Lüftungs - Klimatechnik
Von den Grundlagen zur effizienten RLT - Anlage

bösch

bösch
heizung.klima.lüftung

Kompetenz hat einen Namen.

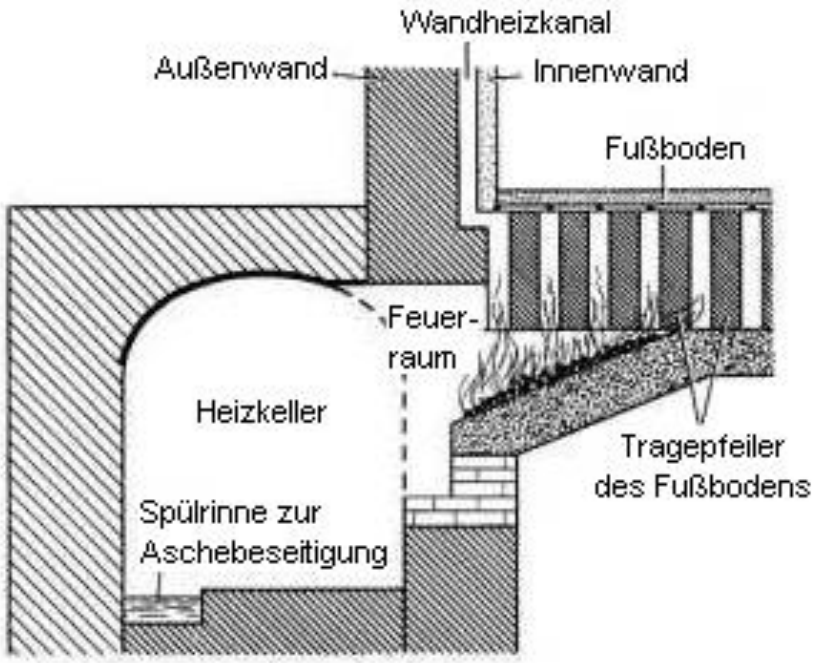
Ing. Walter Bösch legte 1932 den Grundstein für unser Unternehmen. Mit dem Vertrieb und der Wartung von Geräten für die Haustechnik. Als Spezialist für

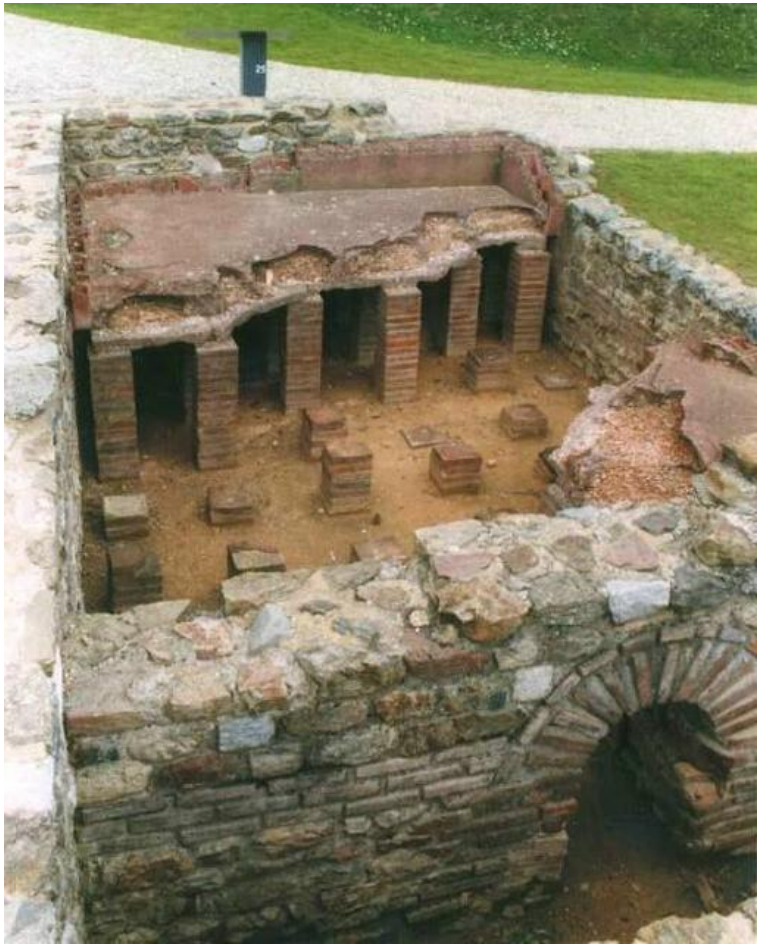
- **Heizungstechnik**
- **Klimatechnik**
- **Lüftungstechnik**

haben wir uns heute einen Namen gemacht.

