

Praxisratgeber zur Verbesserung der Energieeffizienz an Lüftungsanlagen		Auftragnehmer/Verfasser (prüfender Betrieb)	
Kunde/AG:		Auftrag/vom:	
Straße, Nr.:		Objekt/Anlage:	
PLZ, Ort:		Prüfprotokoll Nr.:	vom:

Praxisratgeber Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen

- 1. Die wesentlichen Einflussfaktoren für den Energieverbrauch einer Lüftungsanlage**
- 2. Energiebewertung für Lüftungsanlagen**
- 3. Der Weg zu einer Energieeffizienten Lüftungsanlagen**
 - 3.1 Anpassung des Luftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf
 - 3.1.1 Überprüfung der tatsächlichen Nutzungsbedingungen
 - 3.1.2 Optimale Platzierung der Luftein- und Luftauslässe
 - 3.1.3 Optimierung der Betriebszeiten
 - 3.1.4 Bedarfsabhängige Luftvolumenstromsteuerung
 - 3.2 Optimierung der Druckverluste
 - 3.2.1 Standort der Lüftungszentrale
 - 3.2.2 Luftkanaldurchmesser und Luftgeschwindigkeit
 - 3.2.3 Luftkanalführung
 - 3.2.4 Luftfilter
 - 3.2.5 Leckagen
 - 3.2.6 Luftauslässe, Luftabsaugung
 - 3.2.7 Weitere Komponenten
 - 3.3 Optimierung des Ventilators
 - 3.3.1 Gesamteffizienz des Ventilators
 - 3.3.2 Auswahl des Ventilatorstyps
 - 3.3.3 Kraftübertragung am Ventilator
 - 3.3.4 Antrieb des Ventilators
 - 3.3.5 Wirtschaftlichkeit beim Austausch des Ventilators
 - 3.4 Wärmerückgewinnung

1. Die wesentlichen Einflussfaktoren für den Energieverbrauch durch das Lüftungssystem

Der Energiebedarf von Lüftungsanlagen ist von vielen Faktoren abhängig und kann sehr stark variieren. Bei gleichen Anforderungen an das Komfortniveau, kann der Energiebedarf durchaus um den Faktor 10 variieren. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft, welche wesentlichen Faktoren den Energieverbrauch beeinflussen. Der in der Tabelle angeführte *Verbrauchsfaktor* gibt dabei an, um wie viel höher der Energieverbrauch aufgrund des betreffenden Einflussfaktors in einer ineffizienten Anlage im Vergleich zu einer optimierten Anlage sein kann. Kombiniert man sämtliche Verbrauchsfaktoren miteinander, so kann zwischen einer optimierten Lüftungsanlage und einer ineffizienten Lüftungsanlage ein theoretischer Verbrauchsfaktor von über 40 entstehen. Dies bedeutet, dass für die Sicherstellung eines bestimmten Komfortniveaus durch eine ineffizienten Anlage 40 Mal mehr Energie eingesetzt wird, als in einer optimierten Anlage.

Darstellung der Einflussfaktoren für den Energieverbrauch bei Lüftungsanlagen			
	Optimierte Anlage	Ineffiziente Anlage	Verbrauchsfaktor
Volumenstrom / Dimensionierung	Die Anlage ist streng nach dem tatsächlichen Bedarf ausgelegt und hat nur geringe Leckagen. (30m ³ /h. Person)	Die Anlage ist überdimensioniert, weil sie z.B. für Raucher ausgelegt ist und hat zusätzlich 20% Leckagen. (70m ³ /h. Person)	2,3
Antrieb	Effizienter Ventilator mit rd. 1.000 W(m ³ /s)	Ineffizienter Ventilator mit mehr als rd. 4.500 W(m ³ /s). Grund ist auch ein hoher Druckverlust im Verteilsystem.	4,5
Betriebszeiten	Die Anlage wird nur zu den Nutzungszeiten des Gebäudes betrieben. (2200 h/a).	Die Anlage läuft durchgehend das ganze Jahr. (8760 h/a).	4,0
Variabler Volumenstrom	Durch entsprechende Sensoren kann der Luftvolumenstrom an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden.	Die Anlage wird durchgehend mit Nennleistung betrieben.	1,5

2. Energiebewertung für Lüftungsanlagen

Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch zusammengefasst für den Nutzungstyp „Bürogebäude“ die Bewertung für den spezifischen Stromverbrauch von Lüftungsanlagen.

Abhängig von der Belegungsdichte und des sich daraus ergebenden Luftvolumenstroms kann man im durchschnittlich von ca. 14 kWh/m² Stromverbrauch ausgegangen werden. Bei einer Umrechnung der Stromkosten bedeutet das durchschnittliche Kosten von 1,60 EURO/m². Dieser Wert kann aber bei ineffizienten Anlagen schnell auf 3,00 bis 4,00 EURO/m² steigen.

Spezifischer Stromverbrauch für eine typische Lüftungsanlage in einem Bürogebäude		
Belegung	Fläche je Person	Energiebedarf
Sehr dichte Belegung	5 m ²	30 kWh/m ²
Dichte Belegung	10 m ²	15 kWh/m ²
Durchschnittliche Belegung	15 m ²	10 kWh/m ²
Schwache Belegung	20 m ²	7 kWh/m ²

Eine der wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung der energetischen Effizienz einer Lüftungsanlage ist die spezifische Ventilatorleistung. Definiert wird sie über die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren bei maximalem Volumenstrom, die Einheit hierfür ist als $W(m^3/s)$ bzw. $kW(m^3/h)$ definiert. Ist sowohl ein Zuluft- und ein Abluftventilator vorhanden, addieren sind die elektrischen Anschlussleistungen, während bei den Volumenströmen der Mittelwert betrachtet wird.

Für die Beurteilung einer Lüftungsanlage oder dem Vergleich von spezifischen Ventilatorleistungen unterschiedlicher Anlagen sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Anlagen mit mehreren Filterstufen und Anlagen mit Kühl- und Heizregistern zur Luftkonditionierung haben einen erhöhten internen Luftwiderstand, wodurch zwangsläufig eine höhere Ventilatorleistung erforderlich ist.
- Kleine Ventilatoren weisen im Vergleich zu ihrer Antriebsleistung meist eine geringere Effizienz auf. Dadurch bedingt haben vor allem kleinere Anlagen eine höhere spezifische Leistungsaufnahme.

