SKRIPT LÜFTUNGSTECHNIK

Fachbereich Architektur

Fachgebiet
Technische Gebäudeausrüstung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen

November 1999



INHALT

| 1 | BEGRIFFE, DEFINITIONEN | 3 |
|-----|--------------------------------------------|----|
| 2 | GRUNDLAGEN | 4 |
| 2.1 | Behaglichkeit | 4 |
| 2.2 | Luftfeuchte | 8 |
| 2.3 | Empfundene Raumluftqualität | 13 |
| 2 | .3.1 Olf | 14 |
| 2 | .3.2 Dezipol | 15 |
| 2.4 | Luftwechselrate | 17 |
| 2.5 | Notwendiger Außenluftvolumenstrom | 17 |
| 2.6 | Lüftungsbedarf von Gebäuden | 18 |
| 3 | LUFTFÜHRUNG IM RAUM | 19 |
| 3.1 | Natürliche Lüftung | 19 |
| 3.2 | Luftführung bei mechanischer Lüftung | 20 |
| 4 | Wohnungslüftung | 23 |
| 4.1 | Zonierung | 23 |
| 4.2 | Luftheizung | 24 |
| 4.3 | Mechanische Wohnungslüftung | 25 |
| 4 | .3.1 Abluftanlagen | 26 |
| 4 | .3.2 Zu- und Abluftanlagen | 27 |
| 4.4 | Überström-, Zu- und Abluftelemente | 28 |
| 4.5 | Lüftung in Passivhäusern | 30 |
| 5 | Bürolüftung | 32 |
| 5.1 | Gliederung der Lufttechnik | 33 |
| 5.2 | Möglichkeiten der Luftbehandlung | 33 |
| 5 | .2.1 Be- und Entfeuchten | 33 |
| 5 | .2.2 Heizen und Kühlen | 34 |
| 5.3 | RLT Anlagen mit zentraler Luftbehandlung | 35 |
| 5.4 | RLT Anlagen mit dezentraler Luftbehandlung | 36 |
| 6 | GRÖßE UND ANORDNUNG VON TECHNIKZENTRALEN | 38 |
| 7 | LÜFTUNG UND ENERGIE | 40 |
| 7.1 | Energie | 40 |
| 7.2 | Begriffsdefinitionen | 40 |
| 7.3 | Lüftungswärmebedarf | 41 |
| 7.4 | Wärmerückgewinnungseinrichtungen | 41 |
| 8 | LITERATURVERZEICHNIS | 45 |

1 Begriffe, Definitionen

Die Begriffe und Definitionen sowie Darstellungen zur Lüftungstechnik sind in der DIN 1946 festgelegt. Im folgenden sind die verschiedenen Luftarten zusammengestellt. Wichtig ist hier die Betrachtung der Tabelle 1.1 mit den Definitionen der zu unterscheidenden Luftarten und deren Kürzel.

Tabelle 1.1: Luftarten (DIN 1946-T1)

| | Kürzel | Kennzeichnung | Farbe | Beschreibung |
|-----------|--------|---------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Zuluft | ZU | Vollstrich | grün | dem zu lüftenden Raum zugeführte Luft |
| Abluft | AB | Gestrichelt | gelb | aus dem zu lüftenden Raum abgeführte Luft |
| Außenluft | AU | Strichpunkt | orange | gesamte, aus dem Freien angesaugte Luft; ehem. Frischluft |
| Fortluft | FO | Gestrichelt | gelb | gesamte, ins Freie abgeführte Luft |
| Umluft | UM | Gestrichelt | gelb | Abluft, die der Zuluft wieder zugeführt wird |
| Mischluft | | Strich-Strich-Punkt | | Mischung von unterschiedlichen Luftströmungen (z.B. AU- und UM- Luft) |

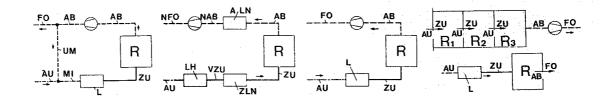


Abbildung 1.1: Anwendungsbeispiele für Luftarten (Ihle, 1991)

(L) Luftbehandlung; (LH) Lufthauptbehandlung; (ALN) Abluftnachbehandlung; (ZLN) Zuluftnachbehandlung;

(R_x) Raum; (NAB) nachbehandelte Abluft

2 Grundlagen

2.1 Behaglichkeit

Ein behagliches Raumklima fördert das physische und psychische Wohlbefinden des Menschen. Die wesentlichen Einflußgrößen auf die Behaglichkeit sind die Raumlufttemperatur, die Temperatur der Raumumschließungsflächen, die Raumluftfeuchtigkeit und die Luftbewegung im Raum. Zusätzlich wird das Behaglichkeitsempfinden noch beeinflußt durch die Intensität der geistigen und körperlichen Tätigkeit, die Bekleidung, die individuelle physische und psychische Verfassung des Menschen, durch die Luftreinheit, die Geräusche und die Akustik im Raum sowie die Aufenthaltsdauer und die Anzahl der anwesenden Personen.

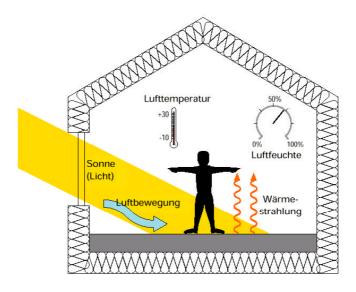


Abbildung 2.1: Einflußfaktoren auf die thermische Behaglichkeit (Energiegerechtes Bauen, 1996)

Wärmeabgabe des Menschen

Bei leichter Tätigkeit produziert ein durchschnittlicher Mensch eine Wärmeleistung von ca. 120 W, die er an seine Umgebung abgeben muß, um seine Körpertemperatur konstant zu halten. Die Wärmeabgabe des Menschen erfolgt durch:

- · Konvektion,
- · Wärmestrahlung,
- Verdunstung (über die Haut),
- Atmung.

In Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur verändern sich die Anteile wie in Abbildung 2.2 dargestellt. Der Aktivitätsgrad und die Temperatur der Raumumschließungsflächen werden hierbei als konstant angenommen. Bei zu niedrigen Umgebungstemperaturen wird durch Konvektion und Strahlung so viel Wärme abgegeben, daß der Körper langsam auskühlt, und der Mensch friert.

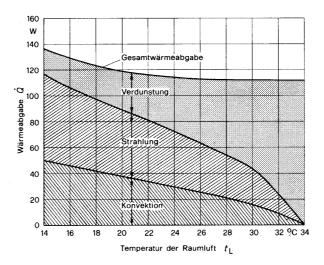


Abbildung 2.2: Wärmeabgabe des Menschen an den Raum (Arbeitskreis der Dozenten, 1989)

Bei zu hohen Umgebungstemperaturen¹ können nur noch geringe Mengen an Wärme durch Konvektion und Strahlung abgeführt werden. Der Körper versucht, eine Erhöhung der Wärmeabgabe über Verdunstung zu erreichen: er schwitzt.

Die Temperatur der Raumumschließungsflächen, mit denen der Mensch in Strahlungsaustausch steht, ist für das Behaglichkeitsempfinden des Menschen genauso bedeutsam wie die Raumlufttemperatur. So setzt sich die vom Menschen empfundene Temperatur aus dem Mittelwert der mittleren Temperatur aller Raumumschließungsflächen und der Raumlufttemperatur zusammen.

Luftbewegung

Der Mensch reagiert auf Zugluft empfindlich, weil durch sie die Wärmeabgabe durch Konvektion und Verdunstung erhöht wird. Eine dauerhafte Luftgeschwindigkeit von mehr als 0,2 m/s empfindet der Mensch als unangenehm (außer an warmen Tagen).

Eine spürbare Luftbewegung im Raum kann schon entstehen, wenn die Differenz zwischen der Temperatur einer Wand und der Raumluft mehr als 2°C beträgt. Wichtig ist daher die richtige Anordnung von Fenster- und Heizkörperflächen im Raum².

-

¹ nahe Körpertemperatur

² siehe TGA Heiztechnik Skript 2/98

Die nach DIN 1946 Teil 2 zulässigen Luftgeschwindigkeiten im Raum sind in Abbildung 2.3 dargestellt. Die Kurvenform bestätigt die Erfahrung: Hohe Geschwindigkeiten warmer Luft werden als angenehm empfunden³, die gleiche Luftbewegung im Winter aber als sehr unangenehm.

Die zulässigen Luftgeschwindigkeiten nach Abbildung 2.3 gelten für Aktivitätsgrad 2 und mittlere Bekleidung⁴. Warme Kleidung als auch eine höhere Aktivität erlauben höhere Luftgeschwindigkeiten.

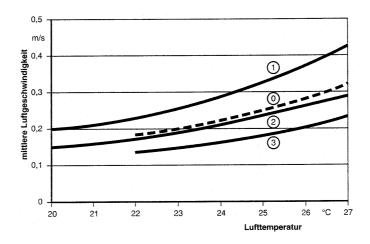


Abbildung 2.3: Maximale Luftgeschwindigkeiten als Mittelwerte im Aufenthaltsbereich, nach DIN 1946 Teil 2 (Reinmuth, 1994)

Die Kurve 0 entspricht der DIN 1946 Teil 2, 1983. Die Kurven 1 bis 3 sind in der DIN Fassung 1994 angegeben für die Turbulenzgrade (T):

- Grenzkurve 1 für T= 5% (Nur in Reinräumen bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung möglich)
- Grenzkurve 2 f
 ür T= 20% (Nur bei Quelll
 üftung erreichbar)
- Grenzkurve 3 für T= 40% und darüber (Bei der üblichen Mischlüftung vorliegend)

Als qualitatives Beispiel kann man sich vorstellen, daß bei sitzender Tätigkeit mit leichter Bekleidung schon niedrige Luftgeschwindigkeiten als unangenehm empfunden werden. Im Gegensatz hierzu werden höhere Luftgeschwindigkeiten bei schwerer körperlicher Arbeit toleriert.

³ z.B. Wind im Sommer

⁴ Wärmeleitwiderstand 0,12 m²K/W (s.a. Kapitel 2.1)

Die Höhe der als noch behaglich empfundenen Luftgeschwindigkeit ist auch abhängig von der zeitlichen und örtlichen Änderung (Turbulenzen) der Luftbewegung (Reinmuth, 1994).

Mit Testpersonen wurden Behaglichkeitsuntersuchungen über die Wahrnehmung von thermischem Unbehagen bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten und verschiedenen Turbulenzgraden bei konstanter Temperatur durchgeführt. Es stellte sich heraus, daß ein hoher Turbulenzgrad bei gleicher mittlerer Luftgeschwindigkeit und gleicher Lufttemperatur als unbehaglicher empfunden wird als ein kleiner Turbulenzgrad.

Das heißt, es kann eine höhere Raumluftgeschwindigkeit zugelassen werden, wenn gleichzeitig der Turbulenzgrad herabgesetzt wird, da die örtliche Luftgeschwindigkeit im Mittel gleich bleibt ($v_{\text{\"ortlich}} = v_{\text{mittel}} \pm v_{\text{turbulenz}}$).

Raumluftqualität

Für die Behaglichkeit des Menschen ist auch die Qualität der Atemluft von Bedeutung. So werden CO₂-Konzentrationen ab ca. 0,1 bis 0,15 Vol %⁵ bereits als schlechte Luft empfunden. Konzentrationen von ca. 2% sind kurzzeitig tolerierbar, ab 3-4% treten zunehmend Atembeschwerden auf⁶. Der notwendige Frischluftbedarf pro Person hängt dabei von der einzuhaltenden Frischluftqualität und der Tätigkeit der Personen ab (siehe Abbildung 2.4).