Geschichte der Lüftungs- u. Klimatechnik

- **80 vor Christus**
  Sergius Orata erfindet die Hypokaustenheizung mit Frischluftzufuhr in Pompeji





Ermittlung der Luftmenge

Lüftungs- u. Klimaanlagen sind notwendig

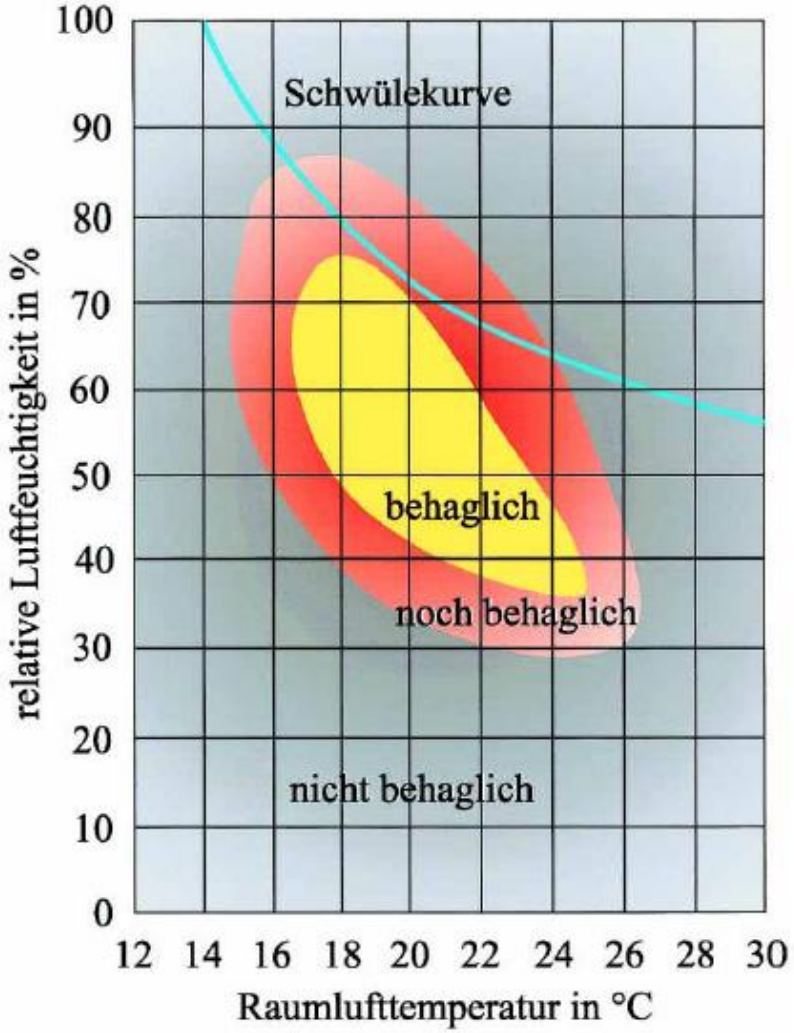
- **für den Menschen (Luft ist ein Lebensmittel!)**
- **für Güter und Prozesse**

Inhalt/ Übersicht

- Menschliches Wohlbehagen
- Mollier-h, x-Diagramm
- Prinzip einer Klimaanlage
- Notwendigkeit einer HLK-Anlage
- Ermittlung der Luftmenge
- Luftverteilung im Raum
- Das Raumlufttechnische Gerät (RLT-Gerät)
- Komponenten
- Effizienzklassen
- LCC Life Cycle Cost
- RLT – Geräte Zukunft
- **Tipps für die energetische Planung**
- Beispiel der integralen Planung