Der spezifische Kennwert einer Lüftungsanlage sollte bei jeder Anlage ermittelt werden. Dazu werden die Nennleistungen der Antriebsmotoren addieren. Die ermittelten Werte durch die Luftvolumenströme (m^3/s bzw. m^3/h) dividiert. Ergibt sich dabei ein Wert größer als $4,0 kW/(m^3/s)$ besteht Handlungsbedarf zur Verbesserung der Energieeffizienz.

Ergibt sich ein spezifischer Kennwert kleiner als $1,5 kW/(m^3/s)$ so bedeutet dies, dass die Anlage effizient ausgelegt wurde. Im Anlagenbetrieb kann aber dennoch Energieeinsparpotenzial vorhanden sein. Oftmals wird beispielsweise mehr Luftvolumen umgewälzt als erforderlich, und sind auch dann in Betrieb, obwohl kein Bedarf vorhanden ist.

3. Der Weg zu einer Energieeffizienten Lüftungsanlagen

Für die Luftförderung mit elektrisch angetriebenen Ventilatoren berechnet sich der Stromverbrauch nach der Formel:

$$Q_{LF} = \frac{V \cdot \Delta p \cdot t}{\eta_V \cdot \eta_M \cdot \eta_A}$$

Q_{LF}	Stromverbrauch für die Luftförderung [kWh]
V	Luftvolumenstrom [m^3/h]
Δp	Gesamtdruckdifferenz [Pa] in den Rohrleitungen
T	Betriebszeit der Lüftungsanlage [h]
η_V	Wirkungsgrad Ventilator
η_M	Wirkungsgrad Motor
η_A	Wirkungsgrad Antrieb

Das Produkt dieser Teilwirkungsgrade wird meist zum Gesamtwirkungsgrad η_{ges} zusammengefasst, insbesondere dann, wenn der Ventilator über einen Direktantrieb verfügt.

Aus dieser Formel ergibt sich der wesentliche Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Lüftungsanlagen:

- Reduzierung des Luftvolumenstroms
- Optimale Platzierung von Lufteinlässen und Luftauslässen
- Reduzierung der Betriebszeiten
- Bedarfabhängige Luftvolumenstromregelung
- Optimierung von Druckverlusten in der Luftverteilung
- Verwendung von effizienten Antrieben und Ventilatoren

Zur Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten, die aufgrund des Luftwechsels entstehen ist die Installation eines Wärmerückgewinnungssystems von wesentlicher Bedeutung.

Nachfolgend werden die wesentlichen Ansatzpunkte die zu einer energieeffiziente Lüftungsanlage führen detailliert beschrieben.

3.1 Anpassung des Luftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf

Die größte Energieeffizienzsteigerung kann durch die Anpassung des Luftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf erreicht werden. Die erforderliche Antriebsleistung für den Lufttransport zum Verbraucher und somit der wesentliche Teil des Energiebedarfs von Lüftungsanlagen ändert sich mit der dritten Potenz des Volumens:

$$P_{\text{neu}} = P_{\text{alt}} \left(\frac{V_{\text{neu}}}{V_{\text{alt}}} \right)^3$$

P_{neu} erforderliche Leistung nach Änderung der Drehzahl

P_{alt} erforderliche Leistung vor Änderung der Drehzahl

V_{neu} Volumenstrom nach Änderung

V_{alt} Volumenstrom vor Änderung

Die Formel sagt aus, dass eine Reduzierung des Luftvolumenstroms um z.B. 20 % eine wesentlich höhere Reduzierung des Energieeinsatzes - hier um ca. 50 % - bewirkt. Natürlich kann in der Praxis Einsparungswert bezogen auf die Leistungsaufnahme der Motoren vom Rechenwert abweichen, da sich die Strömungsverhältnisse im Luftkanalsystem durch eine Veränderung des Luftvolumenstroms ebenfalls ändern. Auch kommt es bei den Ventilatoren und deren Antrieben im Teillastbetrieb zu einem schlechteren Wirkungsgrad kommt.

Grundsätzlich gilt, dass eine Anpassung des Luftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf die Basis für eine energieeffiziente Lüftungsanlage darstellt. Der erforderliche Luftvolumenstrom wird von den folgenden Faktoren bestimmt:

- Die erforderliche Luftwechselrate ergibt sich aus der Anzahl der Personen in einem Raum und aus der Art der Nutzung. Die erforderliche Luftwechselrate ist durch Normen vorgegeben.
- Zusätzliche Belastung der Raumluft durch Luftschadstoffe wie Zigarettenrauch oder Feuchte.
- Die Luftströmung im Raum bestimmt die „Verfügbarkeit“ der zugeführten Luft für den Gebäudenutzer.
- Wärmeabfuhr durch die Lüftungsanlage, wenn durch die Lüftungsanlage eine zu hohe Erwärmung abgeführt werden soll.

Aus den Bestimmungsfaktoren für das erforderliche Luftvolumen ergeben sich die konkreten Ansatzpunkte für die Angleichung des Luftvolumenstroms an den tatsächlich vorhandenen Bedarf und somit für eine Reduzierung des Energieeinsatzes und Steigerung der Energieeffizienz von Lüftungsanlagen.

3.1.1 Überprüfung der tatsächlichen Nutzungsbedingungen

Der erste Schritt ist, die tatsächliche Nutzung der Anlage rechnerisch zu überprüfen. Das sich hieraus ergebende erforderliche Luftvolumen wird dann mit dem Luftvolumenstrom, den die Anlage aktuell zur Verfügung stellt, verglichen. In vielen Fällen entspricht das zur Verfügung stehende Luftvolumenstrom nicht mehr der tatsächlichen Nutzung, und der Luftvolumenstrom kann entsprechend reduziert werden.

So hat beispielsweise das Rauchverbot in Büro- und Arbeitsbereichen ergeben, dass die Luftwechselrate bei bestehenden Lüftungsanlagen deutlich reduziert werden konnte. Im Einzelfall wurden Reduzierungen von mehr als 50 % erreicht.

Die Überprüfung der erforderlichen Luftwechselrate sollte grundsätzlich raumweise erfolgen, da beispielsweise durch Nutzungsänderungen in Räumen oder Zonen der Betrieb einer bestehenden Lüftungsanlage eventuell nicht mehr erforderlich ist, diese jedoch oftmals weiter in Betrieb sind. In solchen Fällen kann sogar eine Stilllegung der betroffenen Bereiche erfolgen.