11/99 7

_

⁵ Maximalwert für Büroräume

⁶ Allerdings besitzt CO₂ nur Stellvertreterfunktion, da dieses Gas gut meßbar ist und in seiner Konzentration proportional mit anderen Schad- und Geruchsstoffen zunimmt, sofern der Mensch die hauptsächliche Belastungsquelle darstellt.

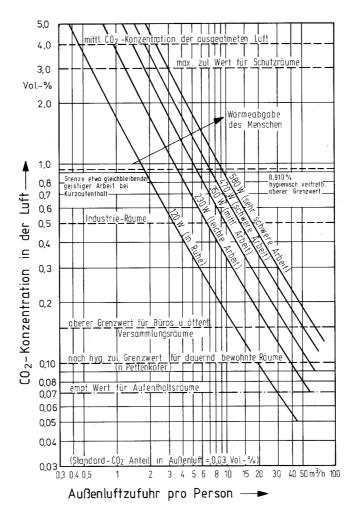


Abbildung 2.4: Erforderliche Außenluftrate (Ruhrgas, 1988)

2.2 Luftfeuchte

Luft enthält immer eine mehr oder weniger große Menge Wasserdampf. Je höher die Lufttemperatur, desto mehr Dampf kann aufgenommen werden.

Wie aus der Abbildung 2.5 bzw. der Abbildung 2.8 ersichtlich ist, kann 1 m³ Luft bei z.B. -10°C maximal 2,14 g Wasserdampf aufnehmen, bei +20°C steigt dieser Wert auf maximal 17,3 g/m³.

Die relative Luftfeuchte ϕ bezeichnet das Verhältnis von tatsächlichem Dampfgehalt der Luft zu der Dampfmenge, die bei der momentanen Lufttemperatur maximal aufgenommen werden könnte. Sie wird in % angegeben:

$$j = \frac{\text{tats\"{a}chlicher Wasserdampfgehalt} \times 100}{\text{max. m\"{o}glicher Wasserdampfgehalt}} [\%]$$

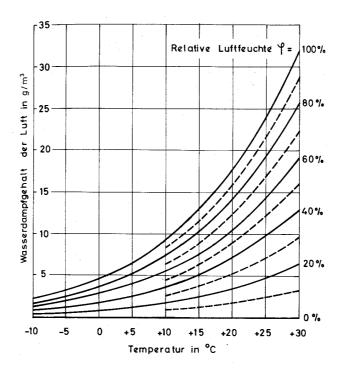


Abbildung 2.5: Wasserdampfgehalt der Luft (Lutz, 1989)

Der relative Feuchtegehalt der Luft innerhalb geschlossener Räume sollte aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen in den Grenzen von 40% bis 60% bleiben. Unter 40% nimmt die elektrostatische Aufladung der Luft zu. Mit Abnahme der Luftfeuchtigkeit wird die Austrocknung der Schleimhäute und eine höhere Anfälligkeit für Erkältungskrankheiten durch bessere Überlebensbedingungen bestimmter Bakterien und Viren begünstigt (Energiespar-Informationen 8).

Zu hohe Luftfeuchtigkeit behindert die Wärmeabgabe über die Haut⁸ und stört damit den Wärmehaushalt des Menschen. Dies führt bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 70% besonders bei hohen Temperaturen zu einem Schwülegefühl (siehe Abbildung 2.6).

Bei schlechter Wärmedämmung ist schon bei niedrigen relativen Luftfeuchten mit Schimmelpilzbildung zu rechnen. Dies läßt sich dadurch erklären, daß die Oberflächentemperatur durch eine örtlich schlechte Wärmedämmung bzw. Wärmebrücken soweit absinkt, daß die relative Luftfeuchtigkeit in diesen Bereichen auf 100% ansteigt. Es bildet sich Tauwasser, das für die Schimmelpilzbildung verantwortlich ist⁹.

⁸ es kann nicht genügend Feuchtigkeit verdunstet werden

⁷ bzw. 30% laut DIN 1946

⁹ Hierbei ist zu beachten, daß es bereits ab 65% Luftfeuchte der Raumluft im Wandbereich zu Schimmelpilzbildung kommen kann, weil die Temperatur in Wandnähe sinkt und der Feuchtegehalt entsprechend steigt. Sogar bei 80% relativer Feuchte auf der Bauteiloberfläche kann es schon zu Schimmelpilzbildung kommen.

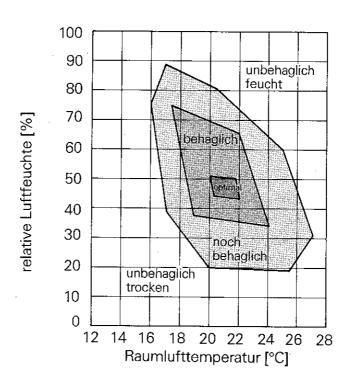


Abbildung 2.6: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit (Ruhrgas, 1988)

Darüber hinaus kann es bei zu hoher Luftfeuchtigkeit durch Tauwasserbildung an den Innenseiten der Außenwände zu einer Durchfeuchtung der Baumaterialien kommen. Hält dieser Zustand über einen längeren Zeitraum an, kommt es zur Schädigung der Bausubstanz (Feuchteschäden).

Die Phänomene des Verhaltens von feuchter Luft lassen sich sehr gut mit Hilfe des h,x-Diagramms nach Mollier veranschaulichen¹⁰.

Kenngrößen in diesem Diagramm sind:

- $p_{\text{H,O}} \quad \text{ Partialdruck von Wasserdampf [Pa]}$
- φ relative Feuchte [%]
- x Wasserdampfgehalt [g/kg]
- ϑ_i Lufttemperatur [°C]
- ? L Dichte von Luft [kg/m³]
- h Enthalpie [kJ/kg]

11/99

_

¹⁰ In der USA wird überwiegend das tx-Diagramm von Carrier verwendet, hier wird aber nicht näher darauf eingegangen.

Im folgenden ist ein h,x-Diagramm dargestellt:

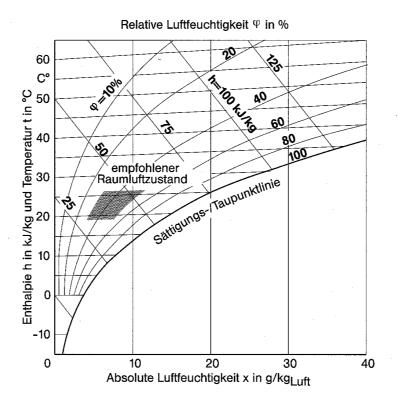
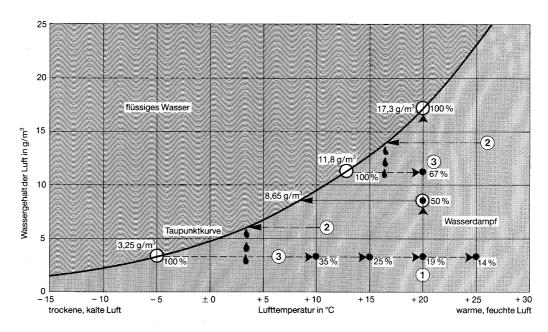


Abbildung 2.7: Mollierdiagramm für feuchte Luft bei konstantem Druck mit Darstellung des empfohlenen Behaglichkeitsfeldes (RWE, 1998)

Zur Verdeutlichung dient folgende Abbildung:



- ① Zusammenhang zwischen dem maximal möglichen Wassergehalt der Luft und deren Temperatur.
 - Bei 20 °C Lufttemperatur kann die Luft maximal 17,3 g/m³ Wasser aufnehmen. Sie ist dann gesättigt, die Luftfeuchte beträgt 100%.
 - Bei 50% Luftfeuchte trägt die Luft nur die Hälfte der maximal möglichen Wassermenge (8,65 g/m³).
- 2 Entstehen von Tauwasser durch Abkühlen feuchter Luft.
 - Luft mit einem Wassergehalt von 6 g/m³ erreicht bei 3 °C den maximalen Wassergehalt (Taupunkt), bei weiterer Abkühlung fällt flüssiges Wasser aus.
 - Luft mit einem Wassergehalt von 14 g/m³ kann nur bis 16,3 °C abgekühlt werden, bis der Taupunkt erreicht ist.
- 3 Durch Erwärmen kalter Luft wird diese relativ trockener.
 - Luft von —5 °C ist bereits mit 3,25 g/m³ Wassergehalt gesättigt,
 d. h. die relative Feuchte beträgt 100 %. Bei Erwärmung sinkt die relative Feuchte, um so mehr, je wärmer die Luft wird.
 - Luft von 12 °C und 100% relativer Feuchte hat nach Erwärmen auf +20 °C eine relative Feuchte von 67%.

Abbildung 2.8: Sättigungsdichte feuchter Luft (RWE, 1991)

Beispiel:

In einem Raum mit einer **absoluten Luftfeuchtigkeit** von 8 g/m³ verändert sich die **relative Luftfeuchtigkeit** mit zunehmender Temperatur wie folgt:

$$\phi = \frac{tats \ddot{a} chlicher \ Wasserdampfgehalt \times 100}{max. \ m\ddot{o}glicher \ Wasserdampfgehalt} \big[\%\big]$$

$$\phi_{10^{\circ}C} = \frac{8 \text{ g / m}^3 \times 100}{9,41 \text{ g / m}^3} = 85 \text{ \%}$$

$$\phi_{20^{\circ}C} = \frac{8 \text{ g / m}^3 \times 100}{17,31 \text{ g / m}^3} = 46 \text{ \%}$$

Tabelle 2.2: Typische Werte der relativen Luftfeuchtigkeit (Lutz, 1989)

| Bedingungen | relative Luftfeuchte |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|
| | 8 |
| In der freien Atmosphäre | |
| Mittelwert für Hannover im Winterhalbjahr | ~ 87 |
| Mittelwert für Hannover im Sommerhalbjahr | ~ 78 |
| Mittelwert für 15 europäische Städte im Winter- halbjahr | 84,5 |
| Mittelwert für regenfreie Juninächte bei Stuttgart | ~ 90 |
| Mittelwert für regenfreie Junitage bei Stuttgart | ~ 55 |
| | |
| In geschlossenen Räumen bei 20 °C | |
| Kaufhäuser | 50 - 70 |
| Maschinenfabriken und ähnliche Betriebe | 40 - 50 |
| Wohn- und Arbeitszimmer | |
| im Sommerhalbjahr im Winterhalbjahr | 50 - 70 30 - 55 |
| | |
| Kühl- und Lagerräume für Lebensmittel | 75 – 100 |
| Badezimmer | 65 - 100 |
| Chemische Betriebe | 35 - 50 |
| Theater, Turnhallen | 50 - 80 |
| Wäschereien, Schwimmbäder | 80 - 95 |

2.3 Empfundene Raumluftqualität

Die wesentlichsten Ausscheidungsstoffe unserer Lungen und unserer Haut, so weit sie in die Luft übergehen, sind Kohlensäure und Wasser. Gleichzeitig mit diesen geht stets noch eine geringe Menge flüchtiger organischer Stoffe in die Luft über, die sich bei einiger Anhäufung durch den Geruch bemerkbar machen. [...] Für empfindsame Geruchsnerven wird jedes gewohnte Zimmer mehr oder weniger Geruch haben, so daß wir uns nach einem Maßstab umsehen müssen, der uns genau gewisse Grade der Luftverderbnis ohne Mitwirkung subjektiver Empfindungen zu bestimmen erlaubt. [...] Somit bleibt uns kein anderer Anhaltspunkt als die Kohlensäure, deren Gehalt in der freien Luft durchgehend gering ist [...] Der Kohlensäuregehalt allein macht die Luftverderbnis nicht aus, wir benützen ihn bloß als Maßstab, wonach wir auch noch den größeren oder geringeren Gehalt an anderen Stoffen schließen, welche zur Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure sich proportional verhalten (Max von Pettenkofer, 1858).