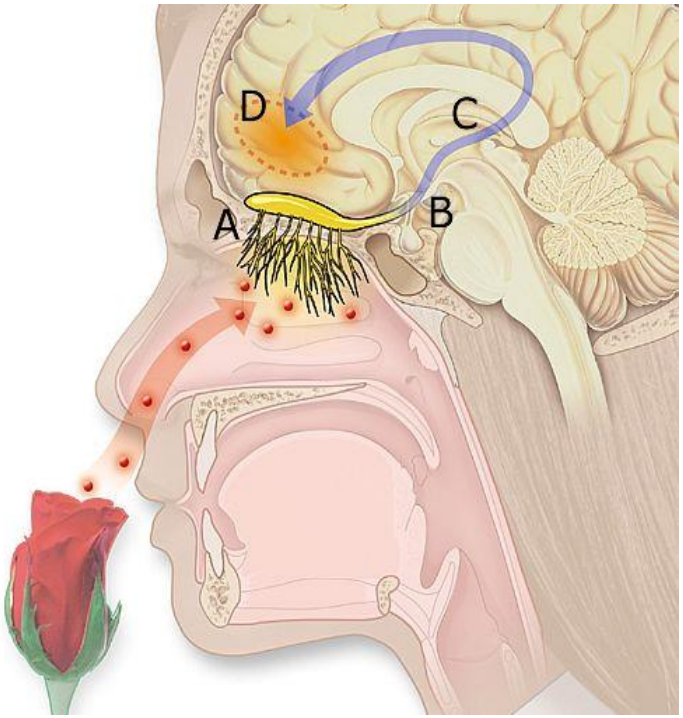
Menschliches Wohlbehagen

- Komfortbedürfnis des heutigen Menschen → Behaglichkeit
- Einflussgrößen auf die Behaglichkeit: thermische, chemische, physikalische, optische und sonstige Einflüsse
- Das menschliche Wohlbefinden hängt maßgeblich von 3 Faktoren ab: Temperatur, relative Feuchte und Luftbewegung.
- Günstige Werte für Temperatur und relative Feuchte werden im Behaglichkeitsdiagramm mit Schwülekurve dargestellt.



Menschliches Wohlbehagen
Atemluft

- Der Maßstab für die Anforderungen an den Luftzustand in Aufenthaltsräumen ist der Mensch.



A olfaktory sense, B+C olfactory centres, common chemical sense

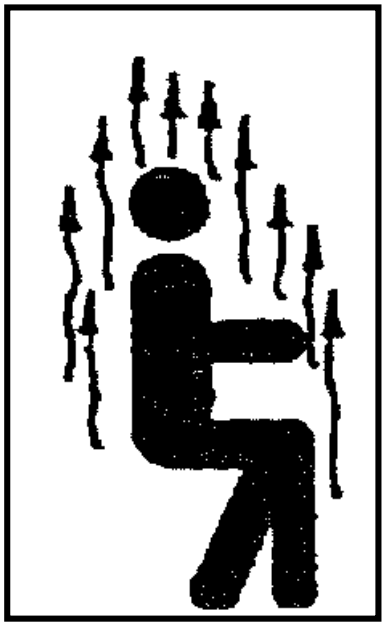
Luft ist ein Lebensmittel.
Die Luft soll als angenehm und frisch empfunden werden.
Das Einatmen der Luft soll kein Gesundheitsrisiko darstellen.

Der Mensch empfindet die Luft durch zwei Sinne: Der **Geruchsinn** befindet sich in der Nasenhöhle.
Der **chem. Sinn** wird durch die freien Nervenendungen vermittelt.

olf = lat. olfactus = Geruchssinn

Luftqualität / Olfaktorische Behaglichkeit

„Personen-Gleichwert“ der Verunreinigungslast *G* mit Einheit *olf*



Verunreinigungslast der Raumluft durch Materialausdünstung als Personengleichwerte.

C = 10 x G/V [*decipol*]

C = empfundene Luftqualität *decipol*

G = Verunreinigungslast *olf*

V = Volumenstrom der den Raum durchströmenden Luft **l/s**

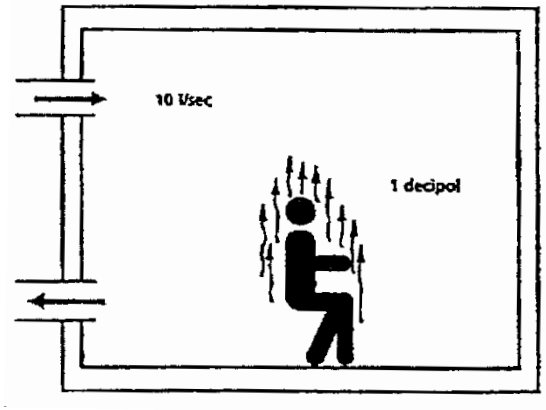
Verunreinigungslast 1 olf

wird von einer Standardperson verursacht. 1 Person in sitzender Tätigkeit mit einem Hygienezustand von 0,7 Bädern pro Tag.

Empfundene Luftqualität C in *decipol*.

1 Pol = 10 decipol (entspricht sehr schlechter Luftqualität)

10 decipol entsprechen einem Personengleichwert bezogene Luftrate von 36 m³/h.

