssen besondere Überströmdurchlässe vorgesehen werden.

Die einfachste und billigste Art des Überströmdurchlasses ist der untere Türspalt. Er eignet sich zur Überströmung in die Nassräume. Bei Schlafzimmern sind hochliegende Durchlässe zu bevorzugen, damit die Luftschichtung ausgenutzt werden kann. Ausserdem können sie schallschluckend ausgebildet werden. Vgl. Nr. 4 im Schema.

Bei Räumen mit Anforderungen an den Schallschutz, v.a. Schlafzimmer, müssen die Durchlässe schalldämpfend konstruiert werden. Vgl. Nr. 1 bis 3 im Schema. Die Nr. 3 (in Türzarge integrierter Durchlass) hat sich in der Praxis hinsichtlich Ästhetik, Montagefreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit als vorteilhaft erwiesen, vor allem auch deshalb, weil eine solche Zarge auch noch den Zuluftauslass enthalten kann.

5.5.4 Ablufteinlässe

Als Ablufteinlässe können die bekannten preisgünstigen Tellerventile verwendet werden. Sie zur Regulierung des Luftstroms zu verwenden, hat sich jedoch nicht bewährt: Gefahr des unkontrollierten Verstellens und - bei starker Drosselung - Pfeifgeräusche.

5.6 Schallschutz

5.6.1 Strömungsgeräusche

Eine strömungsgerechte Luftführung ist in der Regel auch eine akustisch gute Luftführung. Ungünstig sind vor allem scharfkantige Umlenkungen. Luftgeschwindigkeiten über 2 m/s sollten allein schon aus Gründen des Druckverlusts vermieden werden. Bei diesen niedrigen Geschwindigkeiten treten normalerweise keine Strömungsgeräusche auf.

5.6.2 Ventilatorgeräusche

Der im Schallschutz überall gültige Grundsatz gilt auch hier: Den Lärm wenn möglich an der Quelle bekämpfen. Konkret heisst das: Möglichst leise Ventilatoren einsetzen. Im Zweifelsfall lieber eine Nummer grösser und dafür langsamer laufen lassen.

Die Bewohner reagieren erfahrungsgemäss sehr empfindlich auf Ventilatorgeräusche, vor allem im Schlafzimmer. Auch bei leisen Ventilatoren sind deshalb meistens zusätzliche Schalldämpfer nötig.

Das kritische Schallspektrum von Kleinventilatoren liegt meist in einem Bereich zwischen 125 bis 2000 Hz. Billige Schalldämpfer mit kleinen Kulissendicken haben typischerweise erst bei Frequenzen von über 1000 Hz eine namhafte Wirkung. Solche Schalldämpfer sind deshalb für die Dämpfung von Ventilatorgeräuschen ungeeignet.

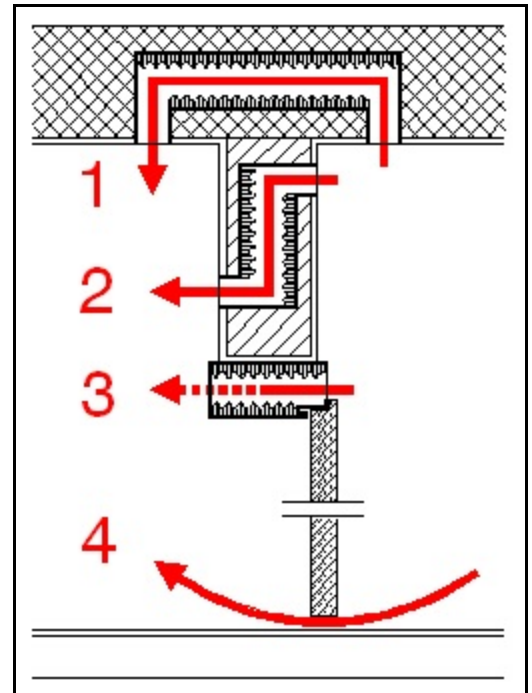
5.6.3 Telefonie

Die Schallübertragung von Raum zu Raum durch die Luftleitungen muss mit besonderen Massnahmen verhindert werden.

Eine häufig gewählte Lösung ist ein Schalldämpfer im Zuluftkanal oder im Zuluftauslass jedes Zimmers. Dies ermöglicht eine baumartig verzweigte Zuluftführung mit kurzen Kanälen.

Bewährt hat sich ein kombinierter Schalldämpf- und Verteilkasten pro Wohnung (s. Schemazeichnung). Er erfüllt mehrere Aufgaben gleichzeitig:

- Dämpfung der Ventilatorgeräusche
- Telefoneschalldämpfung



Überströmdurchlässe

- Wohnungsverteilung
- Zentrale Einregulierung der Luftraten (vgl. unten).

Ein Sonderfall sind die direkten Überströmdurchlässe (siehe oben). Bei Räumen mit Anforderungen an den Schallschutz, v.a. Schlafzimmer, müssen sie schalldämpfend konstruiert werden. Als Faustregel gilt: Durch die Überströmöffnung darf nicht mehr Schall übertragen werden als durch die Zimmertüre. Demnach: Je besser die Türe, desto besser der Schalldämpfer.

5.6.4 Körperschall

Naturgemäß haben wir es bei Lüftungsanlagen meist mit Luftschall zu tun. An 2 Stellen ist jedoch auch der Körperschall zu beachten:

- Das Lüftungsgerät muss schwingungsgedämpft montiert werden, und die Verbindung zu den Leitungsnetzen muss mit flexiblen Manschetten oder Schläuchen erfolgen.
- Bei Kanalverlegung im Unterlagsboden oder bei Bodenauslässen ist sorgfältig darauf zu achten, dass keine starren Schallbrücken zwischen dem Rohbau und dem Unterlagsboden entstehen.

5.6.5 Schalldämpfende Materialien

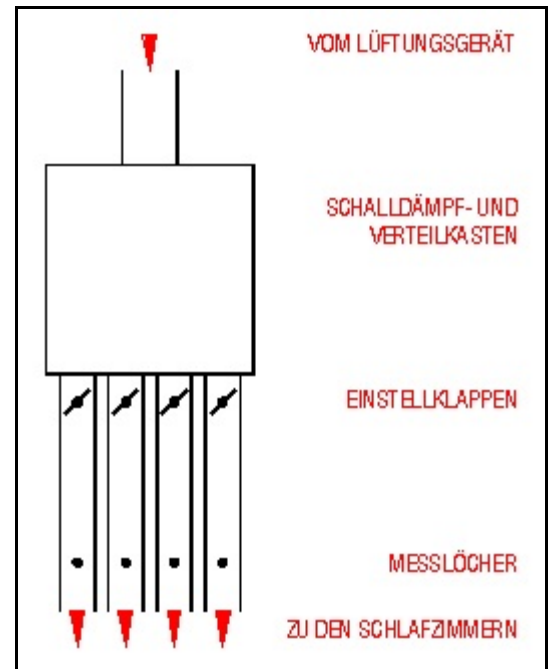
Die für schallschluckende Auskleidungen und Kulissen häufig verwendeten Mineralfasermatten können u.U. Feinfasern an die Luft abgeben. Sie müssen deshalb - vor allem im Zuluftbereich - allseitig (auch auf den Schnittflächen!) abriebfest beschichtet sein oder - noch besser - durch einen Kunststoffschäum ersetzt werden.

5.7 Einstellelemente

Eine sorgfältige Einregulierung bei der Inbetriebnahme ist für die Wirksamkeit und den Komfort der ganzen Anlage von entscheidender Bedeutung. Trotzdem wird sie erfahrungsgemäß oft vernachlässigt oder gar gänzlich ausgelassen. Vor allem bei mehrstufigen Anlagen muss dem Benutzer ein Messprotokoll übergeben werden, aus dem hervorgeht, welche Luftrate auf jeder Stufe gefördert wird. Wie soll er sonst seine Anlage richtig bedienen können?