Pettenkofers Gedanken haben seit mehr als einem Jahrhundert großen Einfluß auf die Lüftungsnormen in der Welt. Der Mensch wird hierbei als Hauptquelle von Luftverunreinigungen angesehen, und die erforderliche Lüftungsrate daher auf die Anzahl der im Raum befindlichen Personen bezogen.

Doch eine Reihe von Untersuchungen in modernen Gebäuden haben gezeigt, daß noch viele andere Verunreinigungsquellen vorhanden sind. Jede dieser verschiedenen Quellen stellt eine auf die Raumluft wirkende Verunreinigungslast dar.

Zur Beurteilung der Raumluftqualität, wäre es wünschenswert, alle Schadstoffe und Gerüche quantitativ zu erfassen. Da dies zwar technisch möglich, die Umsetzung aber sehr aufwendig ist, ist Fanger (1990) einen anderen Weg gegangen. Um die Wirkung verschiedener Verunreinigungsquellen auf die Empfindung des Menschen darzustellen, wurden von Fanger zwei neue Einheiten eingeführt:

- Olf
- Dezipol

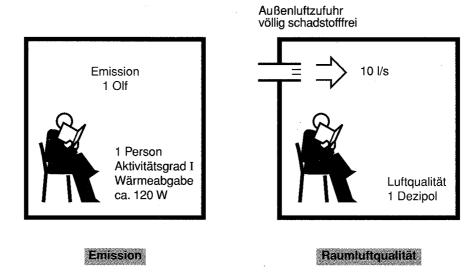


Abbildung 2.9: Definition von Olf (Emission)- und Dezipol (=Luftqualität)-Einheiten. Die Einheiten sind unabhängig von der Raumgröße (Reinmuth, 1996)

2.3.1 Olf

Ein Olf [olf]¹¹ bezeichnet die Verunreinigungslast einer Standardperson¹². Jede andere Verunreinigungsquelle¹³ kann durch die Verunreinigungslast einer entsprechenden Anzahl von Standardpersonen in Olf ausgedrückt.

 $^{^{\}rm 11}$ aus dem Lateinischen "olfactus" = Geruchssinn

 $^{^{12}}$ Sitzende erwachsene Person mit einem Hygienestandard von 0,7 Bädern pro Tag.

¹³ Möbel, Teppiche und Baustoffe des Innenausbaus

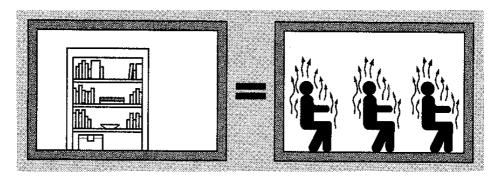


Abbildung 2.10: Verunreinigungsquellen können in Olf ausgedrückt werden (Zeitgemässe Lüftungssysteme, 1994)

In Ermangelung von geeigneten Meßinstrumenten wird die Geruchsbelastung durch trainierte Testpersonen ermittelt.

2.3.2 Dezipol

Die empfundene Raumluftqualität ist abhänigig von der Anzahl und der Stärke der Verunreinigungsquellen, von der lüftungsbedingten Verdünnung der Raumluft und subjektiven Faktoren. Ein Dezipol¹⁴ [dezipol] wird als Einheit für die empfundene Luftqualität definiert, die durch eine Standardperson (1 olf) in einem Raum verursacht wird, der mit 10 l/s reiner Luft belüftet wird.

Die Größen Olf und Dezipol können die empfundene Luftqualität hinreichend genau beschreiben und sind vergleichbar mit anderen physikalischen Größen.

Tabelle 2.3: Vergleich der Einheiten der Luftqualität mit den analogen Einheiten für Licht und Schall (Zeitgemässe Lüftungssysteme, 1994)

| | Licht | Schall | Luftqualität |
|-----------------|-------|---------|--------------|
| Quellenleistung | Lumen | Watt | olf |
| Pegel | Lux | dezibel | dezipol |

In der DIN 1946-T2 Anhang A werden für drei Qualitätsniveaus die empfundene Raumluftqualität in Abhängigkeit des Anteils unzufriedener Personen angegeben.

Tabelle 2.4: Empfundene Luftqualität (DIN 1946 T2)

| Luftqualität | dezipol | Unzufriedene Personen [%] |
|--------------|---------|------------------------------|
| Hoch | 0,7 | ≤ 10 |
| Mittel | 1,4 | ≤ 20 |
| Niedrig | 2,5 | ≤ 30 |

¹⁴ "pol" aus dem latainischen pollutio = Verunreinigung

^{11/99} 15

Der Verdünnungsgrad der Raumluft durch Außenluft hängt entscheidend von der Außenluftqualität ab, da die Außenluft bereits durch Verunreinigungsquellen¹⁵ belastet ist. Die DIN 1946 T2 unterscheidet vier Außenluftqualitäten nach Regionen.

Tabelle 2.5: Typische Außenluftqualitäten (DIN 1946 T2)

| Ort | dezipol |
|----------------------------------------|---------|
| Gebirge, Meer | 0,05 |
| Städte mit hoher Außenluftqualität | 0,1 |
| Städte mit mittlerer Außenluftqualität | 0,2 |
| Städte mit geringer Außenluftqualität | 0,5 |

Eine Verdeutlichung der Anwendung von Olf und Dezipol gibt die folgende Grafik:

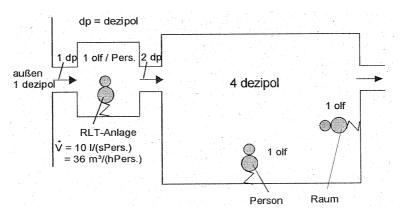


Abbildung 2.11: Empfundene Raumluftqualität (Fitzner/Finke, 1995)

Einem Raum wird über eine raumlufttechnische Anlage¹⁶ (RLT) ein Zuluftvolumenstrom von 10 l/s zugeführt. Die Außenluft ist bereits mit einem dezipol belastet. Hinzu kommt 1 olf durch die Lüftungsanlage. Die Zuluft hat bei Raumeintritt 2 dezipol. Die anwesende Person und der Raum selbst produzieren jeweils 1 olf. Die empfundene Raumluftqualität beträgt also 4 dezipol.

_

¹⁵ Straßenverkehr, Industrie, usw.

¹⁶ Lüftungsanlage

| Personen (Nichtraucher) | 1-2,5 olf/m³ (0,1 olf/m³+0,1 olf/m³ 20% Raucher) | | |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------|--|--|
| Personen (Durchschnitt Raucher) | 6 olf/m³ (0,6 olf/m³ bei 40 % Raucher) | | |
| Teppichboden (Wolle) | 0,2 olf/m ³ | | |
| Teppichboden (Kunstfaser) | 0,4 olf/m³ | | |
| PVC/Linoleum | 0,2 olf/m³ | | |
| Marmor | 0,01 olf/m³ | | |
| Gummidichtung Fenster | 0,6 olf/m³ | | |
| Lüftungsanlage (mittel) | 0,25 olf/m³ | | |
| Lüftungsanlage (gut) | 0,1 olf/m³ | | |

Tabelle 2.6: Verunreinigungslasten in Gebäuden nach DIN 1946

2.4 Luftwechselrate

Die Luftwechselrate oder auch Luftwechselzahl (Arbeitskreis der Dozenten Bd. 2, 1889) ist definiert als der Quotient aus Außenluftvolumenstrom und Raumluftvolumen. Die Zahl mit der Einheit [h⁻¹] gibt an, wie oft das Raumluftvolumen in einer Stunde gegen Außenluft ausgetauscht wird bzw. ausgetauscht werden muß.

$$\beta = \frac{\dot{V}_{AU}}{V_{R}}$$

mit:

 β = Luftwechselrate [1/h]

 \dot{V}_{AU} = Außenluftvolumenstrom [m³/h]

V_R = Raumluftvolumen [m³]

2.5 Notwendiger Außenluftvolumenstrom

Zum Atmen braucht der Mensch "feuchte" Luft, deren Sauerstoffgehalt er durch das Atmen von 21% auf 16% absenkt. Möbel, Bodenbeläge, Wandfarben, aber auch der Mensch selbst, Arbeitsprozesse und Tiere emittieren Schad- und Geruchsstoffe, die gleichfalls den Austausch von Raumluft durch Außenluft erfordern. Für verschiedene Raumtypen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, werden personenspezifische Außenluftraten bzw. flächenbezogene Luftvolumenströme in der DIN 1946 Teil 2 in m³/h angegeben (Reinmuth, 1994).

2.6 Lüftungsbedarf von Gebäuden

Die Raumluftqualität wird durch viele Einflußfaktoren bestimmt (Bodenbender/Gersch, 1992):

- Anzahl der im Raum befindlichen Personen, deren Sauerstoffverbrauch und Ausdünstungen
- Luftfeuchtigkeit
- Gase und Stäube, die im Raum aus der Einrichtung aber auch aus den Gebäudebaustoffen freigesetzt werden¹⁷
- Bakterien, Viren und Pilzsporen

Um eine gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen auszuschließen und ein behagliches Raumklima zu schaffen, ist ein regelmäßiger Luftaustausch notwendig.

Den Grenzwert, den Pettenkofer (siehe Kapitel 2.3, S.13) für die Kohlendioxidkonzentration seinerzeit mit 0,1 Vol % festgesetzt hat, wird auch heute noch von vielen Fachleuten als Grenzwert für hygienisch einwandfreie Luft angesehen.

Als Richtwert ist ein Außenluftbedarf von 25-30 m³/h je Person anzusetzen. 25-30 m³/h ist der Bereich, in dem 20 % der Personen mit der Raumluft unzufrieden sind (siehe Abbildung 2.12).

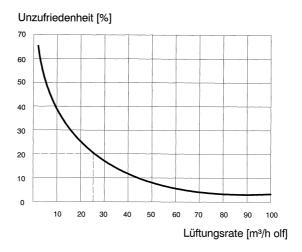


Abbildung 2.12: Zusammenhang zwischen Luftwechselrate und Unzufriedenheit der Personen (nach Fanger)

Eine Grobdimensionierung läßt sich auch mit der Luftwechselrate durchführen.

Anhaltswerte sind hierfür

Wohnungen 0,3-0,5 h⁻¹
 Büros 1,0-2,0 h⁻¹

Versammlungsräume nach Personenbelegung

_

¹⁷ z.B. Formaldehyd, Radon, Fasern, Pollen

3 Luftführung im Raum

3.1 Natürliche Lüftung

Unter dem Begriff der natürlichen Lüftung ist die Lüftung über Undichtheiten in der Gebäudehülle, beziehungsweise über zusätzliche Öffnungen im Gebäude, zu verstehen. Diese Undichtheiten treten z.B. auf an:

- undichten Fensterfugen
- undichten Bauteilanschlüssen
- undichten Rolladenkästen
- offenen Kaminen
- Schächten
- · Zuluftöffnungen für Küche und Speisekammer
- Dachluken

Der natürliche Luftwechsel wird durch Druckdifferenzen zwischen dem Gebäudeinneren und der Umgebung infolge von Wind und Temperaturunterschieden verursacht. Er ist somit witterungsbedingten Schwankungen unterworfen. Eine ausreichende Lüftung - sprich ein ausreichender Luftwechsel - kann damit nicht immer erreicht werden.

Gleichzeitig besteht natürlich durch die fehlende Möglichkeit zur Beeinflussung der Volumenströme die Gefahr von zu hohen Luftwechselraten bei ungünstiger Witterung. Die Folgen sind Zugerscheinungen und unnötiger Energieverbrauch.