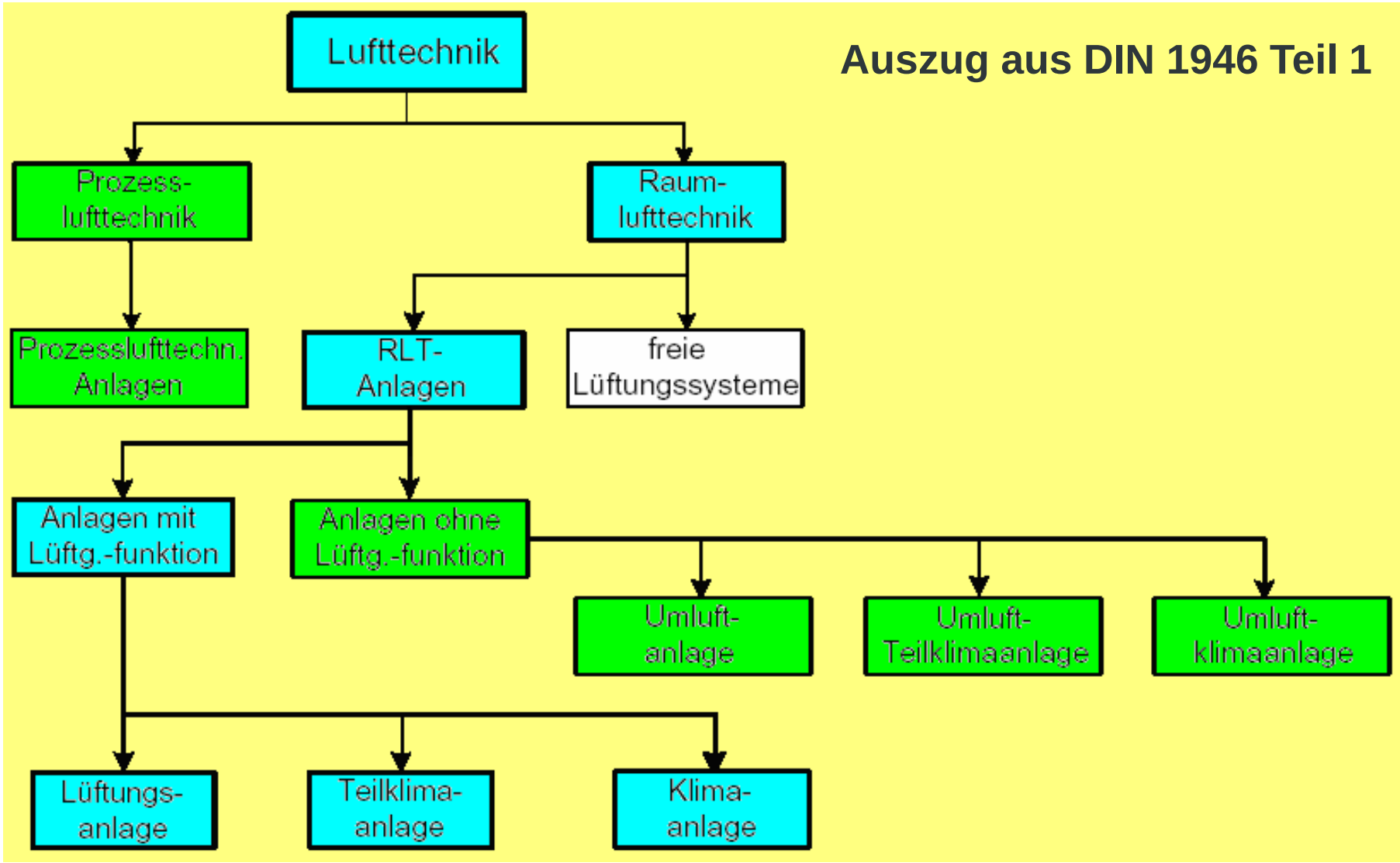


Raumlufttechnik
Aufgaben / Anforderungen

- **Aufgaben**
- Sicherstellung des Luftsauerstoffs
- Abführen von Schadstoffen, Gerüchen, Staub, Wasserdampf
- Vermeidung von Geruchsausbreitung (Druckhaltung)
- Reinigung der Luft (Filter)
- Erwärmung / Kühlung der Luft
- Wärmerückgewinnung
- Be- und Entfeuchtung der Luft
- Erhöhung der Produktivität und bessere Arbeitsbedingungen