- Die Gesamtluftmenge wird sinnvollerweise über die Ventilator Drehzahl reguliert. Die Zu- und Abluftmengen pro Raum müssen jedoch einzeln sorgfältig eingestellt werden, damit jeder Raum die richtige Luftrate erhält.
- Als Einstellelemente werden gewöhnlich Handklappen mit Stellsegment in jedes Zu- und Abluftrohr eingebaut (vgl. Schemazeichnung im vorigen Abschnitt). Komfortabler, aber auch teurer sind Irisblenden oder gar Konstantvolumenstromregler.
- Auch die Messlöcher müssen in der Planung berücksichtigt werden, damit sie an einer Stelle mit möglichst laminarer Strömung angeordnet werden können. Bewährt hat sich die Kombination mit der Wohnungsverteilung gemäss dem Schema im vorigen Abschnitt.

Auf dem Markt wird ein patentiertes Verteilsystem angeboten, welches ohne Reglelemente auskommt. Es verwendet für die Feinverteilung dünne Schläuche, deren Druckverlust so hoch ist, dass sich die Luftrate allein durch die Schlauchlänge bestimmt. Das System scheint zunächst plausibel, hat jedoch einen entscheidenden Nachteil: Wegen des hohen Druckverlusts müssen stärkere Ventilatoren mit viel zu hohem Stromverbrauch eingebaut werden. Ausserdem ist eine nachträgliche Regulierung nicht mehr möglich.



Kombinierte Einheit für Schalldämpfung, Wohnungsverteilung und Einregulierung

5.8 Brandschutz

In Reihen- und Mehrfamilienhäusern ist jede Wohnung ein Brandabschnitt. Das Übergreifen eines Brandes von einer Wohnung zur andern über das Luftleitungsnetz muss deshalb mit geeigneten Massnahmen verhindert werden.

Bei Einzelanlagen pro Wohnung ohne gemeinsame Teile stellt sich das Problem natürlich nicht. Sobald jedoch nur beispielsweise ein Erdregister gemeinsam genutzt wird, müssen Massnahmen gegen die Brandausbreitung vom Untergeschoss in die Wohnungen getroffen werden.

- Eine mögliche, aber teure Lösung ist die brandhemmende Dämmung aller Rohre und Kanäle, welche einen fremden Brandabschnitt durchqueren.
- Wenn nur wenige Steigleitungen vorhanden sind, können die üblichen Brandschutzklappen vorgesehen werden.
- Einfacher und billiger sind die sog. "Fireblock"-Einsätze, welche unter Hitze einwirkung aufquellen und das Rohr verschliessen.

Eine frühzeitige Bereinigung des Brandschutzkonzepts mit den zuständigen Amtstellen ist auf jeden Fall dringend zu empfehlen.

6. Das Kompaktgerät

Es ist eine Reihe von kompakten und kostengünstigen Kompaktgeräten verschiedener Grösse und Leistung auf dem Markt, und es kommen zur Zeit fast monatlich neue hinzu. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die zunehmende Bedeutung der Wohnungslüftung. Die Geräte enthalten gewöhnlich

- einen Wärmetauscher
- zwei Ventilatoren und
- zwei Filter.

6.1 Der Wärmetauscher

In Wohnungslüftungsgeräten kommen alle nebenstehenden Wärmeaustauscherarten vor. Am häufigsten sind die Kreuzstrom- und die Gegenstrom-Plattentauscher.

Manche neuere Kompaktgeräte enthalten anstelle des Wärmetauschers eine Wärmepumpe. Diese lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Einige dieser Geräte verwenden die gewonnene Wärme zur Erwärmung der Zuluft. Dieses Konzept ist natürlich Unsinn: Ein guter Wärmetauscher besorgt dasselbe fast genau so gut, ist aber viel billiger und verbraucht keinen Strom.
- Die meisten derartigen Geräte verwenden die gewonnene Wärme für andere Zwecke, z.B. für die Raumheizung oder die Warmwasserbereitung. Dabei handelt es sich definitionsgemäss um Abwärmenutzung, welche im Kapitel 8 behandelt wird.

6.2 Die Ventilatoren

6.2.1 Die Dimensionierung

Die Dimensionierung der Ventilatoren richtet sich - wie üblich - zunächst nach der benötigten Luftleistung und den zu überwindenden Druckverlusten.

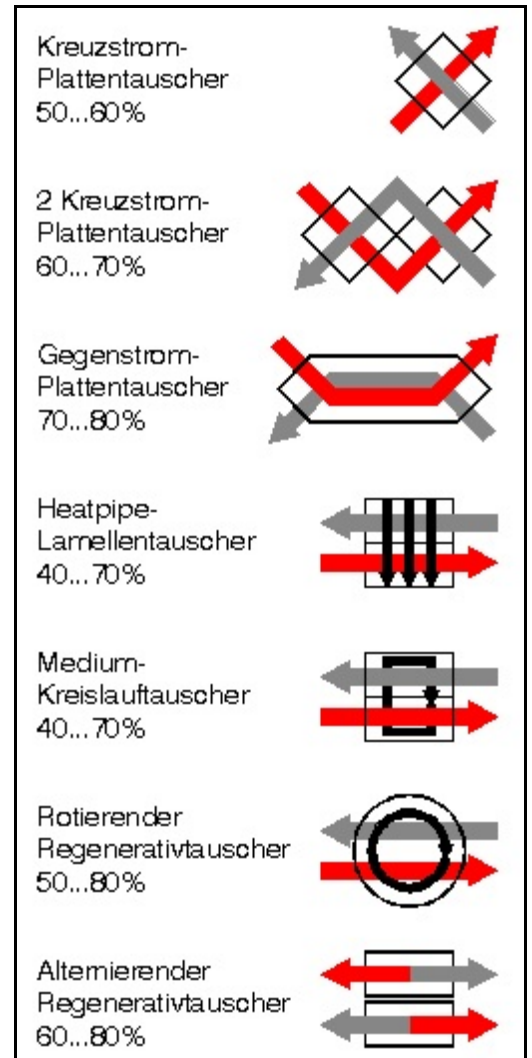
Bei der Wohnungslüftung kommen aber zwei wichtige Kriterien hinzu:

- Der Schallpegel und
- Der Stromverbrauch

6.2.2 Der Schallpegel

Bei dezentralen Geräten, welche in der Wohnung aufgestellt werden, und erst recht bei Einzelraumgeräten, welche im zu belüftenden Raum installiert sind, ist ein tiefer Schallpegel die wichtigste Anforderung überhaupt. Ein hörbares Lüftungsgeräusch wird von den Bewohnern nicht akzeptiert, vor allem nicht in den Schlafzimmern.

Bei zentralen Geräten ist diese Anforderung weniger problematisch, weil die Geräuschausbreitung mit Schalldämpfern verhindert werden kann. Trotzdem sind leise Ventilatoren erwünscht, um den Aufwand für die Schalldämpfung in Grenzen zu halten. Die nebenstehenden Grenzwerte - gemessen am Lufteinlass im Schlafzimmer- gelten als zumutbar.



Schalldruckpegel-Grenzwerte

Schlafzimmer	≤ 20...25 dB
Wohnzimmer	≤ 25...30 dB
Bad, WC	≤ 30...35 dB

6.2.3 Der Stromverbrauch

Angesichts der sehr langen Betriebszeiten der Wohnungslüftung von etwa 6000 bis gegen 9000 h/a spielt der Stromverbrauch eine wesentliche Rolle. Heute werden die meisten Kleinventilatoren mit Wechselstrommotoren angetrieben. Solche Ventilatoren erreichen inkl. Antrieb meist nur Wirkungsgrade zwischen 5 und 10%. Durch den Einsatz von Gleichstrom- und EC-Motoren (elektronisch kommutierende Motoren) liesse sich der Energieverbrauch in der Regel mindestens halbieren.