Die Reduzierung des Luftvolumenstroms setzt natürlich eine bestimmte Regelbarkeit der Anlage voraus, was im Anlagenbestand leider nicht immer der Fall ist. In solchen Fällen ist eine Nachrüstung von Regelkomponenten unumgänglich.

3.1.2 Optimale Platzierung der Luftein- und Luftauslässe

Ein wesentlicher Punkt hinsichtlich des Luftbedarfs stellt die Platzierung der Luftein- und Auslässe innerhalb der Räume dar. Sie bestimmen das Strömungsverhalten der Luft im Raum und beeinflussen damit, in welchem Maß die eingeblasene Zuluft den Nutzer auch tatsächlich erreicht.

Ein gutes Beispiel hierfür ist, wenn beispielsweise die Luft nur im Deckenbereich eingeblasen und auch im Deckenbereich wieder abgesaugt wird. In solchen Anlagen wird immer nur ein Teil der zugeführten Luft den eigentlichen Zweck erfüllen, ein Großteil wird vollkommen ungenutzt direkt wieder als Abluft abgesaugt. Eine wesentlich effizientere Methode stellt die Quelllüftung dar. Hier „quillt“ die Frischluft über Lufteinlässe in Bodenhöhe in den Raum, erwärmt sich und steigt samt eventuell vorhandener Luftbelastungen an die Decke, wo dann die Absaugung erfolgt.

3.1.3 Optimierung der Betriebszeiten

Ein weiteres Einsparungspotenzial kann sich bei der Überprüfung des zeitlichen Profils des erforderlichen Luftvolumens ergeben. Dabei stellt sich oftmals die Möglichkeit heraus, die Betriebszeiten der Lüftungsanlage zumindest in Teilbereichen eines Gebäudes zu reduzieren. Häufig wird die Lüftungsanlage auch dann betrieben, wenn zu einem konkreten Zeitpunkt kein Bedarf besteht. Es empfiehlt sich daher, die Notwendigkeit einer Lüftung zu verschiedenen Tageszeiten, der Woche und des Jahres zu überprüfen.

3.1.4 Bedarfsabhängige Luftvolumenstromsteuerung

Die Zuführung einer konstante Frischluftmenge ist in den meisten Gebäuden nicht erforderlich. Bei diesen Anlagen kann der Betreiber durch eine flexible Luftvolumenstromsteuerung eine zum Teil erhebliche Energieeinsparung erreichen. Hier bieten sich verschiedene Möglichkeiten und auch deren Kombination:

- Durch eine Zeitsteuerung werden die Betriebszeiten für die Lüftungsanlage vorgegeben.
- Teilbereiche der Lüftungsanlage ist nur dann in Betrieb, wenn durch Sensoren ein Lüftungsbedarf in den entsprechenden Räumen erfasst wird.

Sensoren können unter anderem erfassen:

- Anwesenheit von Personen durch Bewegungsmelder
- Steuerung durch Raumtemperaturerfassung
- Messung der CO2 Konzentration oder Mischgas-Erfassung

Laut DIN 13779 wird zwischen 6 verschiedenen Regelungsarten unterschieden:

Regelungsarten nach DIN EN 13779	
Kategorie	Beschreibung
IDA – C1	Anlage läuft konstant
IDA – C2	Manuelle Regelung / Steuerung
IDA – C3	Zeitgesteuerte Regelung / Steuerung
IDA – C4	Anwesenheitsabhängige Regelung / Steuerung
IDA – C5	Bedarfsabhängige Regelung – Personenanzahl
IDA – C6	Bedarfsabhängige Regelung – Sensoren

In den letzten Jahren sind die Anschaffungskosten für Sensoren wie CO₂, Mischgas, Temperatur usw. deutlich gesunken. Sinnvoll ist der Einsatz solcher Sensoren zur Regelung von Lüftungsanlagen ab einem Luftvolumenstrom von 4.000 m³/h. Durch Frequenzumrichter oder EC-Motoren kann somit der Antrieb an den Bedarf angepasst und dadurch erhebliche Energiemengen eingespart werden. Oftmals können gerade ältere Anlagen mit zwei unterschiedlichen Drehzahlen bzw. Luftvolumenströmen betrieben werden und die Anlagenregelung erfolgt durch die Reduzierung der Ventilator Drehzahl. In solchen Fällen kann die Anlagensteuerung recht einfach über Kenngrößen wie CO₂, Temperatur, Feuchte oder Mischgas (z.B. Staub) erfolgen. Frischluft wird nur dann bereitgestellt, wenn beispielsweise eine bestimmte CO₂-Konzentration erreicht wird. Bei einfachen Kleinanlagen kann auch der Einsatz eines handelsüblichen Bewegungsmelders eine sinnvolle Alternative für eine auf Luftqualität bezogene Steuerung sein.

3.2 Optimierung der Druckverluste

Die Luftförderung durch das Luftkanalsystem führt zu Druckverlusten, die wiederum durch die Antriebsleistung des Ventilators ausgeglichen werden müssen. Dies führt zwangsläufig zu einer Verschlechterung der Energieeffizienz einer Lüftungsanlage. Druckverluste lassen sich natürlich nicht vermeiden, sie können aber durch entsprechende konstruktive Maßnahmen erheblich reduziert werden. Folgende Punkte tragen zu Druckverlusten bei:

- Lange Luftkanäle
- Hohe Luftgeschwindigkeiten in den Luftkanälen aufgrund von zu geringem Querschnitt.
- Häufige Richtungsänderungen in der Kanalführung und somit im Luftstrom
- Unterdimensionierte Luftfilterflächen
- Luftaufbereitungsgeräte wie Heiz- und Kühlregister
- Leckagen in der Luftleitung.

Daraus ergeben sich weitere konkrete Ansatzpunkte die zu einer Verbesserung der Energieeffizienz an Lüftungsanlagen führen.

3.2.1 Standort der Lüftungszentrale

Um die Druckverlust im Luftkanalsystem zu minimieren, sollte sich die Luftaufbereitung möglichst nah an den zu belüfteten Räumen befinden. Durch einen diesbezüglich optimal gewählten Standort, kann die Längen der Luftkanäle minimiert werden, was zu einer Reduzierung der Druckverluste im Luftverteilssystem führt.