Die unterschiedlichen Verfahren der natürlichen Lüftung lassen sich in drei Kategorien einteilen: Fugenlüftung, freie Schachtlüftung und Fensterlüftung. Die Fugenlüftung und die freie Schachtlüftung sind problematisch bzw. überholt, deswegen wird im Rahmen dieses Skripts nur die Fensterlüftung etwas ausführlicher behandelt.

Fensterlüftung

Die Fensterlüftung ist die in unseren Breiten am häufigsten angewandte Technik zur Wohnungslüftung. Sie ist einfach und effektiv.

Die Probleme, die bei der Fensterlüftung auftauchen, sind die Unberechenbarkeit der tatsächlichen Luftwechselrate (siehe Abbildung 3.1) und die damit verbundenen teilweise übermäßigen Lüftungswärmeverluste. Durch ständig wechselnde Temperatur- und Druckverhältnisse zwischen außen und innen lassen sich keine definierten Fensteröffnungszeiten angeben, und eine wirkungsvolle Regelung durch den Menschen kann mit seinen Sinnen und seinem Zeitgefühl i.d.R. nicht erbracht werden.

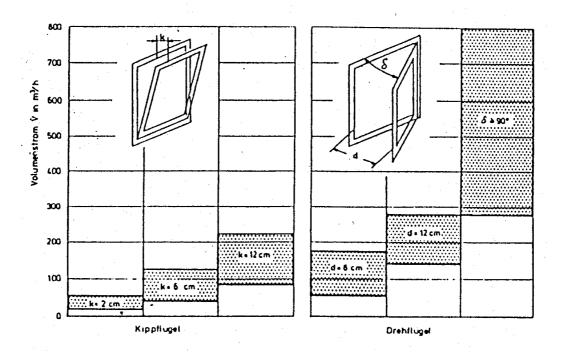


Abbildung 3.1: Freie Lüftung am Drehkippfenster, Spannweiten zwischen Maximum und Minimum gemessener Werte (Knöbel, 1984)

3.2 Luftführung bei mechanischer Lüftung

Die Zuluft muß so in den Raum eingebracht werden, daß es nicht zu Zugerscheinungen (bedingt durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten oder Turbulenzen) in der Aufenthaltszone kommt. Bei der Auslegung von Zuluftöffnungen ist somit dafür Sorge zu tragen, daß die Lage und das Strömungsverhalten der verwendeten Komponenten auch bei maximaler Leistung der Lüftungsanlage, Luftgeschwindigkeiten über 0,2 m/s innerhalb der Aufenthaltszone ausschließen.

Es wird hier unterschieden zwischen

- Quelllüftung und
- Mischlüftung.

Die Quelllüftung

Bei diesem Verfahren wird die Zuluft mit extrem geringen Geschwindigkeiten und leichter Untertemperatur (ca. 2-4 K) gegenüber der Raumtemperatur durch große Auslaß-öffnungen, meist in Bodennähe, in den zu lüftenden Raum eingebracht. Infolge der Temperaturdifferenz zur Raumluft verteilt sich die Zuluft im Bereich des Bodens und bildet einen sogenannten Frischluftsee. An Wärmequellen im Raum erwärmt sich die Luft, steigt auf und erreicht die Abluftöffnungen im Bereich der Decke. Eine Querverteilung der belasteten Luft wird hierdurch weitgehend vermieden, was eine hohe Lüftungseffektivität zur Folge hat.

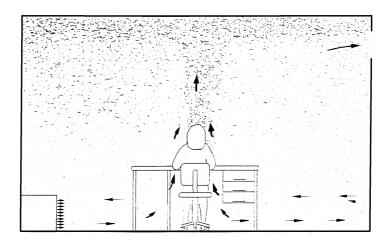


Abbildung 3.2: Raum mit Quelllüftung

Quellüftung mit Kühldecke

Da sich aufgrund der geringen Untertemperatur bei Quelluftanlagen nur geringe Kühllasten abführen lassen(ca. 30-50 W/m²), werden häufig zusätzlich sogenannte Kühldecken eingesetzt (siehe Abbildung 3.3). Diese sind bei Bedarf thermisch aktive Deckenelemente, die auf einer gewissen Untertemperatur gegenüber der Raumluft gehalten werden, und somit der Luft über Konvektion bzw. durch Strahlungsaustausch mit anderen Oberflächen Wärme entziehen. Je nach Gestaltung der Decke erfolgt die Wärmeabfuhr mit unterschiedlichen Anteilen aus Konvektion und Strahlung (siehe Abbildung 3.4). Für die Auslegung sind in besonderem Maße Behaglichkeitskriterien relevant, da eine asymmetrische Wärmestrahlung (Gewinne am Körper, Verluste am Kopf) vom Menschen leicht als unangenehm empfunden wird.

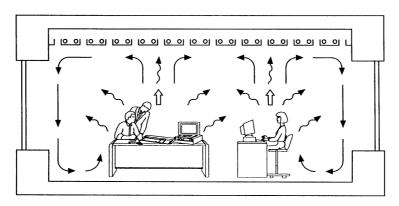


Abbildung 3.3: Büroraum mit Quellüftung und Kühldecke

11/99 21

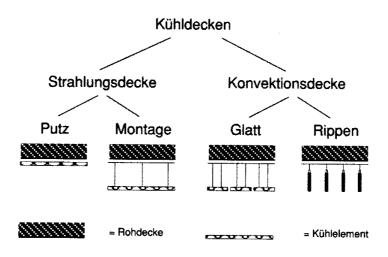


Abbildung 3.4: Übersicht über die Bauformen von Kühldecken

Die Mischlüftung

Bei der Mischlüftung wird die Luft an definierten Stellen durch Zuluftelemente in den Raum eingebracht und mit der Raumluft verwirbelt. Die Personen befinden sich deswegen immer in einer Mischung aus "frischer" und "verbrauchter" Luft. Die Luftqualität ist im Vergleich zur Quelllüftung bei identischem Luftwechsel deutlich schlechter. Höhere Luftwechselraten sind notwendig.

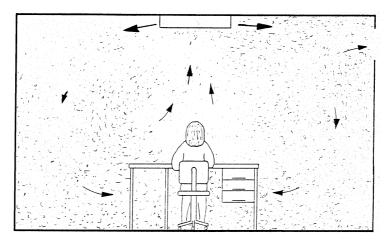


Abbildung 3.5: Raum mit Mischströmung

4 Wohnungslüftung

4.1 Zonierung

Bei der kontrollierten Lüftung wird die Wohnung im Hinblick auf ihre Nutzung in unterschiedliche Zonen aufgeteilt:

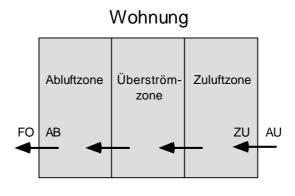


Abbildung 4.1: Prinzip der Zonierung

Die Zuluftzone:

In der Zuluftzone erfolgt der Frischlufteintrag in die Wohneinheit. In der Regel sind das die Wohn- und Schlafräume. Treten in Wohnräumen jedoch erhöhte Emissionen auf¹⁸, sollten diese in die Abluftzone gelegt werden.

Die Abluftzone:

Sie umfaßt die Räume, aus denen Luft entnommen werden soll. Dazu zählen die emissionsbelasteten Räume, wie z.B. Küche, Hauswirtschaftsraum, Bäder, Toiletten und gegebenenfalls "Raucherzimmer".

Die Überströmzone:

Die Überströmzone ist der Bereich zwischen den Zu- und Abluftbereichen¹⁹. Die Dimensionierung und Anordnung von Überströmdurchlässen ist aufgrund der Zonierung der mechanisch belüfteten Wohnung notwendig, weil nicht jeder Raum mit Zu- und Abluftleitungen versorgt werden kann. Damit dennoch eine Durchlüftung der Wohnung erfolgen kann, ist es notwendig, die einzelnen Zonen über definierte Luftdurchlässe, sog. Überstromdurchlässe, zu verbinden.

11/99 23

_

¹⁸ z.B. Raucherzimmer

¹⁹ in der Regel die Flure

4.2 Luftheizung

²⁰Bei Warmluftheizungen dient zirkulierende Luft als Wärmeträger. Die in Luftheizgeräten erwärmte Luft wird durch Warmluftleitungen den zu beheizenden Räumen zugeführt, kühlt sich in diesen ab und kehrt wieder zum Gerät zurück, wo der Kreislauf von neuem beginnt. Bei diesem System wird die warme Luft zentral erwärmt und die Zulufttemperatur ist dadurch für alle angeschlossenen Räume gleich.

Eine weitere Variante der Warmluftheizung gib es in Verbindung mit Lüftungsanlagen. Durch Einsatz von Wärmetauschern wird dem Zuluftstrom dezentral Wärme zugeführt. Hierdurch können Räume unterschiedlich temperiert werden. Diese sogenannten Nachheizregister werden entweder mit Warmwasser oder elektrischem Strom betrieben.

Damit die für die Beheizung des Gebäudes notwendige Luftmenge nicht ausschließlich aus kühler Außenluft besteht²¹, wird der Zuluft ein bestimmter Anteil sog. "Umluft" beigemischt. Umluft ist hierbei die wenig belastete Raumluft, die aus den Räumen der Überströmzone abgesaugt wird.

Dies hat energetische Vorteile. Denn diese sog. Umuft besitzt i.d.R. bereits Raumtemperatur, die mit sehr viel geringerem Energieaufwand auf "Übertemperatur" aufgeheizt werden muß, als dies bei Außenluft der Fall wäre.

Ein oft entscheidender Nachteil von Luftheizungen ist die geringe Energiedichte erwärmter Luft. Deswegen sind große Leitungsquerschnitte, hohe Temperaturen oder große Luftmengen notwendig.

Zur Verdeutlichung ein Berechnungsbeispiel für die Wärmetransportfähigkeit von Luft im Verhältnis zu Wasser:

$$\dot{Q} = \dot{V} \times c \times \rho \times \Delta T$$

mit:

Q = Wärmebedarf [W]

 \dot{V} = Volumenstrom [m³/h]

c = spezifische Wärmekapazität [Wh/(kgxK)]

 ρ = Dichte [kg/m³]

 ΔT = Temperaturdifferenz zwischen zu- und abströmenden Medium [K]

-

²⁰ Der erste Absatz ist auszugsweise aus (Recknagel/Sprenger/Hörmann, 1992), Kapitel 222-3 entnommen.

²¹ die entsprechend erwärmt werden müßte

Bedingungen:

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_W & \text{und} & \Delta T_L &= \Delta T_W \\ &\to V_L \times C_L \times \rho_L &= V_W \times C_W \times \rho_W \\ &\to V_L &= V_W \frac{C_W \times \rho_W}{C_L \times \rho_L} \end{aligned}$$

mit:

$$c_L = 1,00 \text{ kJ/(kg} \times \text{K})$$
 $\rho_L = 1,25 \text{ kg/m}^3$
= 0,28 Wh/(kg \times K)
 $c_W = 4,18 \text{ kJ/(kg} \times \text{K})$ $\rho_W = 1000 \text{ kg/m}^3$
= 1,16 Wh/(kg \times K)

ergibt sich:

$$V_{L} = 3344 \ V_{W}$$

Das bedeutet, daß zur Einbringung (Transport) einer bestimmten Wärmemenge das 3300fache Luftvolumen gegenüber Wasser benötigt wird.

Ab wann ist eine Luftheizung sinnvoll einsetzbar?

Luftheizungen werden jeweils nur für eine Wohneinheit eingesetzt. Zur Gewährleistung der Behaglichkeit sollte die Lufteintrittstemperatur (Übertemperatur) 55°C in keinem Fall überschreiten. Durch Einhaltung dieses Grenzwertes wird eine gesundheitlich bedenkliche Staubverschwelung an den Wärmetauscherflächen vermieden. In modernen Häusern mit sehr niedrigem Wärmebedarf reichen Eintrittstemperaturen zwischen 35 - 45°C. Üblich sind Luftwechsel in den Aufenthaltsräumen von 2,5 - 4 h⁻¹ inklusive Umluftanteil aus energetischen Gründen. Luftwechsel von 5 - 6 h⁻¹ sollten nicht überschritten werden.