Ein einfacher Kennwert zur Beurteilung von Kleinventilatoren ist der spezifische Stromverbrauch. Er ist definiert als Quotient des Stromverbrauchs zur Luftleistung. Er kann sich auf den Ventilator allein, aber auch auf das Gerät als Ganzes beziehen. In diesem Fall wird das Mittel von Zu- und Abluft eingesetzt.

Der spezifische Stromverbrauch	
$SSV = \frac{\text{Stromverbrauch (W)}}{\text{Luftleistung (m}^3\text{/h)}}$	
Heutige Anlagen	0,3...1,0 Wh/m ³
Richtwert	≤ 0,3 Wh/m ³
Zielwert	≤ 0,2 Wh/m ³

6.3 Technische Kennzahlen

Für die energetische Qualität einer kontrollierten Lüftung sind drei Kenngrössen gebräuchlich.

1. Der Temperaturwirkungsgrad

Der Temperaturwirkungsgrad wird oft auch als Rückwärmezahl oder einfach als Wirkungsgrad bezeichnet. Er gibt an, welchen Anteil der Wärme der Tauscher zurückgewinnt, welche ohne WRG verlorengehen. Berechnungsformel vgl. Kasten. Er gilt definitionsgemäss nur für die folgenden Parameter:

- Nur der Wärmetauscher allein.
- Trockene Luft.
- Bezogen auf die Aussenluft.

2. Der Wärmebereitstellungsgrad

Im Unterscheid zum Wirkungsgrad wird der Wärmebereitstellungsgrad an den Ein- und Ausgängen des Kompaktgeräts gemessen. Er enthält auch die Abwärme der Ventilatorenantriebe und allenfalls die Wärmegewinnung durch das Gerätegehäuse. Oft wird sogar mit feuchter Luft gemessen, sodass der Wert auch die Kondensationsgewinne enthält. Er ist deshalb immer höher als der Temperaturwirkungsgrad des Wärmetauschers.

3. Der elektrothermische Verstärkungsfaktor

Der ETV berücksichtigt nicht nur den Wärmegewinn, sondern auch die elektrische Energie, welche aufgewendet werden muss, um diesen Wärmegewinn zu erzielen. Der ETV einer Gesamtanlage muss auch die Hilfsenergie für Ventilatoren, Pumpen etc. enthalten.

Die Tabelle enthält einige Erfahrungs-, Richt- und Zielwerte. Der untere Wert gilt für kleine, der obere für grössere Anlagen. Die Tabelle bestätigt auch, dass eine Luft-Luft-Wärmepumpe sich als blosser Ersatz für einen Wärmetauscher nicht eignet: Ihr ETV ist viel schlechter.

Jeder dieser Kennwerte wurde für einen bestimmten Zweck definiert:

- Der Wirkungsgrad gilt für den Wärmetauscher allein. Er ist für Gerätevergleiche ungeeignet.
- Der Wärmebereitstellungsgrad dient ausschliesslich für Wärmebedarfsberechnungen. Über die Qualität eines Geräts sagt er kaum etwas aus.
- Der ETV gilt für ganze Geräte und gesamte Anlagen, sowohl mit Wärmerückgewinnung als auch mit Abwärmenutzung. Er ist daher für energetische Vergleiche am besten geeignet.

Achtung: Geräteanbieter sind naturgemäss interessiert, für ihre Produkte möglichst gute Zahlen vorzuweisen. Da der Wärmebereitstellungsgrad höher ist, wird oft kurzerhand dieser Wert anzugeben, aber als Wirkungsgrad bezeichnet.

Der Temperaturwirkungsgrad	
$\eta = \frac{ZUL - AUL}{ABL - AUL}$	
ZUL = Temperatur der Zuluft	
ABL = Temperatur der Abluft	
AUL = Temperatur der Aussenluft	
Achtung: Wirkungsgrad ≠ „Wirkungsgrad“ (vgl. Text)	

Der elektrothermische Verstärkungsfaktor	
$ETV = \frac{\text{Wärmegewinn}}{\text{Stromverbrauch}}$	
Heutige Anlagen	
mit Wärmetauscher	5...20
mit Wärmepumpe	2...4
Richtwert	10...20
Zielwert	20...30

Im Zusammenhang mit einem kompletten Lüftungsgerät von Wirkungsgrad zu reden, ist nicht seriös! Der Benachteiligte ist der Konkurrent, welcher korrekterweise den Wirkungsgrad des Wärmetauschers deklariert.

Auch der ETV ist vor Fälschungen nicht sicher. Lüftungsgeräte enthalten fast immer zwei separate Ventilatoren. Oft wird jedoch nur der Stromverbrauch für einen Ventilator deklariert!

6.4 Die Filter

Aus hygienischen Gründen könnte auf die Filter verzichtet werden, denn die Lufterneuerungsanlage ersetzt ja die Fensterlüftung, welche die Luft auch nicht filtert. Dementsprechend sind die Geräte häufig nur mit Grobfiltern ausgerüstet, um die Verschmutzung des Wärmetauschers und des Zuluftnetzes zu verhindern. Für diese Aufgabe genügt ein Filter der Klasse G3. Für pollenallergische Bewohner kann bei manchen Geräten zusätzlich ein Pollenfilter eingebaut werden. Zu empfehlen ist hierfür ein Feinfilter der Klasse F7 oder F8.

Die Reinigung bzw. der Ersatz der Filter ist bei den meisten Geräten der einzige Unterhaltsaufwand. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass auch dieser oft vernachlässigt wird. Verschmutzte Filter erhöhen den Druckverlust und können zu starken mikrobiellen Belastungen der Zuluft führen. Der Einbau einer Filterüberwachung mit Hilfe von Druckdifferenzfühlern oder Betriebsstundenzählern ist deshalb zu empfehlen.

Bei einer relativen Feuchte von über 70% beginnen Schimmelpilze zu wachsen. Wenn ein Filter direkt hinter der Aussenluftfassung angeordnet ist, wird dieser Wert im Winter häufig überschritten (Nebel, Regen, Schnee). Deshalb muss ein solcher Filter periodisch ausgewechselt werden, auch wenn er noch nicht stark verschmutzt ist. Dieser Aufwand erübrigt sich, wenn die relative Feuchte im Filter immer unter ca. 70% bleibt. Dies kann durch eine Luftvorwärmung mit einem Luffterdregister erreicht werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine zweite Filterstufe (z.B. einen Pollenfilter) nach dem Wärmeaustauscher zu platzieren.

6.5 Der Frostschutz

Bei tiefen Aussentemperaturen kann - vor allem in Plattenwärmetauschern - im Fortluftbereich anfallendes Kondensat gefrieren. Dies kann zum Verschluss und sogar zur Beschädigung des Tauschers führen.

Es kommen drei Frostschutzmassnahmen in Frage:

- Das Erdregister.

Das Erdregister die beste Lösung. Es verhindert nicht nur zuverlässig Aussenlufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt, sondern weist daneben noch eine Reihe von weiteren Vorteilen auf (vgl. nächstes Kapitel).

- Der Frostwächter.

Er wärmt die Aussenluft vor dem Tauscher elektrisch vor. Dies ist die einfachste, aber schlechteste Lösung, weil die zugeführte Wärme im Tauscher an die Fortluft abgegeben wird und damit verloren geht.

- Temporärer Abluftbetrieb.