3.2.2 Luftkanaldurchmesser und Luftgeschwindigkeit

Der Luftkanaldurchmesser sollte möglichst groß sein, da geringere Querschnitte den Druckverlust erhöhen. Um in unterdimensionierten Luftkanälen das gewünschte Luftvolumen überhaupt transportieren zu können, muss zwangsläufig eine höhere Luftgeschwindigkeit in Kauf genommen werden, was wiederum höhere Antriebsleistungen bedeutet.

Bei den Luftgeschwindigkeiten wird unterschieden in:

- Geringe Geschwindigkeit. Hier beträgt die Luftgeschwindigkeit in der Luftaufbereitung ca. 2 m/s, während sie im Luftkanalsystem bis zu 3 m/s.
- Mittlere Geschwindigkeit. Die Luftgeschwindigkeit in der Luftaufbereitung beträgt üblicherweise 3 bis 6 m/s, im Luftkanalsystem bis zu 5 m/s.
- Hohe Geschwindigkeit. Die Luftgeschwindigkeit liegt in der Luftaufbereitung bei über 5 m/s, und im Luftkanalsystem bei mehr als 8 m/s.

Vor- und Nachteile unterschiedlich gewählter Luftgeschwindigkeiten		
Luftgeschwindigkeit	Vorteile	Nachteile
Geringe Luftgeschwindigkeit	Geringe Anschlussleistung Geringere Geräusentwicklung	Höhere Investitionskosten Mehr Platzbedarf
Mittlere Luftgeschwindigkeit	Geringere Errichtungskosten Weniger Platzbedarf	Mehr Anschlussleitung Höhere Geräusentwicklung
Hohe Luftgeschwindigkeit	Geringste Errichtungskosten Geringer Platzbedarf	Höhere Anschlussleistung Deutliche Geräusentwicklung

Um einen möglichst effizienten Anlagenbetrieb zu gewährleisten, ist also bereits während der Planungsphase des Gebäudes darauf zu achten, dass genügend Platz für die Luftkanäle zur Verfügung steht, um eine möglichst geringe Luftgeschwindigkeit innerhalb des Kanalsystems wählen zu können.

Insbesondere bei raumluftechnischen Klimaanlage ist auf eine geringe Luftgeschwindigkeit zu achten. Bei hoher Luftfeuchtigkeit kann es bei zu groß gewählten Luftgeschwindigkeiten zu Tröpfchenabscheidung kommen („moisture carryover“), was dann im weiteren zwangsläufig zu Problemen in den Luftkanälen und auch bei der Qualität der Zuluft führen kann. Bei raumluftechnischen Klimaanlage gilt es daher möglichst geringe Luftgeschwindigkeiten zu wählen.

3.2.3 Luftkanalführung

Neben dem Luftkanaldurchmesser ist auch die optimale Führung der Luftkanäle von wesentlicher Bedeutung. Die Luftströmung innerhalb des Kanalsystems sollte möglichst gleichmäßig und ohne Turbulenzen zu erfolgen. Dadurch lassen sich zum einen Druckverluste reduzieren und zum anderen die die Geräusentwicklung durch die Luftführung minimieren.

Auf folgende Punkte sollte bei der Planung der Luftkanalführung besonders geachtet werden:

- Änderungen der Strömungsrichtung möglichst vermeiden.
- Richtungswechsel der Luftkanäle sollte möglichst erst nach einem Abstand von zwei bis drei Kanaldurchmessern hinter einer Komponente wie beispielweise Schalldämpfer erfolgen.
- Verwendung von sanften Bögen anstelle von rechtwinkligen Bauteilen.
- Nutzung von Y-Abzweigungen anstelle von T-Stücken.
- Rundrohre sind viereckigen Leitungsquerschnitten vorzuziehen.
- Bei viereckigem Leitungsquerschnitt möglichst immer eine quadratische Form wählen.
- Die Kanalführung ist möglichst derart zu planen und zu montieren, dass die Gefahr für das Entstehen von Leckagen gering ist. Es ist besonderes Augenmerk auf die Steckverbindungen und Flanschabdichtungen zu legen.
- Möglichst einfacher Zugang an und wenn möglich in das Kanalsystem zu Inspektions- und Reinigungszwecken.

3.2.4 Luftfilter

Filter sind erforderlich um die in Lüftungsanlagen geführte Luft zu reinigen und die Komponenten der Lüftungsanlage, wie Heiz- und Kühlregister, Luftkanäle usw. vor Schmutzablagerungen zu schützen. Je nach Lüftungsanlage kann dies bei der Zuluft und zusätzlich auch in der Abluft erfolgen. Schmutzpartikel und Verunreinigungen setzen sich dabei im Filter ab. Aus diesem Grund sind Filter daher oftmals verstopft und erhöhen unnötig den Druckverlust. Ein regelmäßiger Filteraustausch oder eine Filterreinigung gehört daher zu den wirtschaftlichsten Maßnahmen, um unnötige Druckverluste zu vermeiden.

Differenzdruckmanometern helfen dabei den optimalen Zeitpunkt für einen Filterwechsel oder eine Filterreinigung zu ermitteln. Bei einem solchen System wird die Druckdifferenz vor und nach dem Filter gemessen. Übersteigt die Differenz aufgrund abgelagerter Partikel einen bestimmten Wert, ist ein Filteraustausch oder eine Filterreinigung erforderlich.

Luftfiltern können im wesentlichen in drei Filterstufen unterteilt werden:

- Grobfilter: In diese Kategorie gehören Einweg-Paneel-Filter, Filter-Pads, waschbare Filter und automatische Roll-Filter.
- Normalfilter: Filter mit mittlerer Reinigungseffizienz wie Beutel-Filter, elektrostatische Filter und tief gefaltete Filter.
- Feinstaubfilter: Sie verfügen über einen hohen Abscheidegrad und werden für die Reinraumfilterung verwendet.

Je feiner die Filterung ist, umso höher ist auch der damit verbundene Druckverlust. Filter sollten daher so derart ausgewählt werden, dass der Filtergrad für die gegebenen Anforderungen gerade ausreichend ist und es dadurch zu einem möglichst geringen Druckverlust kommt.

Die wichtigsten Aspekte für die Filterauswahl und Platzierung sind:

- Stellen Sie sicher, dass die Strömung möglichst gleichmäßig und ohne Turbulenzen zum Filter gelangt.
- Die zur Verfügung stehende Filterfläche sollte möglichst großflächig sein.
- Filterüberwachung durch ein Differenzdruck Manometer zur Bestimmung des Druckverlusts, um so den optimalen Zeitpunkt für einen Filterwechsel zu erkennen.