4.3 Mechanische Wohnungslüftung

Bei der mechanischen Lüftung wird der Luftaustausch mit Hilfe von Ventilatoren über definierte Öffnungen vollzogen. Durch einen witterungs- und temperaturunabhängigen Betrieb ist ganzjährig ein kontrollierter Luftwechsel möglich, der dem hygienischen und bauphysikalisch notwendigen Maß entspricht. Wenn die Anlage bedarfsorientiert ausgelegt wurde und unter optimalen Bedingungen betrieben wird, werden Energieeinsparungen durch geringere Lüftungswärmeverluste erzielt.

In der Praxis werden drei mechanische Lüftungssysteme unterschieden:

- Nur Abluft-System ohne Wärmerückgewinnung
- Nur Abluft-System mit Wärmerückgewinnung
- Zu- und Abluft-System mit Wärmerückgewinnung

4.3.1 Abluftanlagen

Abluftanlagen führen zentral oder dezentral die Luft aus Räumen mit hohen Geruchs-, Feuchtigkeits- oder Schadstoffbelastungen ab. Der mechanisch erzeugte Unterdruck von ca. 4 Pa bewirkt, daß durch definierte Zuluftöffnungen die Luft nachströmt. Ein wichtiges Kriterium ist hierbei die Plazierung der Zulufteinlässe, denn bei ungünstiger Anordnung können unangenehme Zugerscheinungen auftreten. Durch eine Wärmepumpe kann der Abluft Energie entzogen werden, die dem Raum im Anschluß über die Heizung wieder zugeführt oder zur Warmwasseraufbereitung genutzt werden kann.

Dezentrale Abluftanlagen werden beispielsweise in Toiletten oder Küchen²² eingesetzt.

Der Aufbau zentraler Abluftanlagen, bei denen ein Ventilator im Verbund mit einem Rohrnetz eingesetzt wird, ist in der Abbildung 4.2 schematisch dargestellt.

- Zentralgerät mit dem Ventilator (Ventilatorbox)
- Rohrsystem
- Abluftventile in den Ablufträumen (eventuell feuchtegeregelt)
- Nachströmöffnungen

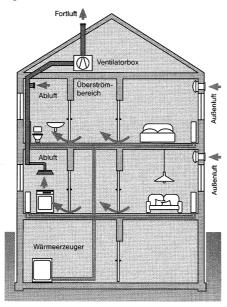


Abbildung 4.2: Zentrale Abluftanlage ohne WRG (RWE, 1998)

Die nächste Abbildung zeigt eine zentrale Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung über eine Elektrowärmepumpe.

_

²² Dunstabzugshauben

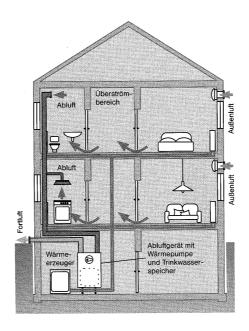


Abbildung 4.3: Zentrale Abluftanlage mit Wärmerückgewinung über Elektrowärmepumpe (RWE, 1998)

4.3.2 Zu- und Abluftanlagen

Bei der kontrollierten Be- und Entlüftung wird nicht nur die Abluft, sondern auch die Zuluft über einen separaten Ventilator gefördert.

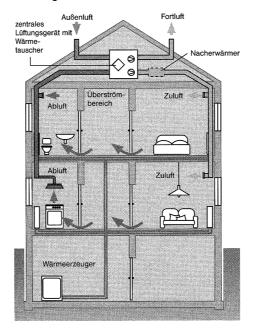


Abbildung 4.4: Prinzipskizze einer zentralen Be- und Entlüftungsanlage (RWE, 1998)

Dieser Anlagentyp kann der Abluft bei zentraler Anordnung des Lüftungsgeräts und dem Einsatz eines Wärmetauschers Wärme entziehen und diese der Zuluft zuführen.

Die Bestandteile einer Be- und Entlüftungsanlage sind:

- Zentralgerät mit den Zu- und Abluftventilatoren und dem Wärmetauscher
- Zuluftkanalsystem zu den Wohn- und Schlafräumen
- Abluftkanalsystem von den Ablufträumen (z.B.: Bad, Küche, WC)
- Luftein- und -auslässe

Im folgenden ist ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung über einen Plattenwärmetauscher dargestellt (siehe auch 7.4).

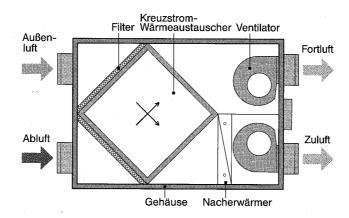


Abbildung 4.5: Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung über Plattenwärmetauscher (RWE, 1998)

Eine weitere mögliche Variante ist die Wärmerückgewinnung über einen Plattenwärmetauscher und Elektrowärmepumpe.

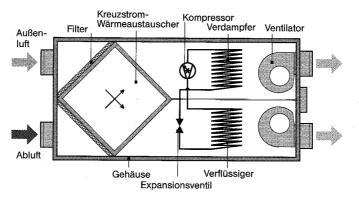


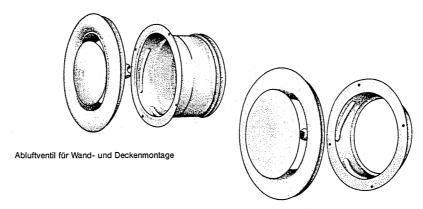
Abbildung 4.6: Lüftungsgerät mit Wärmerrückgewinnung und Elektrowärmepumpe (RWE, 1994)

4.4 Überström-, Zu- und Abluftelemente

Wichtig im Übergangsbereich vom Rohrnetz zum Raum sind geringe Strömungsgeschwindigkeiten, um Geräusch- und Zugerscheinungen zu vermeiden.

Bei Wohnungslüftungsanlagen erfolgt die Übergabe der Luft an den Raum im allgemeinen durch Tellerventile. Diese sind einfach aufgebaut, regulierbar und sorgen für eine gute Durchmischung der Zuluft mit der Raumluft.

11/99 28



Zuluftventil mit Montagering zur Montage in der Decke

Abbildung 4.7: Bauformen von Tellervenil (RWE, 1994)

Bei Abluftanlagen kann die Zufuhr von Frischluft durch Außenluftdurchlässe oder Spaltlüftung über den Fensterbeschlag erreicht werden. Außenluftdurchlässe gibt es in schallgedämpfter Ausführung mit Filter. Die Spaltlüftung über die Fensterbeschläge kann man sich als ein ganz leicht angekipptes Fenster vorstellen. Einige Hersteller liefern inzwischen Fenster bei denen die Spaltlüftung durch eine 45° Stellung des Handhebels erfolgt.

Die Größe der Überströmdurchlässe muß so gewählt werden, daß die Strömungsgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich eine Geschwindigkeit von 0,2 m/s nicht überschreitet²³ und die entstehenden Druckverluste möglichst gering bleiben (< 4 Pa). Für Wohnungslüftungsanlagen sollten die Querschnitte der Überströmdurchlässe zur Herabsetzung der Strömungsverluste ca. 80-100 cm² betragen. Zur Verminderung der Schallübertragung über die Durchlässe können diese mit Schalldämpfern versehen werden.

Möglichkeiten der Anordnung von Überstromdurchlässen sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

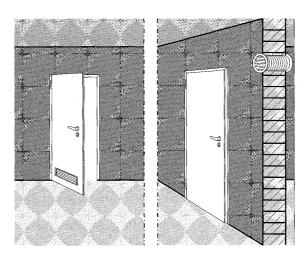


Abbildung 4.8: Anordnungsmöglichkeiten von Überströmdurchlässen (RWE, 1998)

11/99 29

-

²³ Es treten sonst Zugerscheinungen auf.

Das Überströmen der Luft zwischen einzelnen Gebäudezonen kann über Türspalte , durch Gittereinsätze in der Tür oder durch gesonderte Überströmelemente innerhalb der Wände erfolgen. Beim Luftverbund zweier benachbarter Räume ist auf eine ausreichende Übersprechdämpfung zu beachten, um den Telefonieffekt zu vermeiden.

4.5 Lüftung in Passivhäusern

Passivhäuser sind Gebäude mit ausgezeichnetem Wärmeschutz, die kein separates aktives Heizsystem benötigen.

Spezielle Merkmale von Passivhäusern nach Feist (1996):

- Eine zentrale Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ist erforderlich. Hierin muß ein wirkungsvoller Gegenstromwärmetauscher eingesetzt werden.
- Der Wärmebedarf ist so gering, daß die maximale Heizlast ≤10W/m² durch eine geringfügige Zuluftnacherwärmung gedeckt werden kann - das Zuluftkanalnetz ist ohnehin [wegen der Lüftungsanlage] erforderlich.
- Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen (k = 0,7 W/(m²K)) haben auch bei Außentemperaturen von -10°C Oberflächentemperaturen auf der Innenseite von über 17°C. Dadurch kann auf die Anordnung der Heizkörper unter dem Fenster erstmals verzichtet werden, wenn die Fenster nicht über 2,5 m hoch sind.
- Durch die hocheffiziente Wärmerückgewinnung ist die eintretende frische Zuluft warm genug, um auch ohne Heizkörper behagliche Verhältnisse zu garantieren.

Besonders interessant für das Passivhaus ist die Zuluftheizung:

- Aus den Anforderungen an Passivhäuser ergibt sich, daß eine Zuluftführung ohnehin erforderlich ist, um die aus hygienischen Gründen zu verteilende Außenluft vom hocheffizienten Luft/Luft-Wärmetauscher in die Aufenthaltsräume zu bringen. Eine grobe Abschätzung führt zu 30 m³/h Außenluftstrom pro Person²⁴ und durchschnittlich 1 m³/(m²h). Das entspricht einer auf das Gesamtgebäude bezogenen Luftwechselrate von β=0,4 1/h bei 2,50 m Raumhöhe. Diese Werte haben sich bei gerichteter Durchströmung des Gebäudes in Niedrigenergiehäusern bewährt.
- Eine Erwärmung der Zuluft ist mit einem dem Gegenstromwärmetauscher nachgeschalteten Heizregister bis auf etwa 50°C möglich. Bei einem Zuluftvolumenstrom von 120 m³/h und einer Temperatur von 17,5°C nach dem Gegenstrom-Wärmetauscher ergibt sich eine maximale Heizleistung für die gesamte Wohnung von ungefähr 1200 Watt - eben 10 W/m² für eine 120 m² Wohnung. Diese Bedingung ist im Passivhaus gerade erfüllt!

-

²⁴ DIN 1946 für wohnraumähnliche Nutzung

- Ein Teil der Wärmeabgabe erfolgt bereits über das Zuluft-Kanalnetz. Aus diesem Grund müssen die Zuluftkanäle vollständig innerhalb des gedämmten beheizten Bereiches verlaufen, bzw. gedämmt werden.
- Die Wärmeabgabe des Zuluftkanals ist aus zwei Gründen sogar vorteilhaft.
 Die Zulufttemperatur am Zuluftdurchlaß nimmt dadurch ab, so daß die strömende Luft auch im Heizlastfall noch als frisch empfunden wird. Die Wärmeabgabe kann gezielt genutzt werden, um auch Wärme in Ablufträume zu transportieren.