Ein Fühler im Fortluftkanal schaltet bei Unterschreitung des Gefrierpunkts oder eines bestimmten Luftstroms den Zuluftventilator aus. Der Tauscher wird mit Hilfe der Abluft aufgetaut. Diese Lösung ist mit einem Komfort- und Wärmeverlust verbunden, weil während der Abtauphase keine Wärmerückgewinnung stattfindet.

7. Das externe Leitungsnetz

Das externe Kanalnetz besteht mindestens aus der Aussenlufffassung und dem Fortluftauslass. Häufig wird es durch ein Erdregister ergänzt.

7.1 Die direkte Aussenlufffassung

Die direkte Aussenlufffassung wird dort angewandt, wo ein Erdregister nicht möglich ist: Bei Einzelraumgeräten, bei Altbauten, wenn kein Platz (oder kein Geld) für Steigleitungen vorhanden ist, oder wenn aus irgendwelchen Gründen keine Erdarbeiten möglich sind.

Insbesondere in den Fällen, wo sich das Lüftungsgerät in einem beheizten Raum befindet, muss die kalte Aussenluffleitung möglichst kurz und gut wärmege-dämmt sein. Standort und Art der Aussenlufffassung richten sich deshalb haupt-sächlich nach dem Standort des Lüftungsgeräts, oder umgekehrt.

Die direkte Aussenlufffassung verlangt besondere Hygiene- und Frostschutz-massnahmen (vgl. das Kapitel über das Kompaktgerät). Im übrigen gelten die gleichen Kriterien wie bei jeder Lufffassung:

- Abseits von Strassen, Parkplätzen und anderen Immissionquellen.
- Nicht zu nahe bei Schlafzimmerfenstern (Ventilatorgeräusch).
- Nicht in einem sommerlichen Wärmestaubereich.

7.2 Das Erdregister

7.2.1 Zweck und Aufgaben des Erdregisters

Wenn immer möglich soll die Aussenluft zwischen der Lufffassung und dem Lüf-tungsgerät über ein Erdregister geführt werden.

- Frostschutz.

Ein gut konzipiertes Erdregister liefert eine fast konstante Aussenlufttempera-tur von etwa 6...10°C. Ein Einfrieren von Kondensat im Wärmetauscher ist damit ausgeschlossen, sodass sich weitere Frostschutzmassnahmen erübrig-en.

- Wärmegewinn.

Auch ein guter Wärmetauscher weist immer noch einen Verlust auf. Dieser verringert sich entsprechend der Temperaturerhöhung im Erdregister.

- Abwärmenutzung.

Manche Anlagen nutzen die in der Fortluft noch enthaltene Restwärme, bei-pielsweise als Wärmequelle für einen Wärmepumpenboiler. Ohne Erdregis-ter ist die Fortluft jedoch nach dem Wärmetauscher hierfür zu kalt. Dank dem Erdregister steht dagegen eine ganzjährig ausgeglichene Fortlufttempe-ratur zur Verfügung.

- Filterhygiene.

Im Erdregister wird die Luft nicht nur wärmer, sondern auch trockener. Da-durch wird das Schimmelpilzwachstum im Zuluftfilter verhindert (vgl. Ab-schnitt „Filter“).

- Sommerkühlung.

Zweck des Erdregisters

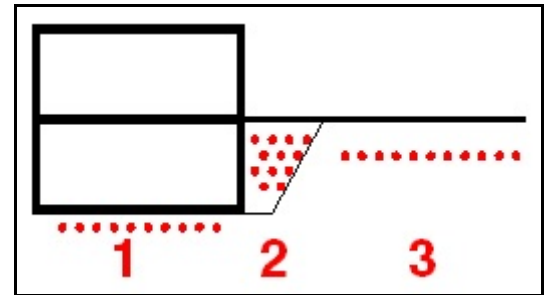
- Frostschutz
- Wärmegewinn
- Abwärmenutzung
- Filterhygiene
- Sommerkühlung

Im Sommer kann der Wohnung gekühlte Luft zugeführt werden. Dieser Effekt darf allerdings nicht überschätzt werden: Erstens ist die Kühlleistung angesichts der kleinen Luftmenge bescheiden, und zweitens wird der Bypass am Wärmetauscher, welcher diese Funktion ermöglicht, erfahrungsgemäss in der Praxis kaum benutzt. Aber immerhin kann die Wohnung im Sommer mit Frischluft versorgt werden, ohne ihr gleichzeitig Wärme zuzuführen.

7.2.2 Anordnung des Erdregisters

- Variante 1: Unter dem Gebäude
- Variante 2: In der Baugrube
- Variante 3: Im Gelände

Technisch sind alle Varianten etwa gleichwertig. Der wichtigste Unterschied liegt bei den Kosten: Das Teuerste an den Varianten 1 und 3 sind die Erdarbeiten (Aushub, Planie, Materialeinbau, Verdichten). Die Variante 2 ist viel billiger, weil keine zusätzlichen Erdarbeiten anfallen.



Drei mögliche Anordnungen eines Erdregisters

7.2.3 Materialwahl

Das Material für das Erdregister muss folgende Anforderungen erfüllen

- Druckfest (Erddruck)
- Säurebeständig (Humussäuren)
- Luft- und gasdicht (Radon)
- Leicht zu verlegen
- Kostengünstig

In der Praxis haben sich glatte Rohre oder gewellte Schläuche aus PVC oder PE als geeignet erwiesen. Vor- und Nachteile:

- Glatte Rohre sind anspruchsvoller bei der Verlegung und benötigen teure Formstücke. Dafür verursachen sie geringere Druckverluste und sind leichter zu reinigen.
- Die handelsüblichen gewellten Drainageschläuche sind auch ohne Lochung erhältlich. Sie sind einfach zu verlegen, billig und benötigen keine Formstücke, ausser für die Sammelbatterie (siehe weiter unten). Gelegentlich hört man den Einwand, die gewellte Innenoberfläche fördere die Verschmutzung und die Ansiedlung von Mikroorganismen. Einschlägige Untersuchungen haben diese Befürchtungen jedoch nicht bestätigt [8].
- PVC ist billiger, vor allem bei den glatten Rohren. Es ist jedoch bei der Produktion und bei der späteren Entsorgung stark umweltbelastend.
- Glatte Rohre aus Polyethylen sind ökologisch unbedenklich, aber sehr teuer, vor allem die Formstücke.
- Es sind gewellte Schläuche aus PE erhältlich, welche nicht teurer sind als PVC-Schläuche (Bezugsquelle beim Verfasser erfragen).

Es werden auch doppelwandige Schläuche angeboten. Davon ist jedoch abzuraten: erstens sind sie teurer, und zweitens verschlechtert das Luftposter zwischen den Wandungen den Wärmedurchgang.

7.2.4 Die Luffassung

Die direkte Luffassung ohne Erdregister wurde weiter oben besprochen, und die dort aufgezählten Anforderungen gelten auch hier. Für die Luffassung eines Erdregisters gelten jedoch einige zusätzliche Randbedingungen. Die wichtigste ist, dass sie sich naturgemäss immer in Bodennähe befindet. In der Praxis werden

am häufigsten die 3 nebenstehend dargestellten Varianten realisiert.

- *Variante 1: Turm.* Gute Lösung. Nicht ganz billig. Ästhetisch nicht immer leicht zu bewältigen.
- *Variante 2: Schacht.* Diskreter und billiger als die Variante 1. Drei Nachteile (mit jeweiliger Gegenmassnahme):
 Verschmutzungsgefahr (unter dem Gitterrost ein Feingitter einlegen).
 Schnee (nach jedem Schneefall reinigen).
 Radon (Rohrzwischenräume im Schacht ausbetonieren).
- *Variante 3: Stützmauer.* Die billigste und beste Lösung (sofern eine günstig orientierte Stützmauer zur Verfügung steht).