3.2.5 Leckagen

Den Leckagen in Lüftungsanlagen wird oftmals zu wenig Beachtung geschenkt. Bei Leckagen in den Zentralen und Kanälen einer Lüftungsanlage entweicht zum einen die aufbereitete Luft in Bereiche, wo sie nicht benötigt wird. Dadurch muss zusätzlich Luft aufbereitet und transportiert werden, um den erforderlichen Luftbedarf zu decken. Andererseits entsteht dadurch ein zusätzlicher Druckverlust in den Luftkanälen, der durch zusätzliche Antriebsenergie überwunden werden muss. Des Weiteren entstehen durch Leckagen oft störende Geräusche, die den Nutzungskomfort beeinträchtigen können.

Hat beispielsweise eine Anlage einen angenommenen Leckagenverlust von 10 %, so ergibt sich entsprechend der Formel ein zusätzlicher Energieverbrauch von über 30 %.

Bei bestehenden Anlagen kann von Leckageverlusten zwischen 5 und 15 % ausgegangen werden. Hier sollte geprüft werden, ob und wie weit durch entsprechende Abdichtungsmaßnahmen diese Verluste reduziert bzw. eliminiert werden können.

Bestehen Zweifel an der Dichtigkeit eines Kanalsystems empfiehlt es sich, Volumenstrommessungen an den einzelnen Strängen durchzuführen und so den Ort der Leckagen sowie die Größenordnung zu bestimmen. Eine solche Überprüfung der einzelnen Volumenströme sollte auf jeden Fall Gegenstand der Inbetriebnahme bei Neuanlagen bzw. einer Erweiterung einer bestehenden Anlage sein. Durch eine solche Überprüfung kann die Qualität bzw. die Dichtheitsklasse der Anlage bestimmt werden.

Bei Neuanlagen sollten mindestens die Dichtheitsklasse C gemäß DIN EN 12237 erreicht werden. Bei der Dichtheitsklasse C betragen die Leckagen weniger als 1 %.

3.2.6 Luftauslässe, Luftabsaugung

Luftauslässe sind teilweise so ungünstig ausgerichtet, dass sich Mitarbeiter direkt im Bereich des Luftstroms befinden. Um in solchen Fällen den Komfort für den Mitarbeiter zu erhöhen, wird oftmals der entsprechende Luftauslass durch Eigeninitiative verstellt oder auch verschlossen. Diese Maßnahme ist aus Sicht des Mitarbeiters durchaus verständlich, führt aber gleichzeitig zu einer Reduzierung der Gesamteffizienz einer Lüftungsanlage, da sich durch solche Maßnahmen an anderen Stellen des Kanalsystems der Druck erhöht und somit auch die Austrittsgeschwindigkeit an anderen Luftauslässen. Sinnvoller ist in solchen Fällen eine Reduzierung des Luftvolumenstroms in der Gesamtanlage oder dem betreffenden Strang durch eine Anpassung der Luftfördermenge.

Auch hier wird die Effizienz der Anlage dadurch reduziert, da es an diesen Stellen zu erhöhten Druckverlusten in der Anlage kommt.

Eine regelmäßige Prüfung aller Lufteinlässe und Luftauslässen ist daher unabdingbar um eine störungsfreie durchströmen zu gewährleisten.

3.2.7 Weitere Komponenten

Weitere Druckverluste in Lüftungsanlage werden durch Heiz- und Kühlregister, Klappen, Schalldämpfer, Kulissen, Leitgitter und Lüfter erzeugt. Die Auswahl dieser Komponenten sollte daher immer auch unter dem Aspekt der Minimierung von Druckverlusten erfolgen.

Luftherhitzer

Luftherhitzer oder auch Heizregister sind rekuperativer Wärmeübertrager und dienen in bei der Luftaufbereitung um die Zulufttemperatur anzuheben. Dabei können Heizregister für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden.

Vorerhitzer

1. Vorerhitzer heben im Winter die frische Außenluft auf +5 °C an, um Frostschäden an nachgeschalteten wassergefüllten Anlagenkomponenten zu verhindern.
2. Vorerhitzer heben zur Filtertrocknung die Lufttemperatur um 2 bis 3 °C an, damit Nebel oder von der Luft mitgetragene Regentröpfchen den zu schützenden Luftfilter nicht durchnässen.
3. Vorerhitzer heben vor einer Verdunstungsbefeuchtung die Lufttemperatur an, um eine bessere Feuchteaufnahme der Luft zu erreichen.

Erhitzer

1. Erhitzer temperieren die frische Außenluft damit die Zuluft nicht zu kalt in die Räume gefahren wird.
2. Erhitzer überwärmen die Zuluft in einem Maße, dass die statische Heizung der Räume entlastet oder ersetzt wird.

Nacherhitzer

1. Nacherhitzer sind einem Kühler nachgeschaltet und heben die Lufttemperatur hinter einem Entfeuchtungsprozess so weit an, dass die Zuluft nicht zu kalt in die Räume gefahren wird.
2. Nacherhitzer sind einer Wärmerückgewinnung nachgeschaltet, um die Zulufttemperatur über die Ablufttemperatur anzuheben.
3. Nacherhitzer sind der zentralen Luftaufbereitung nachgeschaltet und stellen für verschiedene Zuluftzonen unterschiedliche Temperaturen zur Verfügung.

Die Vielzahl der Aufgaben, die ein Heizregister erfüllt führt oftmals dazu das Register gleicher Dimensionierung für unterschiedliche Einsatzbereiche verwendet werden und bei eventueller Unterdimensionierung zu einem erheblichen Anstieg der Druckverluste führen.

Es ist daher empfehlenswert, Heizregister auf die richtige Dimensionierung für das jeweilige Einsatzgebiet zu überprüfen und Heizregister gegebenenfalls auszutauschen. Bei der Überprüfung sollte auch ein besonderes Augenmerk auf den Verschmutzungsgrad des Heizregisters gelegt werden. Bedingt durch einen relativ engen Lamellenabstand, neigen Heizregister auch bei intakter Filteranlage zu Verschmutzungen, die wiederum eine deutliche Erhöhung der Druckverluste mit sich bringt.

Luftkühler

Auch das Kühlregister ist ein Wärmeübertrager und wird zur Luftkonditionierung in der Gebäudeklimatisierung eingesetzt. In Lüftungs- und Klimaanlage senkt das Kühlregister die Lufttemperatur der Zuluft. Das Kühlregister kann für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden.