- **Anforderungen**
- Behaglichkeit / Hygiene
- Sicherstellung der erforderlichen Volumenströme
- gleichmäßige Raum-Luftverteilung
- keine Zugbelästigungen
- keine Übertragung von Luft- und Körperschall
- wirtschaftliche Betriebsweise
- Personen- und Betriebssicherheit
- sorgfältige Geräte- und Materialauswahl

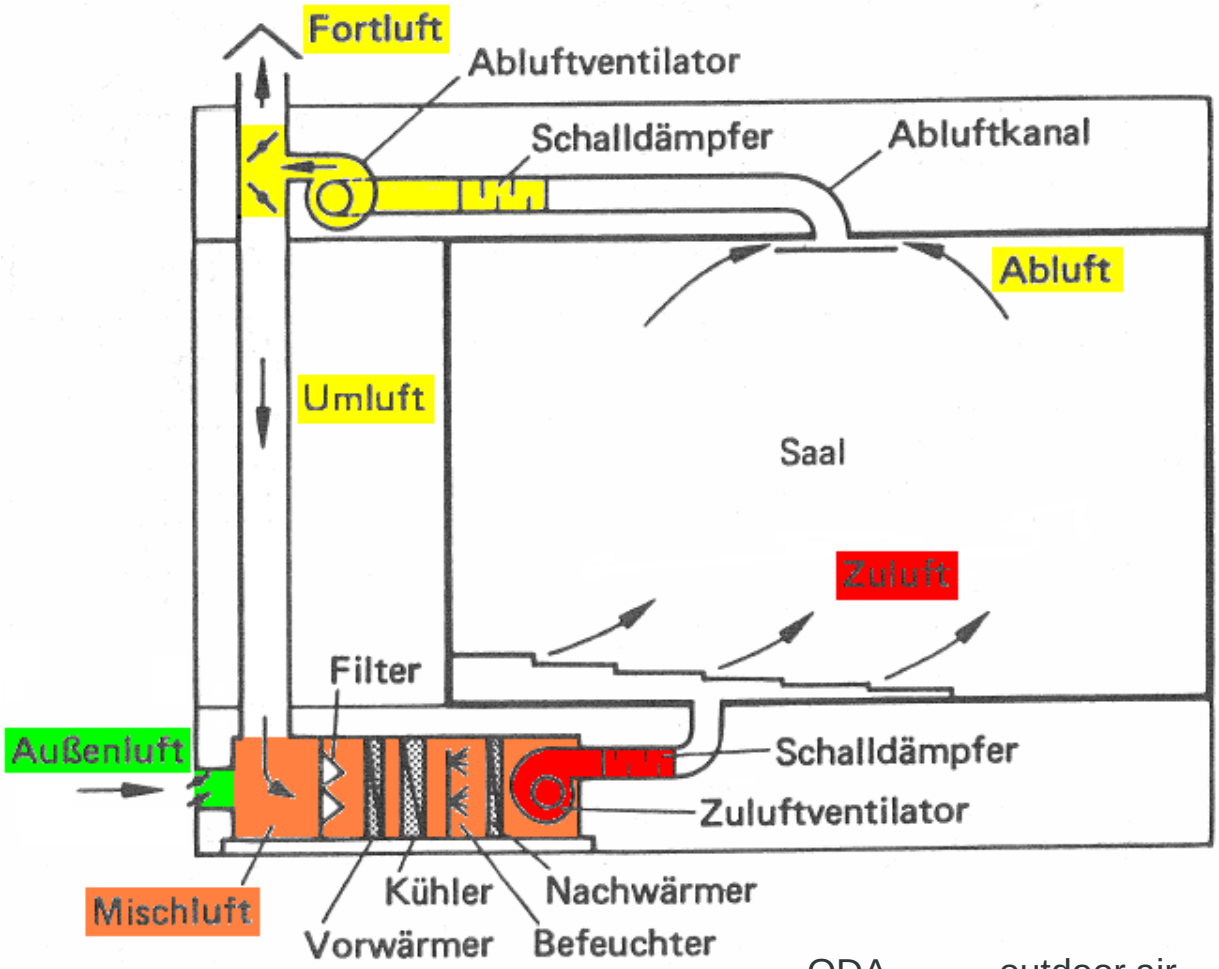
Raumlufttechnik Gliederung



Definition Lüftungsanlage, Klimaanlage

	Anlagetyp	Zuluftanlage	Abluftanlage	WRG / AWN	Filtern der Zuluft	Heizen	Kühlen	Befeuchten	Enfeuchten	Farbcode der Zuluft
	Einfache Zuluftanlage	x	-	-	x	-	-	-	-	grün
	Einfache Zuluftanlage mit Lufterwärmung	x	-	-	x	x	-	-	-	rot
	Einfache Abluftanlage	-	x	-	-	-	-	-	-	-
	Einfache Abluftanlage mit Abwärmenutzung	-	x	x	-	-	-	-	-	-
Lüftungs-anlage	Einfache Lüftungsanlage	x	x	x	x	-	-	-	-	grün *