7.2.5 Dimensionierung

Für die Dimensionierung von Erdregistern gibt es keine gesicherten Grundlagen. Die folgenden Angaben basieren auf den Erfahrungen des Verfassers.

In den meisten Fällen wird das Erdregister aus mehreren parallel verlegten Rohren oder Schläuchen bestehen. Die Anzahl der Einzelrohre ergibt sich aus der erforderlichen Gesamtlänge und - je nach Durchmesser - aus der max. Luftgeschwindigkeit oder aus der max. Einzelrohlänge. D.h.: Die Wahl des Rohrdurchmessers erlaubt eine Anpassung des Registers an die örtlichen Gegebenheiten.

- Gesamtlänge

Die Zahlen in der nebenstehenden Tabelle stellen einen unwissenschaftlichen, aber pragmatischen Zusammenhang zwischen der Luftmenge und der erforderlichen Gesamtrohlänge her.

- Einzelrohlänge

Die Länge der Einzelrohre, d.h. die Entfernung zwischen der Luftfassung und dem Lüftungsgerät, sollte 25 m nicht übersteigen, um einen zu hohen Druckverlust zu vermeiden.

- Luftgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit im Erdregister sollte, ebenfalls zur Begrenzung des Druckverlusts, möglichst tief gewählt werden. Dies muss nicht zwangsläufig zu Mehrkosten führen. Mehr und dafür kürzere Rohre kosten gleich viel.

- Rohrabstände

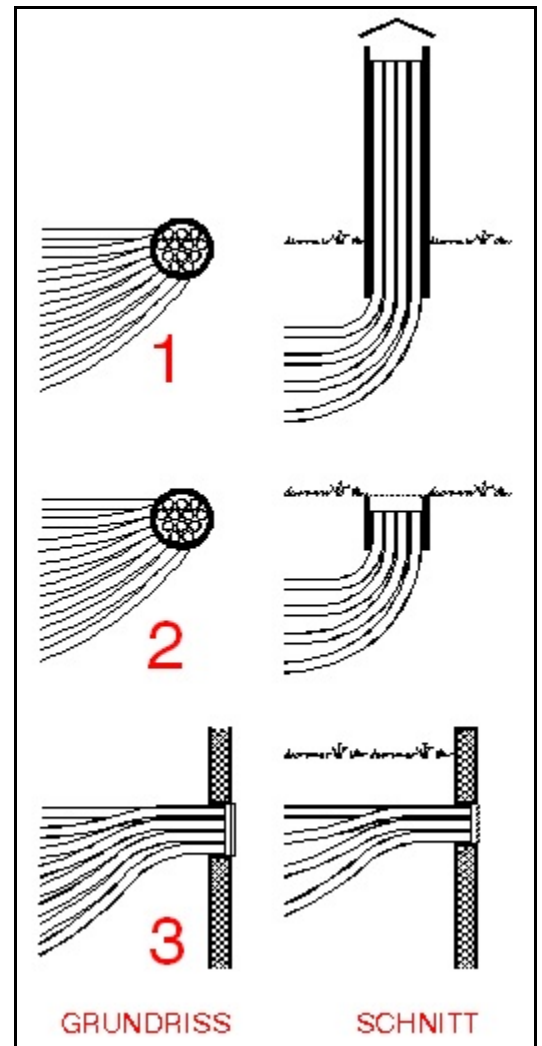
Die minimalen Abstände sowohl zwischen den Rohren als auch zu den Begrenzungen des Erdkörpers (Kelleraussenwände, Stützmauern, Erdoberfläche etc.) entsprechen etwa dem 5-fachen Rohrdurchmesser.

7.2.6 Zwei Detailhinweise aus der Praxis

- Die Hauseinführung

Die unterirdische Einführung des Erdregisters ins Haus muss wasserdicht an die Kellerwand anschliessen, um das Eindringen von Sickerwasser zu verhindern. Um aufwendige Abdichtungsarbeiten zu vermeiden, hat sich die Sammelbatterie aus Kanalisationsrohr-Formstücken aus Kunststoff bewährt, wobei das gesamte Erdregister bis Innenkante Kellerwand vollumfänglich durch den Baggerunternehmer und den Baumeister erstellt werden kann. Vgl. Zeichnung.

- Die Entwässerung



Drei Varianten von Aussenluftfassungen für Erdregister

Dimensionierung von Erdregistern

Gesamtlänge pro 100m³/h

Ø 100 mm	40...120 m ¹
Ø 125 mm	30...100 m ¹
Ø 150 mm	25...80 m ¹
Ø 200 mm	20...60 m ¹

Max. Einzelrohlänge 25 m

Max. Luftgeschwindigkeit 1 m/s

Min. Rohrabstand 5-facher Rohr-Ø

Wenn die Aussenluft wärmer ist als das Erdreich, kann sich im Erdregister Kondenswasser bilden. Das Register muss deshalb entwässert werden. Das lässt sich am einfachsten bewerkstelligen, indem die Rohre oder Schläuche mit einem leichten Gefälle zur Hauseinführung verlegt werden. Das Register kann dann einfach im Hausinneren mit einem syphonierten Kondensatablauf entwässert werden. Dieser Ablauf ermöglicht es auch, das Register bei Bedarf von der Luffassung her durchzuspülen.

7.3 Der Fortluftauslass

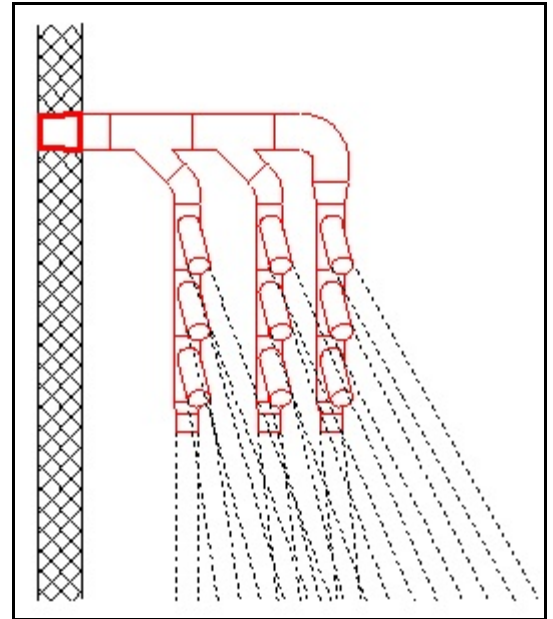
Nach klassischer Regel sollte die Fortluft über Dach geführt werden. Diese Regel muss für die Wohnungslüftung relativiert werden.

- Wenn das Gerät im Dachgeschoss aufgestellt ist (was eher selten vorkommt), lässt sich die Regel natürlich problemlos einhalten.
- Bei Einzelgeräten ohne Erdregister, welche dezentral in den Wohnungen eingebaut sind, befinden sich gewöhnlich sowohl die Öffnungen für die Aussen- als auch für die Fortluft an der Fassade.
- Am häufigsten sind zentrale oder dezentrale Anlagen mit Erdregister, deren Geräte im Untergeschoss installiert sind. Hier drängt es sich aus mehreren Gründen auf, die Fortluft ebenerdig auszulassen:

Nach dem Wärmetauscher ist die Fortluft kalt. Ein Fortluftkanal, welcher durch das ganze Haus über Dach führt, würde auch bei guter Wärmedämmung namhafte Wärmeverluste verursachen.

Der lange Fortluftkanal erhöht neben den Wärmeverlusten auch den Druckverlust, den Platzbedarf und die Anlagekosten.