1. Kühlregister senken die Lufttemperatur für Kühlzwecke ab. Der Feuchtegehalt der Luft bleibt dabei unverändert.
2. Kühlregister senken den Feuchtegehalt der Luft durch Unterschreitung des Taupunktes ab.
3. Als Nachkühler sind sie der zentralen Luftaufbereitung nachgeschaltet und stellen für verschiedene Zuluftzonen unterschiedliche Temperaturen zur Verfügung.

Auch hier ist es daher empfehlenswert, Kühlregister auf die richtige Auslegung und Dimensionierung für das jeweilige Einsatzgebiet zu überprüfen und gegebenenfalls auszutauschen. Wie auch bei Heizregistern sollte bei der Überprüfung ein besonderes Augenmerk auf den Verschmutzungsgrad gelegt werden. Bedingt durch einen relativ geringen Lamellenabstand, neigen auch Kühlregister zu Verschmutzungen, was wiederum zu einer deutliche Erhöhung der Druckverluste führt.

3.3 Optimierung des Ventilators

Das Herzstück einer Lüftungsanlage ist der Ventilator mit seinem Antrieb. Ein niedriger Energieverbrauch ergibt sich beim Ventilator aus der Kombination von Ventilatorform, der Kraftübertragung vom Antrieb auf den Ventilator, dem eingesetzten Antrieb, sowie der Luftführung innerhalb der Baugruppe. Für einen energieeffizienten Betrieb ist dabei nicht nur auf einen guten Wirkungsgrad bei der Nennlast Wert zu legen, vielmehr ist auch auf die Effizienz im Teillastbereich zu achten. In der Praxis ist oftmals gerade der Teillastbereich sogar wichtiger.

3.3.1 Gesamteffizienz des Ventilators

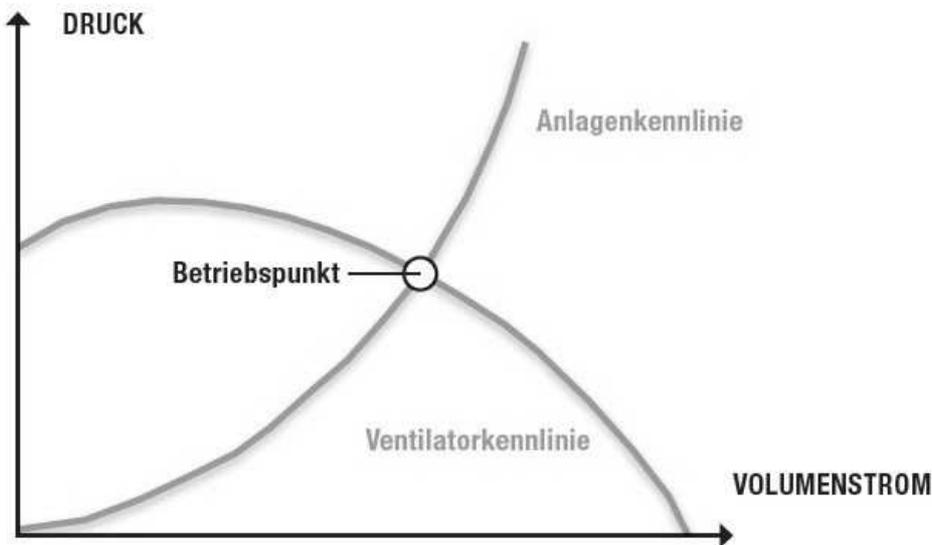
Eine wichtige Kenngröße die zur Beurteilung der energetischen Effizienz eines Ventilators ist die spezifische Ventilatorleistung Specific Fan Power (SFP). Dieser Wert ist ein europaweit gültiger Kennwert und wird durch die DIN 13779 näher beschrieben und festgelegt. Der SFP definiert sich über die elektrische Leistungsaufnahme unter Vollast beim maximalen Volumenstrom (Auslegungspunkt), die Einheit ist $W/[m^3/s]$ bzw. $kW/[m^3/h]$. Ist sowohl in der Zuluft, als auch bei der Abluft einen Ventilator vorhanden, sind die addieren sich die Anschlussleistungen, während für den Volumenstrom der Mittelwert herangezogen wird.

Der SFP Wert definiert die Gesamteffizienz des Ventilators inklusive Antrieb. Zu Beachten ist dabei, dass auch die Konfiguration der Gesamtanlage, insbesondere die in der Anlage gegebenen Druckverluste eine wesentliche Rolle spielen.

3.3.2 Auswahl des Ventilortyps

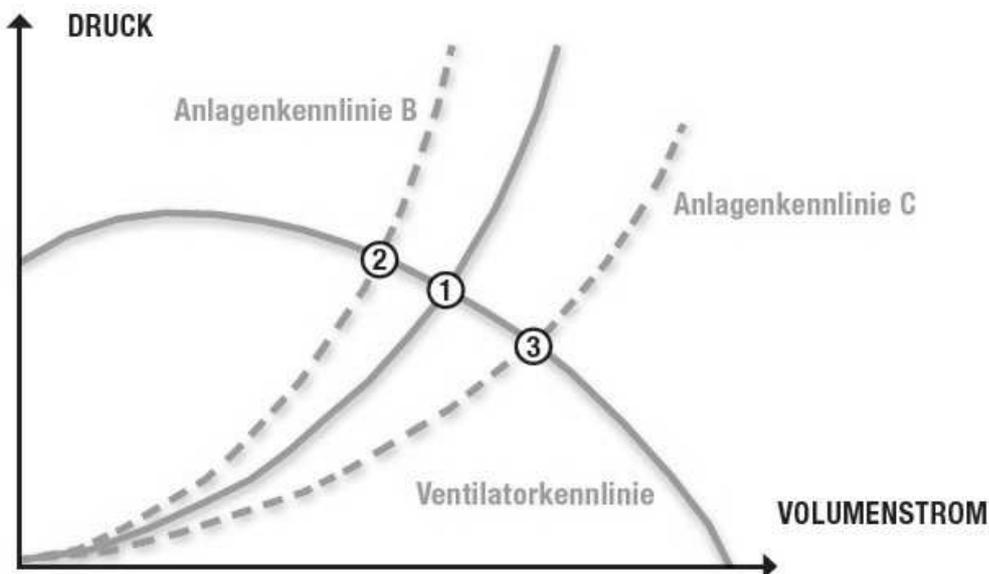
Die Auswahl des Ventilators erfolgt ausgehend von der notwendigen Druckerhöhung (Δp_t), dem erforderlichen Volumenstrom sowie dem zur Verfügung stehenden Platz. Das Verhältnis der Druckerhöhung zum Volumenstrom wird in der sogenannten Ventilator Kennlinie dargestellt. Die Ventilator Kennlinie zeigen die Volumenströme bei unterschiedlichen Drücken. Im Gegensatz dazu ergibt sich die Anlagen Kennlinie aus der Charakteristik der gesamten Anlage. Die Anlagen Kennlinie definiert den Druckbedarf im gesamten Kanalsystem bei unterschiedlichen Volumenströmen. Der Betriebspunkt des Ventilators wird durch den Schnittpunkt von Ventilator Kennlinie und Anlagen Kennlinie definiert.