5 Bürolüftung

Im Büro und Verwaltungsbau haben Lüftungsanlagen primär zwei Aufgaben:

- Sicherstellung der Luftqualität (Abfuhr von Geruchs- und Schadstoffen)
- Begrenzung der Raumtemperatur nach oben oder unten (optional;
 Wärmeabfuhr durch Luftaustausch oder Zuluftkühlung)

Die Raumluft in Büros wird durch die im Raum befindlichen Personen und durch die Einrichtung belastet. Als Einrichtung ist hier jegliches Inventar zu verstehen, das Geruchsoder Schadstoffe an die Raumluft abgibt. Dem wirkt die Lüftungsanlage entgegen, indem sie verbrauchte Luft abführt und frische Luft nachliefert. Der Luftaustausch kann mit konstantem oder variablem Luftstrom erfolgen. Da die Belegungsdichte, die Ausführung des Bauwerks und die der Einrichtung veränderlich sein können, und sich somit unterschiedlich stark belastend auf die Luftqualität auswirken, ist es ratsam, die Lüftungsanlage regelbar (mit variablem Luftstrom) auszuführen. Kontrolliert man zusätzlich die Qualität der Raumluft mittels Sensoren und steuert darüber den Volumenstrom, so kann ein bedarfsgerechter Luftzustand bei geringem Energieverbrauch erreicht werden. Bei Bürobauten aus der jüngsten Vergangenheit wurden dadurch die Luftwechselraten im Vergleich mit konstant arbeitenden Lüftungsanlagen deutlich reduziert²⁵.

Da im Vergleich zum Wohnungsbau bei Bürobauten mit wesentlich höheren inneren Lasten gerechnet werden muß, kommt der Frage der sommerlichen Behaglichkeit besondere Bedeutung zu. Aufgrund von großen Abwärmemengen der Büromaschinen, künstlicher Beleuchtung und großflächiger Verglasungen kann es über weite Strecken des Jahres erforderlich sein, Wärme aus dem Büroraum abzuführen. Dieses kann durch die Lüftungsanlage erfolgen. Hierbei wird soviel Luft abgeführt und durch frische oder gegebenenfalls gekühlte Zuluft ersetzt, daß ein Temperaturanstieg über gewisse Grenzen (z.B. 26°C) hinaus vermieden wird.

²⁵ z.B. Bürogebäude der Architekten Hegger in Kassel

5.1 Gliederung der Lufttechnik

Die heute verwendeten Systeme zur Lüftung in Büro- und Verwaltungsbauten lassen sich anhand der eingesetzten Technik nach dem folgenden Schema einteilen.

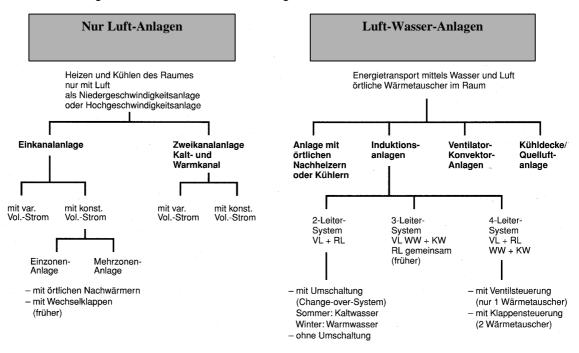


Abbildung 5.1 Schemata der Lufttechnik

5.2 Möglichkeiten der Luftbehandlung

Mittels raumlufttechnischer Anlagen, sogenannter RLT Anlagen, ist es möglich, den Zustand der geförderten Außenluft zu verändern. Die maßgebenden Parameter zur Beschreibung des Zustandes der Luft sind die Temperatur und der Feuchtegehalt. Diese können durch den Einbau entsprechender Geräte den Erfordernissen im Gebäude angepaßt werden.

Die wesentlichen Luftbehandlungsverfahren sind:

- Befeuchten
- Entfeuchten
- Kühlen
- Heizen

5.2.1 Be- und Entfeuchten

Je nach Temperatur kann Luft unterschiedliche Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen. Der Mensch empfindet jedoch nur einen gewissen Bereich des physikalisch Möglichen als angenehm. Somit ist es erforderlich, bestimmte natürliche Luftzustände technisch zu verändern, um ein behagliches Raumklima zu erzeugen. Zum Beispiel kann es im Winter

aufgrund der geringen absoluten Feuchte der Zuluft erforderlich sein, die Luft künstlich zu befeuchten.

Befeuchten durch Zerstäuben

Geräte, in denen die durchströmende Luft mit erheblichen Mengen fein zerstäubtem Wassers in Kontakt tritt, faßt man unter der Bezeichnung Wäscher zusammen. Die Zerstäubung erfolgt durch Düsen oder schnell rotierende Scheiben. Es werden die Verfahren Gleich- und Querstrombefeuchtung unterschieden. Diese Bezeichnung ist abgeleitet aus der Ausrichtung des Luftstromes im Verhältnis zur Bewegung der Wasserteilchen. Weiteres Unterscheidungsmerkmal ist der Gesamtenergieinhalt der Luft nach der Behandlung. In den Befeuchtern können Heiz- oder Kühlelemente integriert sein, oder die Befeuchtung kann adiabat (bei gleichem Energieinhalt) erfolgen. Zerstäuber sind Geräte, die die Wassertröpfchen so fein verteilen, daß die Luft sie mitnehmen kann. Die Tröpfchengröße liegt im Bereich 0,005 bis 0,01 mm. Diese Werte werden sowohl von Rotationszerstäuberen als auch von Düsenzerstäuberen mit Druckluftbetrieb erreicht.

Befeuchten durch Zugabe von Wasserdampf

Dampfbefeuchter setzen der Luft in der Regel Sattdampf direkt zu. Dieser kann aus eventuell vorhandenen Netzen entnommen oder innerhalb des Befeuchters erzeugt werden. Bei der Eigenerzeugung kommen meist elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz.

Entfeuchten durch Kühlen

Entfeuchter reduzieren den vorhandenen Feuchtegehalt der Luft auf ein gewünschtes Maß.

Bei Oberflächenkühlern wird der Luftstrom durch einen Wärmetauscher mit geringen Oberflächentemperaturen geführt. Die Lufttemperatur sinkt durch Energieabgabe (Wärmeabgabe) ab. Gleichzeitig steigt die relative Luftfeuchtigkeit bis zur Sättigungslinie an (siehe hx-Diagramm Abbildung 2.7). Überschüssige Feuchtemengen fallen als Wasser aus, und werden als Kondensat abgeleitet. So erhält man Luft mit 100% relativer Feuchte bei einer genau bestimmten Temperatur. Erwärmt man die Luft wieder, so sinkt die relative Luftfeuchte, da der absolute Wassergehalt nicht verändert wird. Dieses Verfahren bedarf hoher Energiemengen.

5.2.2 Heizen und Kühlen

Die Temperatur der Luft wird durch temperierte Bauteilflächen (Wärmeüberträger), sogenannte Heiz- oder Kühlregister, beeinflußt. In diesen Geräten durchströmt die Luft feine Gitterstrukturen, deren Oberflächentemperatur höher oder niedriger als die der Luft sein kann. An den relativ großen Kontaktflächen findet die Wärmeübergabe statt. Die Wärmetauscher werden in der Regel von außen her mit Wärme (Heizwasser) oder Kälte (Kältemittel oder Kaltwasser) versorgt. Darüber hinaus kommen auch elektrische Heizregister zum Einsatz.

11/99 34

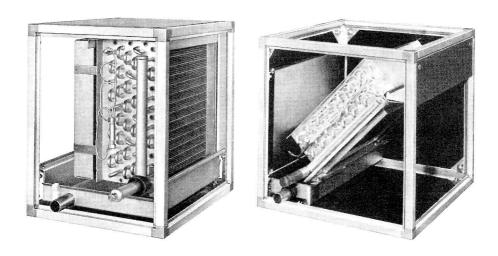


Abbildung 5.2 Kühlelemente

5.3 RLT Anlagen mit zentraler Luftbehandlung

Bei RLT Anlagen mit zentraler Luftbehandlung wird die Luft für verschiedene Räume zentral an einer Stelle aufbereitet und anschließend über ein Kanalsystem verteilt. In der Zentrale ist es möglich, die Luft auf ihre Sollwerte zu konditionieren oder aber nur auf einheitliche Grundwerte einzustellen, welche dann in sogenannten Nachbehandlungsstrecken individuell abgestimmt werden. Nachbehandlungsstrecken werden häufig dort eingesetzt, wo mit unterschiedlichen Belastungen der Räume zu rechnen ist. Als Beispiel sollen Einkaufszentren genannt werden, bei denen in Abhängigkeit von der Nutzung der Läden unterschiedliche Anforderungen an die Lüftungstechnik gestellt werden.

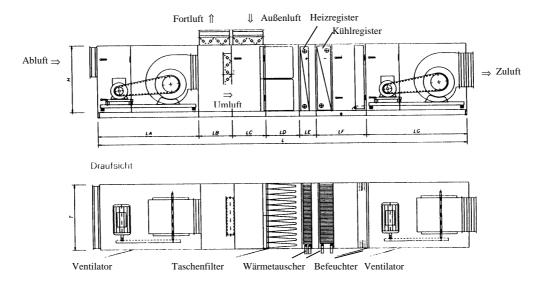


Abbildung 5.3 Zentralgerät einer Klimaanlage

Ein- und Zweikanalanlagen

Unter dieser Rubrik faßt man Nur-Luftanlagen in Abgrenzung zu Luft-Wasseranlagen (siehe nächstes Kapitel) zusammen, bei denen in einer Zentrale Luft in definierter Form bereitgestellt, und über Kanäle in die klimatisierten Zonen eingebracht wird. Bei Einkanalanlagen wird die Luft in der Zentrale gekühlt, geheizt, im Feuchtegehalt reguliert und dann per Ventilator in die zu belüftenden Räume befördert. Da nur ein Kanal zur Verfügung steht, kann die Luft nur einen definierten Zustand haben. Dies erweist sich als Nachteil, wenn mehrere Räume mit einer Anlage versorgt werden sollen. Die Anlage kann nur über den Volumenstrom an unterschiedliche Kühllasten in den einzelnen Zonen angepaßt werden. Diese Vorgehensweise ist aber mit hohem Energiebedarf verbunden.

Für verschiedene Zonen mit unterschiedlichen Anforderungen sind Anlagen, die in der Zentrale sowohl Kalt- als auch Warmluft bereitstellen (Zweikanalanlagen) besser einsetzbar. Hierbei werden zwei getrennte Kanäle zu den Räumen geführt und die an den Raum abgegebene Luft, direkt bei den Auslässen, entsprechend der Lastsituation durch Mischen eingestellt.

5.4 RLT Anlagen mit dezentraler Luftbehandlung

RLT Anlagen mit dezentraler Luftbehandlung sind in der Regel Luft-Wasseranlagen. Die Luft dient in diesem Fall der Deckung des notwendigen Außenluftvolumenstroms, das Wasser übernimmt die Aufgaben im Bereich heizen und kühlen. Hierdurch lassen sich die Außenluftwechselraten erheblich reduzieren.

In einer Zentrale wird die aus hygienischen Gründen notwendige Luftmenge aufbereitet und anschließend den Räumen zugeführt. Im Raum wird sie mittels Induktion mit der Raumluft vermischt. An den Auslässen plazierte Wärmetauscher temperieren den aus Primär- und Sekundärluft (Raumluft) zusammengesetzten Luftstrom.

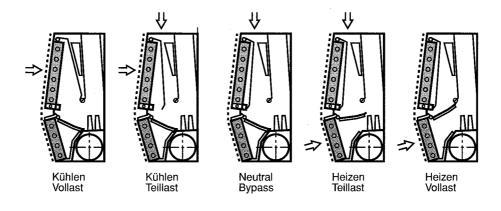


Abbildung 5.4: Induktions-Klimageräte

Sonderform Vier-Leiter System

Ordnet man zwei Zwei-Leiter Systeme²⁶ parallel an, so erhält man ein 4-Leiter System. Da hier getrennte Vor- und Rücklaufleitungen und getrennte Wärmetauscher existieren, ist es möglich zeitgleich sowohl zu heizen als auch zu kühlen. Angewandt werden diese Systeme, wenn es erforderlich ist, die Raumtemperatur in sehr engen Grenzen zu halten und Räume mit unterschiedlichen Anforderungen (Heiz- und Kühllasten) zu versorgen.