Unbedingt zu vermeiden ist jedoch eine Berührung der ausgestossenen Fortluft mit der Fassadenoberfläche, weil sich dort im Winter Kondensat oder sogar Eis bilden kann.



Sammelbatterie und Hauseinführung

8. Sonderfälle

8.1 Abwärmenutzung

Mit der Abwärme, welche in der Abluft einer Wohnungslüftungsanlage enthalten ist, kann man grundsätzlich auf 4 Arten umgehen:

- Man kann sie ungenutzt ins Freie strömen lassen. Das häufigste Beispiel dieser Methode ist die Fensterlüftung.
- Man kann der Abluft mit Hilfe eines Wärmetauschers den grössten Teil ihrer Wärme entziehen und sie der Zuluft zuführen. Dieser Vorgang heisst Wärmerückgewinnung.
- Man kann der Abluft mit Hilfe einer Wärmepumpe ihre gesamte Wärme entziehen und sie für einen anderen Zweck verwenden, beispielsweise für die Wassererwärmung. Diese Methode heisst Abwärmenutzung. Sie ist der Methode b) unterlegen, weil Wärmepumpen nie den gleichen ETV erreichen wie Wärmetauscher. Sie ist nur in den Fällen sinnvoll, wo keine WRG möglich ist.
- Man kann auch beides tun: Die Abluft zuerst über einen Wärmetauscher führen, und anschliessend mit einer Wärmepumpe die Restwärme nutzen. Dieser Aufwand lohnt sich jedoch nur dann, wenn die WRG noch eine nennenswerte Wärmemenge übriglässt. Dies ist im allgemeinen dann der Fall, wenn die Aussenluft in einem Erdregister vorgewärmt wird. Das nebenstehende Beispiel illustriert diese Zusammenhänge.

Konkrete Beispiele von sinnvollen Lösungen zu den Methoden b), c) und d) sind im Kapitel „Die erfolgreichsten Konzepte“ dargestellt.

Es kursieren auch fragwürdige bis unsinnige Konzepte:

- Es ist nicht sinnvoll, eine schlechte oder gar keine WRG einzubauen, damit für die Abwärmenutzung noch etwas übrigbleibt. Erste Priorität hat die WRG, da sie einen deutlich besseren ETV hat als eine Abluftwärmepumpe.
- Es ist nicht sinnvoll, den Aussenluftvolumenstrom zu erhöhen, damit eine grössere Abwärmeleistung zur Verfügung steht. Ein grösserer Aussenluftvolumenstrom führt nur zu einem grösseren Energieverbrauch (Heizenergie, Ventilator, Abluftwärmepumpe).
- Aus nebenstehendem Rechnungsbeispiel geht hervor: Mit einer Abluftwärmepumpe kann nicht monovalent geheizt werden. Die Energiebilanz würde bei tiefen Aussentemperaturen nur aufgehen, wenn eine Wärmepumpe mit sehr schlechter Arbeitszahl eingesetzt würde (quasi Elektroheizung). Abluftwärmepumpen können nur bivalent, also in Kombination mit anderen Wärmeerzeugern, zu Heizzwecken eingesetzt werden.

Abwärmenutzung macht Sinn

- wenn keine Wärmerückgewinnung möglich ist, oder
- wenn ein Erdregister vorhanden ist.

Wieviel nutzbare Abwärme: steht zur Verfügung?

Ohne WRG	730 W
Mit WRG, ohne Erdregister	110 W
Mit WRG, mit Erdregister	300 W

Obige Werte basieren auf folgendem Beispiel:
5 1/2-Zimmerwohnung im Mittelland
Aussenluft rate: 120 m³/h
Rückwärmezahl der WRG: 80 %
Abluft 20°C, 50% r.F.
Fortluft nach Wärmepumpe +3°C, 100 % r.F.
Aussenluft: 1°C, 85 % r.F. (Mittel Nov. bis März)

8.2 Einzelraumgeräte

Seit kurzem sind kleine Kompaktgeräte auf dem Markt, welche alle Bestandteile einer Lüfterneuerungsanlage enthalten: Aussenlufffassung, Fortluftauslass, Ventilatoren, Wärmetauscher, Filter, Zuluftauslass, Ablufffassung. Sie werden im zu belüftenden Raum an oder in einer Aussenwand montiert oder in einen Fensterahmen integriert.

Die Luftleistungen bewegen sich bestimmungsgemäss in der Grössenordnung von 30...80 m³/h. Die Rückwärmzahlen differieren etwa von 40 bis zu 80%, die ETV etwa von 5 bis 30.

Die Einzelraumgeräte sind hauptsächlich für den nachträglichen Einbau in bestehende Räume gedacht. Ihr grösster Vorteil ist die sehr einfache Installation: Zwei Bohrungen durch die Aussenwand und eine Steckdose genügen.

Dem stehen jedoch einige Nachteile gegenüber:

- Naturgemäss können Einzelraumgeräte nicht mit einem Erdregister ausgestattet werden.
- Ein Problem ist die Geräuschentwicklung, da sich das ganze Gerät inkl. Ventilatoren im zu belüftenden Raum befindet.
- Eine kaskadenartige Luftführung ist meist nicht möglich. Jeder Raum wird einzeln be- und entlüftet.

Aus diesen Gründen wird diese Lösung nur da angewandt, wo der Einbau einer Anlage für die ganze Wohnung oder das ganze Haus nicht möglich ist.

8.3 Luftheizung

8.3.1 Vorteile

Das Kanalnetz der Lüfterneuerungsanlage auch für die Raumheizung zu nutzen, ist ein verlockender Gedanke. Tatsächlich hat die Luftheizung Vorteile:

- Die Mitbenützung der Luftkanäle erspart die Installation einer separaten Wärmeverteilung.
- Die Wärme gelangt mit der Luft direkt und ohne Verzögerung in die Räume.
- Bedienung und Unterhalt sind einfacher.

8.3.2 Nachteile

Dem stehen zwei gewichtige Nachteile gegenüber.

- Eine kaskadenartige Luftführung ist nicht möglich. Jeder Raum muss einzeln beheizt und somit auch belüftet werden.
- Der Hauptgrund, dass die Luftheizung ein Mauerblümchen geblieben ist, ist die geringe Wärmekapazität der Luft. Für die gleiche Heizleistung muss bei gleicher Temperatur etwa das 3400-fache Luftvolumen umgewälzt werden, verglichen mit Wasser.

8.3.3 Luftheizung im Minergiehaus

Das Beispiel (siehe Kasten) illustriert, dass in einem typischen Minergiehaus die normale Lüfrate von 120 m³/h für die Beheizung bei weitem nicht ausreicht. Um eine Luftheizung zu ermöglichen, ist mindestens eine der folgenden Massnahmen notwendig:

- a) Zulufttemperatur erhöhen.
- b) Zulufrate erhöhen.
- c) Heizleistung reduzieren.

Diese drei Massnahmen werden nachfolgend untersucht.

8.3.4 Höhere Lufttemperatur

Um die nötige Wärmemenge ohne Erhöhung der Lüfraten zu transportieren, müsste die Zuluft auf etwa 120°C erhitzt werden, was natürlich nicht in Frage kommt. Selbst in einem Minergie-Mehrfamilienhaus mit nur 2000 W Heizleistung pro Wohnung wäre eine Zulufttemperatur von etwa 70°C nötig. Auch diese Lösung scheidet aus. Ihre Nachteile sind zu gross:

- Heisse Luft kann nicht direkt in die Räume eingelassen werden. Es sind Hohlböden oder Hypokausten notwendig. Damit geht aber der Hauptvorteil der Luftheizung verloren, nämlich die einfache und sparsame Installation.
- Mit zunehmender Arbeitstemperatur verschlechtern sich die Wirkungsgrade aller Wärmeerzeuger, besonders aber die der Wärmepumpen.
- Bei Temperaturen über 60° können Staubpartikel verkohlen. Der dabei entstehende Russ reizt die Atemwege und steht sogar im Verdacht, krebserregend zu sein.