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	x	x	x	x	x	-	-	-	rot
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und -befeuchtung	x	x	x	x	x	-	x	-	blau
Klima-anlage	Einfache Klimaanlage	x	x	x	x	x	x	-	(x)	blau
	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	x	x	x	x	x	x	x	(x)	blau
	Klimaanlage mit Luftbe- und –entfeuchung	x	x	x	x	x	x	x	x	violett

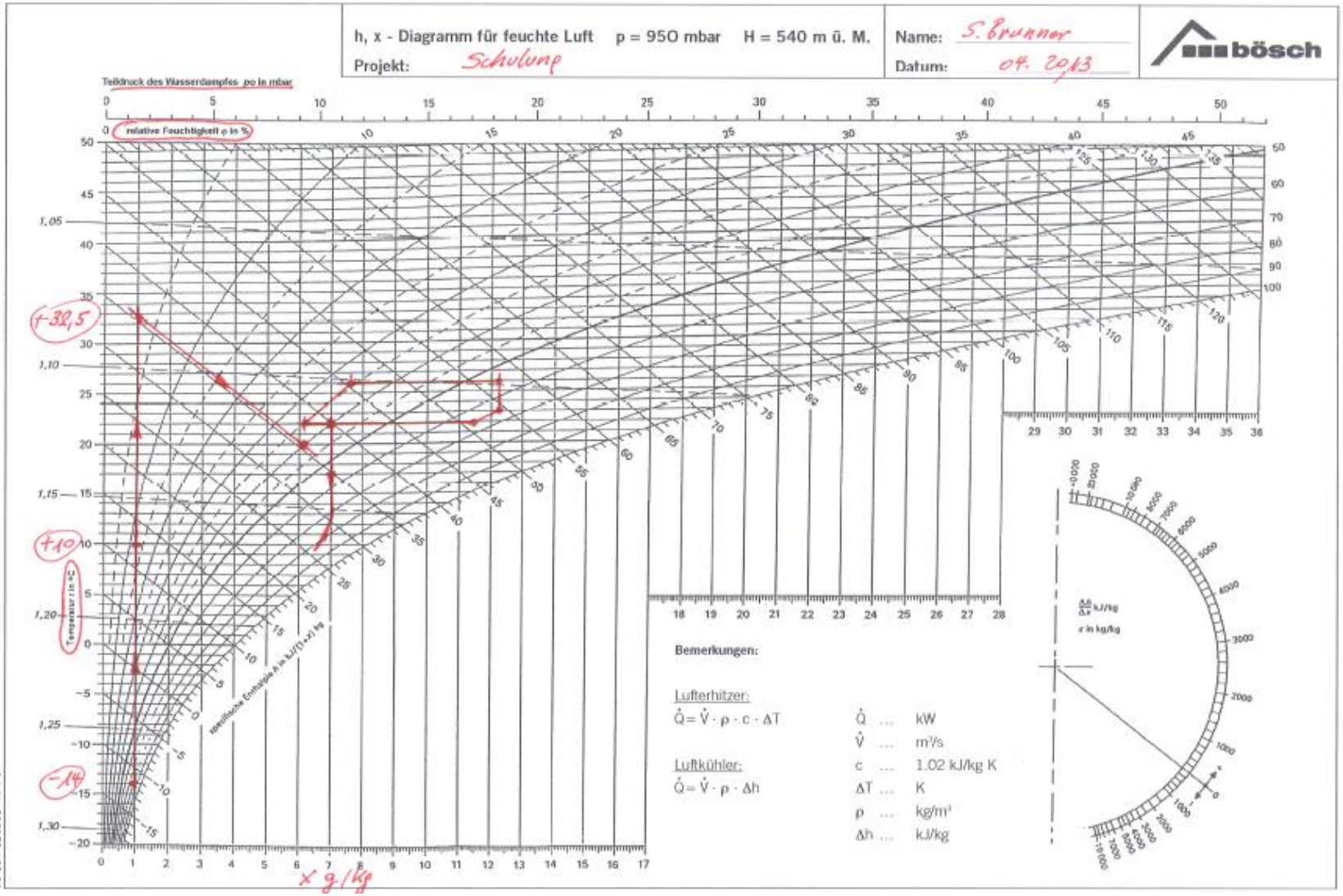
Prinzip der Klimaanlage



- **Außenluft *ODA*:** aus dem Freien angesaugte Luft
- **Zuluft *SUP*:** dem Raum zugeführte Luft
- **Abluft *ETA*:** aus dem Raum abströmende Luft
- **Umluft *RCA*:** Teil der Abluft, der dem Raum wieder zugeführt wird
- **Fortluft *SEH*:** ins Freie geblasene Abluft
- **Mischluft *MIA*:** Mischung von Außenluft und Umluft
- **Innenluft *IDA*:**