²⁶ Zwei-Leiter Systeme sind Luft- Wasseranlagen, bei denen der Wärmetransport durch Wasser übernommen wird. Luft wird in einer Zentrale in einen definierten Zustand gebracht, im Gebäude über Kanäle verteilt und im Raum über einen Wärmetauscher nachbehandelt. Mit einem derartigem Aufbau ist es möglich, im Sommer zu kühlen und im Winter zu heizen.

6 Größe und Anordnung von Technikzentralen

Für die Anordnung und Größe von RLT-Zentralen in Gebäuden sind der zu erwartende Energieverbrauch sowie die entstehenden Investitionskosten die relevanten Entscheidungsgrößen. Durch eine ungünstige Anordnung und Gestaltung von Technikzentralen werden Lüftungs- oder RLT-Anlagen durch aufwendige Rohrsysteme teuer und verbrauchen im Betrieb viel Energie (Strom). Daher sollten die Anlagen zentral im Gebäude angeordnet sein. Hieraus ergeben sich kurze Kanäle, die preiswert zu erstellen und energiesparend zu betreiben sind. Ebenso sollte bei der Führung der Luftkanäle darauf geachtet werden, daß Umlenkungen (Richtungsänderungen) den Energiebedarf überproportional erhöhen²⁷.

Den vorzusehenden Platzbedarf für Technikzentralen regelt die VDI Richtlinie 3803, Ausgabe 11/86. In ihr sind Diagramme enthalten, die den Mindestplatzbedarf in Abhängigkeit von der Art der RLT-Anlage in Größe und Raumhöhe definieren.

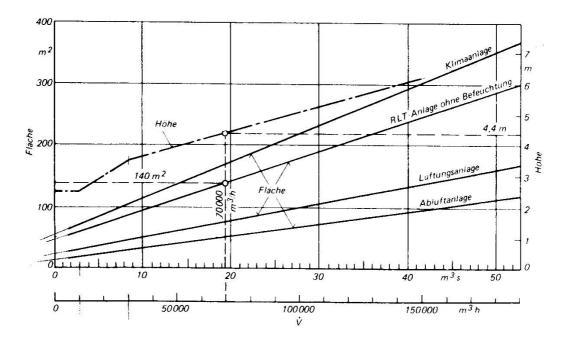


Abbildung 6.1: Platzbedarf für Technikzentralen (Große Anlagen)

_

²⁷ Dies bedeutet: Lange gleichbleibende Querschnitte ohne Einbauten sind mit geringeren Strömungswiederständen behaftet als kurze aber verwinkelte.

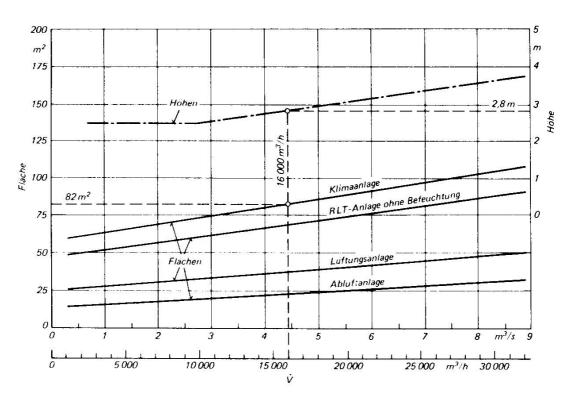


Abbildung 6.2: Platzbedarf für Technikzentralen (Kleinere Anlagen)

7 Lüftung und Energie

7.1 Energie

Es wird unterschieden zwischen Leistung [W], also dem aktuellen Energiebedarf eines Systems und Energie [kWh], die den zeitabhängigen Bedarf (Verbrauch) angibt.

Beispiel:

Ein Ventilator hat eine Aufnahmeleistung von 100 W. Dieser Wert wird als Energiebedarf bezeichnet und ist von der Zeit unabhängig. Wird dieser Ventilator betrieben, verbraucht er Energie.

Ventilator:

Ventilatorleistung: 100 W

Betriebszeit: 24 h

Benötigte Energie: $100 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 2,4 \text{ kWh}$

7.2 Begriffsdefinitionen

Steinkohleeinheiten

Als Standardmaß für den Energieinhalt fossiler Energieträger wird die sogenannte Steinkohleeinheit (SKE) definiert. Die Steinkohleeinheit normiert den Heizwert verschiedener fossiler Energieträger auf eine äquivalente Steinkohlenmenge.

1 kg Steinkohle (SKE) = 7000 kcal = 29,3 MJ = 8,14 kWh

| Steinkohle | 1 kg | 1,0 SKE |
|------------|-----------------|----------|
| Rohöl | 1 kg | 1,42 SKE |
| Erdgas | 1m ³ | 1,08 SKE |
| Strom | 1 kWh | 0,32 SKE |

Abbildung 7.1: Umrechnungsfaktoren unterschiedlicher Energieträger zu SKE (Skript TGA 1, 1995)

7.3 Lüftungswärmebedarf

Der Lüftungswärmebedarf ist die Wärmemenge, die der unkontrolliert oder kontrolliert einströmenden Außenluft zur Erreichung der Raumlufttemperatur zugeführt werden muß. Dabei sind zwei Punkte zu beachten:

Infolge konstruktionsbedingter Fugen bei Fenstern, Türen und Rolladenkästen, sowie Spalten und Ritzen in der Gebäudehülle, gelangt immer ein gewisses Maß an Außenluft unkontrolliert in das Gebäude bzw. hinaus. Mit Abdichten der vorhandenen Undichtheiten läßt sich dieser Lüftungsanteil stark reduzieren.

7.4 Wärmerückgewinnungseinrichtungen

Durch Installation von Wärmerückgewinnungseinrichtungen in Wohnungslüftungsanlagen sind neben Einsparungen infolge des kontrollierten Luftwechsels der mechanischen Lüftung noch weitere Energieeinsparungen möglich. So kann mit Hilfe der Wärmerückgewinnung (WRG) ein Teil der in der warmen Abluft enthaltenen Wärme genutzt werden. Die Höhe der zurückgewonnenen Wärme ist ein Gütemerkmal der WRG-Einrichtung und wird mit dem sog. Wärmerückgewinnungsgrad beschrieben.

Beim Einsatz von Wärmetauschern ist nachteilig, daß die Luftströme zum Wärmeaustausch an einer Stelle zusammengeführt werden müssen. Hierdurch entstehen lange Rohrnetze, die hohe Kosten, hohen Materialaufwand und erhebliche Reibungswiderstände verursachen, was sich negativ auf die Energiebilanz auswirkt.

Wird in Lüftungsgeräten eine Wärmerückgewinnung vorgesehen, so stehen prinzipiell zwei verschieden Arten der Wärmerückgewinnung zur Verfügung. In der Wärmetechnik wird bei Wärmerückgewinnungseinrichtungen prinzipiell zwischen Rekupatoren und Regeneratoren unterschieden.

Rekupatoren

Bei Rekupatoren erfolgt die Wärmeübertragung über feste Trennflächen. Die Luftströme werden an dieser Trennfläche vorbeigeführt und tauschen dabei Wärme aus. Hierbei fließt die Wärme vom wärmeren zum kälteren Luftstrom. Kommt es im wärmeren Luftstrom zu einer Taupunktsunterschreitung (das heißt, der im Luftstrom enthaltene Wasserdampf kondensiert an der Trennfläche und gibt hierbei seine Kondensationswärme ab), kommt es auch zu einem Austausch latenter Wärme. Unterbleibt die Taupunktunterschreitung, so wird nur sensible (fühlbare Wärme) ausgetauscht. Da die Luftströme völlig getrennt voneinander sind, findet ein Austausch von Feuchtigkeit und Gerüchen nicht statt. In der Wohnungslüftungstechnik häufig verwendete Rekupatoren sind Kreuzstromwärmetauscher und Gegenstromwärmetauscher sowie sogenannte Wärmerohre (Heat-Pipe). Diese Systeme kommen in zentralen Zu/Abluftanlagen zum Einsatz.

Ebenfalls zu den rekuperativen Wärmerückgewinnungssystemen gehören die kreislaufverbundenen Systeme. Bei diesen Systemen befindet sich in jedem Luftstrom ein Wärmetauscher. Der Wärmeaustausch erfolgt hier ebenfalls über Trennflächen, jedoch wird mit Hilfe eines Wärmeträgers und einer Pumpe die Wärme übertragen. Diese

11/99 41

Systeme bieten immer dann Vorteile, wenn die beiden Luftströme örtlich nicht zusammengeführt werden können. In der Wohnungslüftung besitzen sie allerdings keine Bedeutung.

Dies gilt jedoch nicht für Luft/Wasser- und Luft/Luft-Elektrowärmepumpen, die als kreislaufverbundenes Wärmerückgewinnungssystem in Wohnungslüftungsanlagen durchaus von Bedeutung sind. Auch hier muß zusätzlich elektrischer Strom eingesetzt werden, um den Wärmerückgewinnungsprozeß in Betrieb zu nehmen. In der Wohnungslüftung werden Luft/Wasser-Elektrowärmepumpen bei zentralen Abluftanlagen zur Wärmerückgewinnung eingesetzt. Luft/Luft-Elektrowärmepumpen werden in zentralen Zu/Abluftanlagen entweder allein oder in Kombination mit Plattenwärmetauschern betrieben.

Kreuzstromwärmetauscher

Wegen ihrer kompakten und kostengünstigen Bauweise sind Kreuzstromwärmetauscher das in zentralen Zu/Abluftanlagen am häufigsten eingesetzte System zur Wärmerückgewinnung. In vielen rechteckförmigen, durch Metall- oder auch Glasplatten getrennten Luftkanälen werden die Luftströme der warmen Abluft und der kühleren Außenluft aneinander vorbeigeführt. Die Stärke der Platten liegt im Bereich 0,12 bis 1,3 mm und ihr Abstand zwischen 2 – 10 mm.

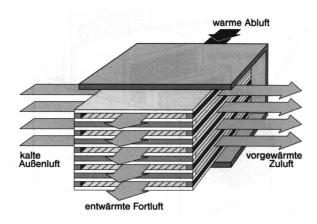


Abbildung 7.2: Darstellung des Prinzips eines Kreuzstromplattenwärmetauschers (RWE, 1998).

Gegenstromwärmetauscher

Plattenwärmetauscher nach dem Gegenstromprinzip sind ähnlich aufgebaut wie Kreuzstromwärmetauscher, besitzen aber eine thermodynamisch günstigere Strömungsführung und eine höhere Rückwärmezahl. So können die Strömungskanäle in einem Gegenstromwärmetauscher aus ebenen Platten oder aus quadratischen Rechteckkanälen bestehen. Die Fertigung von quadratischen Rechteckkanälen ist allerdings sehr aufwendig und mit hohen Fertigungskosten verbunden.

11/99 42

Wärmerohr-Wärmetauscher (Heat-Pipe)

Wärmerohr-Wärmetauscher, auch "Heat-Pipe" genannt, bestehen im Prinzip aus vielen einzelnen, an den Enden verschlossenen Röhrchen, die zu gleichen Teilen zwischen den Luftströmen der Außenluft und der Abluft verlegt sind. Prinzipbedingt müssen die Röhrchen senkrecht stehen. Die beiden Luftströme sind durch eine feste Trennwand vollständig entkoppelt, so daß ein Vermischung der beiden Luftströme ausgeschlossen ist. Die Röhrchen werden nach der Herstellung evakuiert und mit einer geringen Menge flüssigen Kältemittel gefüllt. Auf der im unteren Bereich angeordneten Abluftseite wird das Kältemittel erwärmt, verdampft hierdurch und steigt als Gas in den oberen Bereich, der Außenluftseite des Wärmetauschers. An den Wandungen der Röhrchen kondensiert das Kältemittel und überträgt damit seine Wärme an den kalten Außenluftvolumenstrom.