8.3.5 Grössere Lüfrate

Auch diese Lösung scheitert an zu vielen Nachteilen:

- Für eine "Niedertemperaturheizung" mit Zulufttemperatur = 40°C ist ein Luftstrom von etwa 600 m³/h nötig. Da die Luftgeschwindigkeit nicht erhöht werden soll (Druckverlust, Strömungsgeräusche), müssten die Kanalquerschnitte verüffacht werden.
- Es werden wesentlich grössere Ventilatoren benötigt, welche natürlich auch mehr Antriebsenergie verbrauchen.
- Ein weiterer Nachteil der erhöhten Lüfraten liegt darin, dass sich gleichzeitig auch die Abwärmeverluste verüffachen, was auch bei einer guten Wärmerückgewinnung ins Gewicht fällt.
- Es existieren Anlagen, welche diesen Nachteil durch Umluftbeimischung zu umgehen versuchen. Diese Massnahme hat aber wieder einen anderen Nachteil: Die Zuluft ist nicht mehr frisch. Dies wird von den Bewohnern verständlicherweise nicht akzeptiert. Oder möchten Sie Ihrem Schlafzimmer Zuluft zuführen, welche schon viermal die Küche oder das WC durchströmt hat? Und was ist, wenn im Wohnzimmer geraucht wird?

8.3.6 Kleinere Heizleistung

Um das Typische Haus mit einer Zulufttemperatur von 40° und einer nur mässig erhöhten Lüfrate heizen zu können, müssen die Wärmeverluste auf ein Drittel des Minergiestandards gesenkt werden. In Deutschland ist hierfür der Begriff „Passivhaus“ geläufig. Für das Beispielgebäude (vgl. Kasten) müsste eine spezifische Heizleistung von max. ca. 8 W/m² erreicht werden. Dafür wären extreme bauliche Anforderungen zu erfüllen:

Dach und Fassaden: $k = 0.1$ (Dämmstärke ca. 40 cm)

Kellerdecke: $k = 0.2$

Fenster: $k = 0.5$

$g = 52\%$

Luftdurchlässigkeit $V_{a,4} = 0.1$

Luftheizung im Minergiehaus

Ohne Massnahme:

Ungenügende Heizleistung

Beispiel: EFH, 5½ Zimmer, EBF = 160 m²

Lufterneuerungsanlage, 120 m³/h

Max. Heizleistung (Zuluft=40°) 800 W

Spezifische Heizleistung 5 W/m²

Massnahme 1: Höhere Lufttemperatur

Heizleistung = 4000 W

spezifische Heizleistung = 25 W/m²

Zulufttemperatur bei 120 m³/h 120°C (!)

Massnahme 2: Grössere Lüfrate

Heizleistung = 4000 W

spezifische Heizleistung = 25 W/m²

Benötigte Lüfrate bei 40°C 600 m³/h

Massnahme 3: Kleinere Heizleistung

Heizleistung = 1200 W

spezifische Heizleistung = 8 W/m²

Schlussfolgerung

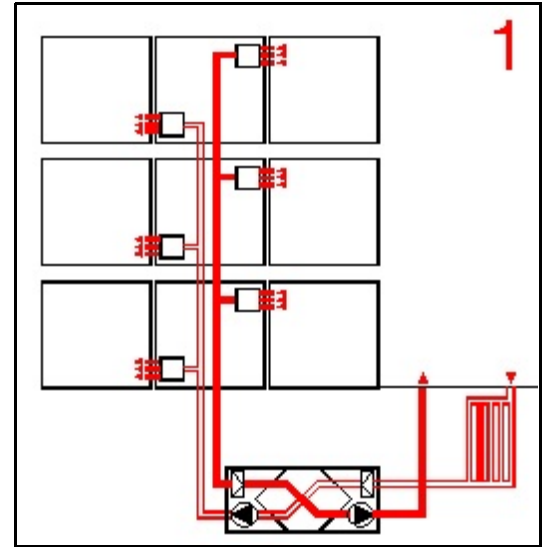
Die Verwendung des Kanalsystems der kontrollierten Wohnungslüftung als Luftheizung ist möglich, setzt aber den Passivhaus-Standard voraus (Heizleistung < 8 W/m²).

9. Die erfolgreichsten Konzepte

9.1 Zentrale Anlagen

Beispiel 1

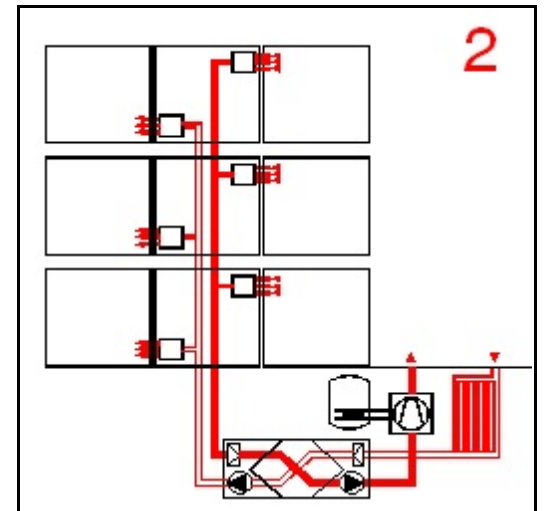
- Beschrieb**
- 1 Zentrales Gerät für das ganze Haus.
 - Zu- und Abluft. Plattentauscher. Erdregister.
 - Das am häufigsten realisierte System.
 - Grundsätzlich auch ohne Erdregister möglich.
- Anwendung**
- Für Einzel-EFH der Normalfall, für MFH sehr häufig.
 - Für Neubauten und für tiefgreifende Umbauten.
 - Nachrüstung in Altbauten nur bedingt möglich.
- Vorteile**
- Grösserer technischer Aufwand möglich als bei dezentralen Anlagen (bessere Tauscher, Filterüberwachung, Steuerung etc.), weil sich die Kosten auf mehrere Wohnungen verteilen.
 - Die Regulierung und der Unterhalt können zentral durch geschultes Personal gewährleistet werden.



Zentralgerät mit Erdregister

Beispiel 2

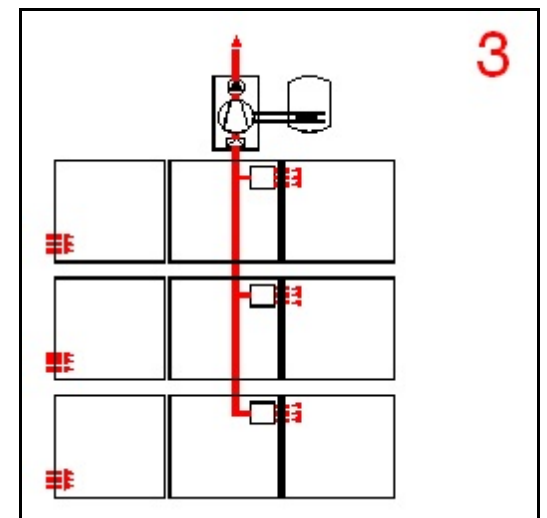
- Beschrieb**
- Wie Beispiel 1. Zusätzlich:
 - Abwärmenutzung mit WP für Wassererwärmung.
 - Nur mit Erdregister möglich.
- Anwendung**
- Überall möglich, wo Beispiel 1 möglich ist.
 - Voraussetzung: Zentrale Wassererwärmung.
 - WP mit tiefer Leistung erforderlich (24-h-Betrieb).
- Vorteile**
- Wie Beispiel 1.
 - Zusätzlich: Wenn ein Erdregister vorhanden ist, ist die Abluft eine geeignete Wärmequelle für einen Wärmepumpenboiler.