Typische Ventilator Kennlinie, Anlagenkennlinie und Betriebspunkt im V/p Diagramm



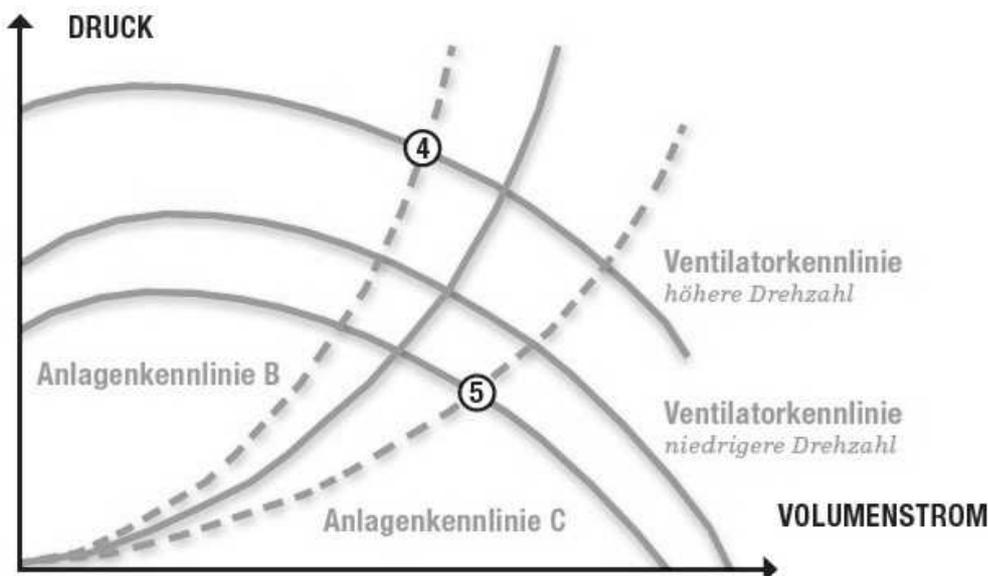
Änderungen am Druckverlust haben grundsätzlich Einfluss auf die Anlagenkennlinie durch eine Änderung des Volumenstromes. Steigt der Druckverlust durch einen höheren Widerstand in den Luftkanälen, reduziert sich der Volumenstrom (Anlagenkennlinie B). Sinkt beispielsweise der Druck, dann erhöht sich aber umgekehrt der Volumenstrom (Kennlinie). Dies gilt jeweils nur bei einer konstanten Drehzahl.

Typische Ventilatorenkennlinie im V/p Diagramm bei Änderungen der Druckverluste



Um den Volumenstrom wieder zu erhöhen, damit die Nutzungserfordernisse erfüllt werden, kann die Ventilator Drehzahl erhöht werden. Der Betriebspunkt liegt dann auf dem Schnittpunkt der Anlagenkennlinie B und der Ventilator Kennlinie mit der höheren Drehzahl (Betriebspunkt).

Ventilatorenkennlinie im V/p Diagramm



Um einen energieeffizienten Betrieb zu ermöglichen, ist der Ventilator in der Form auszuwählen, dass er im Bereich des Betriebspunktes den besten Wirkungsgrad hat. Je nach Typ des Ventilators kann der Bereich der energieeffizienten Arbeitsweise weiter oder enger sein, das bedeutet das in einem breiten Arbeitsbereich der Wirkungsgrad auch bei Abweichungen vom Betriebspunkt ziemlich konstant bleibt, während in einem engen Arbeitsbereich eine Änderung des Betriebspunktes schnell eine stärkere Änderung des Wirkungsgrades verursacht. Aus diesem Grunde werden daher je nach Anforderung unterschiedliche Ventilatorarten eingesetzt.

3.3.3 Kraftübertragung am Ventilator

Die effizienteste Verbindung zwischen Antrieb und Ventilator ist die Direktkopplung. Daher sollte möglichst ein Ventilator mit Direktantrieb ausgewählt werden. Ist jedoch aus Platzgründen eine Kraftübertragung mittels Riemenantrieb erforderlich, sollte die Riemenspannung regelmäßig überprüft und eine Riemenüberwachung vorgesehen werden. Bei abgenutzten Antriebsriemen kann sich der Wirkungsgrad eines Ventilators um 5 bis 10% verringern.