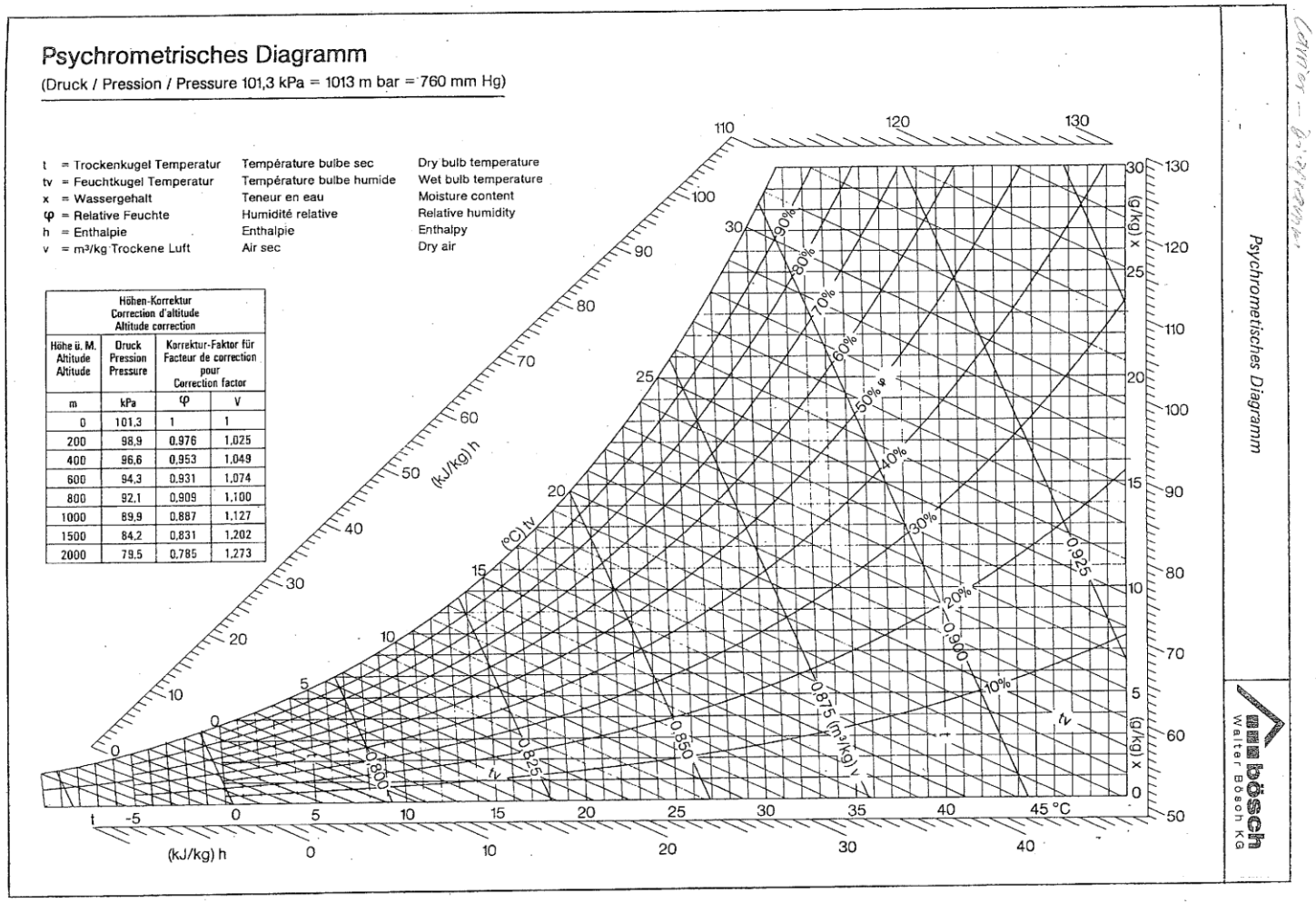
ODA	outdoor air
IDA	indoor air

h,x – Diagramm für feuchte Luft nach Mollier (dt. Physiker)