Zentralgerät mit Erdregister und Abwärmenutzung

Beispiel 3

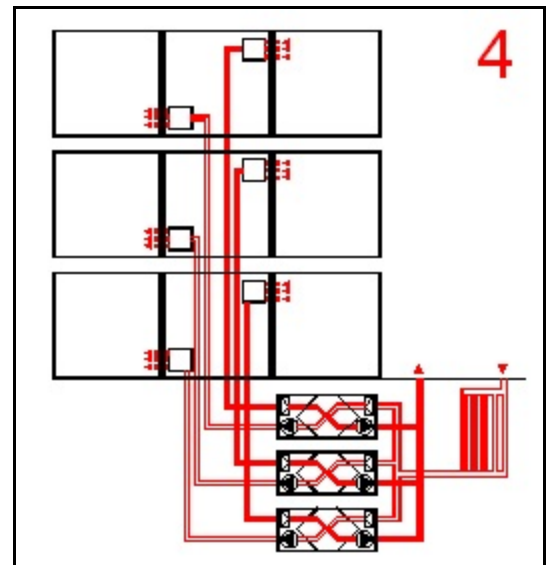
- Beschrieb**
- Reine Abluftanlage.
 - Zuluft in die Schlafzimmer über Fassadeneinlässe.
 - Abwärmenutzung mit WP für Wassererwärmung.
- Anwendung**
- Für Altbauten, bei denen der Einbau eines Zuluftnetzes nicht möglich ist.
 - Voraussetzung: Zentrale Wassererwärmung.
- Vorteile**
- Kein Zuluftkanalnetz notwendig.
 - Einfache und kostengünstige Lösung.
- Nachteile**
- Komfortprobleme wegen kalt einströmender Aussenluft.
 - Kein Erdregister möglich.



Abluftanlage mit Abwärmenutzung

Beispiel 4

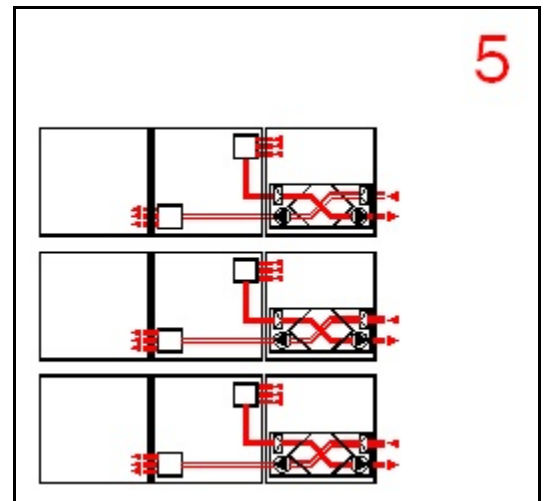
- Beschrieb
- Je 1 Kompaktgerät pro Wohnung.
 - Zu- und Abluft. Plattentauscher.
 - Gemeinsames Erdregister.
 - Grundsätzlich auch ohne Erdregister möglich.
- Anwendung
- Für MFH sehr häufig. Gute Alternative zum Beispiel 1.
 - Für Neubauten und für tiefgreifende Umbauten.
 - Nachrüstung in Altbauten nur bedingt möglich.
- Vorteile
- Individueller Betrieb für jede Wohnung.
 - Kein Verwaltungsaufwand. Der Strom läuft über den Wohnungszähler, der Unterhalt erfolgt individuell.
 - Bei Eigentumswohnungen bessere Akzeptanz: Jeder Wohnungseigentümer hat seine eigene Anlage.
 - Einfache, gutmütige, billige Seriengeräte.
 - Abwärmenutzung für Wassererwärmung gemäss Beispiel 2 ist auch hier möglich, sofern ein Erdregister vorhanden ist.
 - Gewöhnlich nicht teurer als Beispiel 1.



Einzelwohnungsgeräte mit Erdregister

Beispiel 5

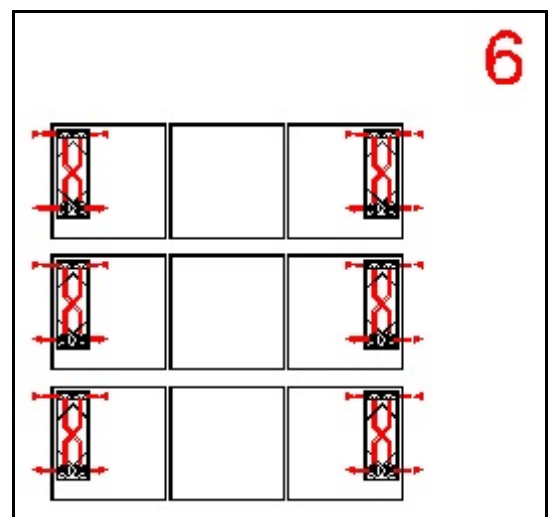
- Beschrieb
- Je 1 Kompaktgerät pro Wohnung.
 - Zu- und Abluft. Plattentauscher.
 - Aussen- und Fortluft über Fassadendurchlässe.
- Anwendung
- Für Altbauten, bei denen der Einbau von Steigschächten nicht möglich ist.
 - Alternative zum Beispiel 3.
- Vorteile
- Wie Beispiel 4. Zusätzlich:
 - Keine Steigschächte notwendig.
 - Einfache und kostengünstige Lösung.
- Nachteile
- Kein Erdregister möglich.
 - Keine Abwärmenutzung möglich.
 - Frostschutzmassnahmen notwendig.



Einzelwohnungsgeräte ohne Erdregister

Beispiel 6

- Beschrieb
- Je 1 Einzelraumgerät pro Zimmer.
 - Zu- und Abluft. Plattentauscher.
 - Aussen- und Fortluft über Fassadendurchlässe.
- Anwendung
- Nachrüstung von Altbauten ohne gleichzeitige Renovation.
 - Nachrüstung nur in einzelnen Zimmern.
- Vorteile
- Sehr einfache Installation.
 - Etappenweise Realisierung problemlos möglich.
 - Kein Platzbedarf für Leitungen und Steigschächte.
 - Sehr einfache und kostengünstige Lösung.
- Nachteile
- Keine kaskadenartige Luftführung möglich.
 - Kein Erdregister möglich.
 - Keine Abwärmenutzung möglich.
 - Frostschutzmassnahmen notwendig.



Einzelraumgeräte

Literaturhinweise

- [1] CLIMA SUISSE: Leitfaden Wohnungslüftung. Zürich 1998
- [2] R. Fraefel: Das MINERGIE-Haus. Planungshilfe für Baufachleute. 1998
- [3] Recknagel-Sprenger-Schamek: Taschenbuch Heizung und Klimatechnik. Ausgabe 2000. Oldenbourg-Verlag, Berlin, 1999
- [4] Norm SIA 180: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau. SIA Zürich 1999
- [5] DIN 1946-6: Raumluftechnik. Beuth-Verlag Berlin 1998
- [6] RAVEL: Energieeffiziente Lüftungstechnische Anlagen. Bern 1993
- [7] RAVEL: Wärmerückgewinnung und Abwärmennutzung. Bern 1993
- [8] B. Flückiger: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. ETH Zürich 1997
- [9] SIB: Bedarfsgerechte Wohnungslüftung. Zürich 1999
- [10] Dr. J. Fehlmann: Bedarfsgeregelte Lüftung in Räumen verschiedener Nutzung und Belegung. Dissertation. ETH Zürich 1992