3.3.4 Antrieb des Ventilators

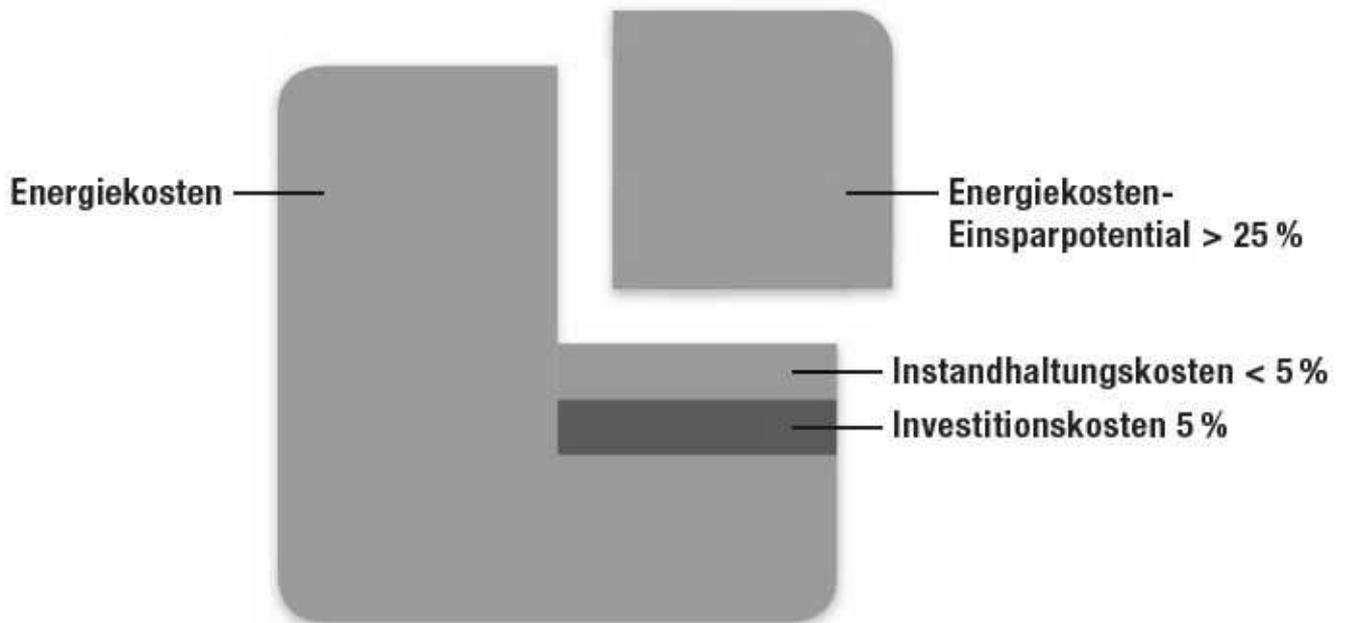
Bei den Antrieben ist in den letzten Jahren ein großer Effizienzsprung erfolgt. Moderne Motoren bieten einen guten Wirkungsgrad im Lastbereich von 60 bis 100%. Generell empfiehlt es sich, neben der richtigen Dimensionierung, immer EFF1- Motoren einzusetzen, um Antriebsenergie zu sparen. Vor allem im unteren Leistungsbereich (bis ca. 6 kW, 15.000 m³/h) finden auch zunehmend EC Motoren Verwendung. Durch die einfach zu verändernde Drehzahl können Einsparungen von 10 bis 50 % erreicht werden.

3.3.5 Wirtschaftlichkeit beim Austausch des Ventilators

Das folgende Diagramm zeigt, dass bezogen auf einen Betriebszeitraum von 10 Jahren bei einem Ventilator die Energiekosten die entscheidende Kostenkategorie sind und die Investitionskosten bei weitem übersteigen. Bei der Auswahl und Beurteilung von Ventilatoren sollten daher immer die gesamten, über einen bestimmten Zeitraum anfallenden Kosten zu betrachten werden.

Dies bedeutet gleichzeitig, dass der Austausch eines Ventilators auch bei einer bestehenden Lüftungsanlage eine wichtige wirtschaftliche Maßnahme ist, die sich in wenigen Jahren amortisiert hat.

Gesamtkosten eines Ventilators über einen Zeitraum von 10 Jahren



3.4 Wärmerückgewinnung

Lüftungsanlagen befördern während der kalten Jahreszeit erwärmte Luft nach außen. Durch einen Wärmetauscher kann diese Wärmeenergie der Abluft entzogen werden, um dann wieder der Zuluft zugeführt zu werden. Durch eine Wärmerückgewinnung können die Lüftungswärmeverluste und somit der Heizwärmebedarf erheblich reduziert werden.

Die wesentlichen Vorteile einer Wärmerückgewinnung (WRG) bei Lüftungsanlagen:

- Verringerung der Anschlussleistungen [kW] für Heiz- und Kälteenergie.
- Verringerung des Energieverbrauchs [kWh] für Heizung und Kühlung.
- Verkleinerung von Heizkessel, Kältemaschine, Rückkühlwerk, Verrohrung, Technikzentrale usw.
- Verringerung der Schadstoffemissionen.
- Verringerung der Investitions- und Betriebskosten.

Die Effizienz des Wärmetauschers wird über die Rückwärmezahl (siehe Formel) beschrieben. Diese liegt in der Regel zwischen 0,4 und 0,8. Zu beachten ist, dass eine hohe Rückwärmezahl oftmals einen höheren Druckverlust im Wärmetauscher mit sich führt.

$$\phi = \frac{T_{ab} - T_{Fort}}{T_{ab} - T_{Aussen}}$$

ϕ	Rückwärmezahl
T_{ab}	Temperatur der abzuführenden Luft vor dem Wärmetauscher
T_{Fort}	Temperatur der abzuführenden Luft nach dem Wärmetauscher
T_{Aussen}	Temperatur der Außenluft

Arten von Wärmetauschern

WRG - System	Wärmeübertragung	Rückwärmezahl	
Rekuperative Systeme	Kreuzstromwärmetauscher	0,5 – 0,7	
	Gegenstromwärmetauscher	0,7 – 0,8	
Regenerative Systeme	Kreislauf-Verbundsysteme	Kompaktwärmetauscher	0,3 – 0,5
		Gegenstrom-Schichtwärmetauscher	0,7 – 0,8
Wärmerohr (heatpipe)	Schwerkraftwärmerohr (Thermosion)	0,2 – 0,4	
		Kapillarwärmerohr	0,5 – 0,8
Regeneratoren	Rotor mit Sorption	0,7 – 0,8	
		Rotor ohne Sorption	0,7 – 0,8
		Kapillargebläse	0,2 – 0,4
		Umschalt Speicher	0,6 – 0,9

Die Erfahrung der Vergangenheit haben gezeigt, dass sich die Installation einer Wärmerückgewinnung bereits bei Anlagen mit vergleichsweise geringen Luftvolumen ab ca. 2000 m³/h auszahlt.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: In einem Gebäude werden 2.000 m³/h durch die Lüftungsanlage umgewälzt. Bei Wärmekosten von 0,06 EURO/kWh werden dadurch ca. 1.200,00 EURO an Energie mit der Luft nach außen geführt. Durch den Einsatz eines Kreuzstrom Plattenwärmetauschers könnten davon ca. 50 % zurück gewonnen werden. Die Kosten für einen Kreuzstrom Plattenwärmetauscher dieser Größenordnung betragen inkl. Montage ca. 2.000 EURO. Der Wärmetauscher amortisiert sich also bereits nach 4 Jahren. Bei größeren Anlagen ab ca. 15.000 m³/h sinkt die Amortisationsschwelle für auf unter 2 Jahre.