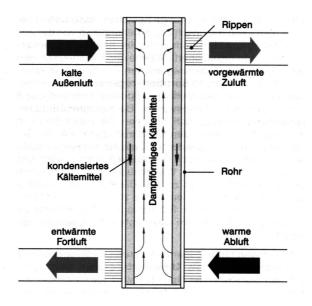


Abbildung 7.3: Darstellung des Prinzips eines Wärmerohr-Wärmetauscher (Heat-Pipe) (RWE, 1998).

Durch die stehende Anordnung der Röhrchen kann das flüssige Kältemittel durch Schwerkraft wieder in den unteren Bereich des Wärmetauschers gelangen. Der Prozeß beginnt von neuem.

Regeneratoren

Wärmetauscher nach dem regenerativen Wärmerückgewinnungsprinzip (sogenannte Regeneratoren) besitzen Speichermassen, die in einem umlaufend/alternierenden Betrieb wechselseitig von den beiden Luftströmen der Zu- und Abluft durchströmt werden. Hierbei geben die Speichermassen ihre Wärme an die Luftströme wieder ab. Im Gegensatz zu den rekuperativen Wärmetauschern kann in einem Regenerator auch ein Feuchtigkeitsaustausch zwischen den beiden Luftströmen stattfinden, wenn ein hygroskopisches Speichermaterial verwendet wird. Das Speichermaterial nimmt einen Teil der Feuchtigkeit des einen Luftstromes auf, um ihn auf den anderen Luftstrom zu übertragen. Konstruktionsbedingt treten an Übergangsstellen (Rotor und Rotorgehäuse u.a.) in einem Rotationswärmetauscher (Abbildung 7.4) kleine Spalten auf. In Abhängigkeit der Spaltweite und

dem Druckgefälle kann eine Vermischung der beiden Luftströme nicht verhindert werden. Eine geringfügige Übertragung von Geruchsstoffen aus der Abluft auf die Zuluft ist damit unvermeidbar.

Rotations-Wärmetauscher

Der Rotor eines Rotationswärmetauschers besteht aus kleinen, in Strömungsrichtung angeordneten Strömungskanälen. Durch eine langsame Rotationsbewegung (5 bis 15 min⁻¹) wird das Speichermaterial auf der einen Hälfte des Rotors von der warmen Abluft erwärmt. Durch eine weiter Halbdrehung gelangt der erwärmte Teil des Rotors in den Bereich der kühlen Außenluft und kann damit seine Wärme übertragen. Besteht das Speichermaterial des Rotors aus einem stark absorbierenden Material, das viel Feuchtigkeit aufnehmen kann, wird der Rotationswärmetauscher als Sorptionsregenerator bezeichnet. Besteht der Rotor aus kleinen Kapilarröhrchen, so kann die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit an den Rohrwandungen kondensieren. Diese Bauart des Rotationswärmetauscher bezeichnet man als Kondensationsregenerator.

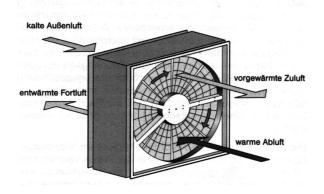


Abbildung 7.4: Darstellung des Prinzips eines Rotations-Wärmetauscher (RWE, 1998)

Wärmepumpen

Wärmepumpen können die in der Abluft enthaltene Wärme verwerten bzw. wieder zurückführen, um z.B. Brauchwasser vorzuwärmen. Die Problematik dabei ist, daß die in der Wohnungslüftung eingesetzten Wärmepumpen elektrisch betrieben werden. Ihre Einsparungen werden also, ausgedrückt durch die Arbeitszahl 4 (Wärmerückgewinn zu Energieeinsatz) aufgrund der hohen Verluste (ca. 66%) bei der Stromerzeugung wieder aufgehoben. Daher ist erst ab einer Arbeitszahl von 4 die Primärenergiebilanz positiv.

11/99 44

8 Literaturverzeichnis

Arbeitskreis der <u>Handbuch der Klimatechnik: Band 1: Grundlagen</u>. Karlsruhe:

Dozenten für Verlag C.F. Müller GmbH, 1989

Klimatechnik

Handbuch der Klimatechnik: Band 2: Berechnung und Regelung.

3. Auflage. Karlsruhe: Verlag C.F. Müller GmbH, 1989

Handbuch der Klimatechnik: Band 3: Bauelemente. 3. Auflage.

Karlsruhe: Verlag C.F. Müller GmbH, 1989

Bodenbender, G. <u>Technisches Handbuch für die Luft- und Klimatechnik</u>. Hg.

und D. Gersch Haustechnische Handelsgesellschaft. Hüttenberg: stafadruck,

1992.

Borneff, J. <u>Hygiene</u>. Stuttgart: Thieme Verlag, 1974.

DIN 1946 Raumlufttechnik

DIN24184 Typprüfung von Schwebstoffiltern

DIN24185 Prüfung von Luftfiltern, 1980

DIN4102 <u>Brandverhalten von Brennstoffen und Bauteilen</u>

DINEN832 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Berechnung des

Heizenergiebedarfs, Wohngebäude. Deutsche Fassung 1998-12.

Energiegerechtes

Bauen

Energiegerechtes Bauen und Wohnen: Grundlagen und Beispiele

für Architekten, Bauherrn und Bewohner.1996

Energiespar-Informationen 8 Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik; Energiespar-

Informationen 8: Lüftung in Wohngebäuden. o.O., o.J..

Fanger Ein neues Komfortmodell für Raumluftqualität; 1990

Feist, Wolfgang 1. Passivhaus-Tagung. 1. Aufl.. 1996

Feist, Wolfgang

gang

Das Niedriegenergiehaus: Neuer Standard für energiebewußtes

Bauen. 4. Aufl. Heidelberg: C.F. Müller, 1997.

Fitzner, Klaus und

Ulrich Finke

(Hrsg.)

Bestimmung der empfundenen Luftqualität in Bürogebäuden.

Vortrag im Rahmen der Gesundheitstechnischen Gesellschaft in

Berlin 1995.

Hausladen, G. und

G. Oehming

"Zuluftelemente in Wohnungen". Zeitschrift für Heizung-Lüftung-

Klimatechnik 43. 2 (1992): S.73 ff.

HEA Hauptberatungsstelle für Elekrizitätsanwendung e.V.;

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung: Fachinformationen 1: Grundlagen. 2. überarb. Aufl.. Frankfurt a.M.: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H., korrigierter

Nachdruck 1995

11/99 45

Schriftreihe: "Der Heizungsingenieur", Band 3: Lüftung und Ihle, Klaus

Luftheizung. 5., neubearb. u. erw. Aufl.. Düsseldorf: Werner-

Verlag GmbH, 1991.

Ihle, Klaus Schriftreihe: "Der Heizungsingenieur", Band 4: Klimatechnik mit

Kältetechnik. 3., neubearb. u. erw. Aufl.. Düsseldorf: Werner-

Verlag GmbH, 1996.

Institut Wohnen und Umwelt

Institut Wohnen und Umwelt GmbH; Meßtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen

Niedrigenergiehäusern, 1995

IWU Checkliste kontrollierte Lüftung

Institut für Wohnen und Umwelt. Checkliste kontrollierte Lüftung:

Planung, Ausführung, Abnahme, Wartung. O.O.: 1995

IWU Luftdichtigkeit von Gebäuden

Institut für Wohnen und Umwelt GmbH. Luftdichtigkeit von Gebäuden: Luftdurchlässigkeitsmessungen mit der Blower-Door in Niedrigenergiehäusern und anderen Gebäuden. 1. Auflage.

Darmstadt: August 1995.

Knöbel, U. "Einrichtungen zur freien Lüftungen und Lüftungsanlagen".

Lüftung im Wohnungsbau. Tagungsbericht. o.O.: Verlag TÜV

Rheinland, 1984

Laakso Handbuch der technischen Gebäudeausrüstung. O.O.: VDI-

Verlag GmbH, 1976

Lehrbuch der Bauphysik. Stuttgart: Teubner, 1989 Lutz u.a.

Physikalische Grundlagen: Bau und Energie. Zürich: Verl. der Moor, Hans

Fachvereine; Stuttgart: Teubner 1993.

Meyringer, Volker Lüftung im Wohnungsbau: Ergebnisse eines

Forschungsprogramms[...]. Karlsruhe: Müller, 1987

Möbius, G. XXII. Int. Kongreß TGA Berlin; 1988

Nowotny, S. und H.

Lüftungs- und Gebäudetechnische Ausrüstung: Grundlagen und

Berechnungsmodelle. Bauerverlag, 1996

Oswalt, Phillipp

Wohltemperierte Architektur: Neue Techniken des

(Hg.)

Feustel

energiesparenden Bauens. Mitarb. Susanne Rexroth. 1. Aufl..

Heidelberg: C.F. Müller, 1994

Über den Luftwechsel in Wohngebäuden; 1858

Köln, Bundesanzeiger: Neue Energiesparrechtliche Vorschriften

nach der Wärmeschutzverordnung und Heizungs-

anlagenverordnung, 1994

Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 92/93; 66. Auflage;

Sprenger, Hörmann 1992

11/99 46

Pettenkofer, M.

Rathert, Peter

Recknagel,

Reinmuth, Friedrich Energieeinsparung in der Gebäudetechnik. 1. Aufl.. 1994

Raumlufttechnik. 1. Aufl.. Würzburg, Vogel 1996.

Rochard, Ulrich Rationeller Stromeinsatz bei Wohnungslüftungsanlagen.

Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule für

Technik Esslingen. Stuttgart: 1994

Cziesielski, Daniels, Trümper. Ruhrgas Handbuch: Ruhrgas

Haustechnische Planung. 2. Auflage; 1988

RWE RWE Energie AG. RWE Energie Bauhandbuch. 10. Auflage.

Heidelberg: Energie-Verlag GmbH, 1991

RWE RWE Energie AG. RWE Energie Bauhandbuch. 11. Auflage;

Oberhausen: Plitt Druck- und Verlag GmbH, 1994

RWE RWE Energie AG. RWE Energie Bauhandbuch. 12. Auflage.

Oberhausen: Plitt Druck- und Verlag GmbH, 1998

Schmidt, Dietrich Analyse von dezentral angeordneten Wohnungslüftungsanlagen

mit Wärmerückgewinnung. Diplomarbeit im Fachbereich

Architektur der Universität Kassel. Kassel, 1996.

Skript Bauphysik Heizenergieverbrauch von Gebäuden. Skriptum zur

Bauphysikvorlesung von Prof. G. Hauser an der

Gesamthochschule Kassel.

Skript TGA 1 Technische Gebäudeausrüstung I: Skript. Skriptum zur Vorlesung

von Prof. G. Hausladen an der Gesamthochschule Kassel.

Ungemach, M. "Gleichstromlüfter in Wohnungslüftungsanlagen mit

Wärmerückgewinnung". Elektrowärme International. 55.1 (1997):

S.24 ff.

Zeitgemäße

Zeitgemäße Lüftungssysteme: Aktuelles Wissen und Leitfaden für die Projektierung [...]. Hg. Bundesamt für Energiewirtschaft Lüftungssysteme

(BEW) und Verband Schweizerischer Heizungs- und

Lüftungsfirmen (VSHL). 1. Aufl.. Zürich: 1994