Dampfbeladung der Luft

Carrier-Diagramm (US)



Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Volumenstromermittlung über die Luftwechselzahl

Luftwechselzahlen (s. Tabelle 1) sind Erfahrungswerte ohne besondere Belastungen durch Schadstoffe und Verunreinigungen.

$$\dot{V} = V_R \cdot LW/h \; [m^3/h]$$

V_R: Raumvolumen m^3
LW: Luftwechsel 1/h aus Tabelle 1

Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Volumenstromermittlung über die Personenzahl (DIN 1946 T.2)

In Räumen mit zusätzlicher Belastung (z.B.. Tabakrauch) sind die Werte pro Person um 20 m³/h zu erhöhen (siehe Tabelle 2).

$$\dot{V} = P \cdot A_{RP} \; [m^3/h]$$

P: Personenzahl

ARP: Außenluftrate je Person aus Tabelle 2

Außenluftmenge pro Person

Vorschlag

Raumluftqualität	Aussenluftvolumenstrom pro Person		CO2-Gehalt
	Üblicher Bereich	Standardwert	>Außenluft
IDA 1	> 54 m³/h	72 m³/h	+ ≤ 400 ppm
IDA 2	36-54 m³/h	45 m³/h	+ 400-600 ppm
IDA 3	22-36 m³/h	29 m³/h	+ 600-1000 ppm
IDA 4	> 22 m³/h	18 m³/h	+ >1000 ppm

Empfohlene Mindestwerte für Außenluftvolumenströme pro Person in Abhängigkeit von der gewünschten Raumluftqualität (IDA = Indoor Air Quality) nach DIN EN 13779. **(Ersetzt durch ISO 16798/3)**

Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Volumenstromermittlung über max. zul. Luftverunreinigung

(MAK-Werte) (siehe Tabelle 3)

$$\dot{V} = \frac{M}{k_{MAK} - k_a} \; [m^3/h]$$

M: stündlich anfallende Schadstoffmenge mg/h

k_{MAK}: max. zulässige Schadstoffkonzentration mg/m³ (aus MAK Tabelle 3)

k^a: Schadstoffanteil der Zuluft mg/m³ (MAK-Werttabelle v. C. Hermanns Verlag, Köln)

Arbeitstättenrichtlinie (Gesetz)

Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Volumenstromermittlung zur Feuchtigkeitsbeseitigung

$$\dot{V} = \frac{G}{(x_2 - x_1) \cdot \rho} \; [m^3/h]$$

G: Wassermenge g/h

x_2: Wassergehalt der Abluft
g Wasser / kg Luft

x_1: Wassergehalt der Zuluft
g Wasser / kg Luft

ρ: Luftdichte kg/m³ (Luft 20 °C,
1013 mbar = 1,2 kg/m³)

Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Ermittlung der Heizleistung zur Erwärmung der Außenluft

$$\dot{Q}_L = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T}{3600} \text{ [kW]}$$

$\dot{Q}_L$: Lüftungswärme/Heizleistung kW
$\dot{V}$: Volumenstrom m³/h
ρ: Luftdichte 1,2 kg/m³ (20°C)
c_p: Spez. Warme kJ/(kg ·K)
ΔT: Temperaturdifferenz (K) zwischen
ϑi Raumtemperatur und
ϑa Außentemperatur

Berechnung der zu fördernden Luftmenge

Volumenstromermittlung zur Wärmeabführung

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q} \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \; [m^3/h]$$

Q	abzuführende Wärmeleistung kW
cp:	spez. Wärme der Luft kJ/(kg ·K) (Luft 20 °C: cp = 1)
ΔT:	Temperaturdifferenz zwischen Außenluft (Frischluft) und erwärmter Luft K
ρ:	Luftdichte kg/m³ (Luft 20 °C, 1013 mbar=1,2 kg/m³ (1 kWh=3600 kJ)

Gegenüberstellung Förderkosten

Einsatzbereich der Wärmeträgermedien Luft und Wasser unter energetischen Gesichtspunkten

$\dot{Q} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c \cdot \Delta\vartheta$ mit $\Delta\vartheta_{Luft} = 8\,K$ und $\Delta\vartheta_{Wasser} = 2\,K$ $\Rightarrow$

$$\frac{\dot{V}_{Luft}}{\dot{V}_{Wasser}} = \frac{999 \cdot 4{,}18 \cdot 2}{1{,}2 \cdot 1{,}01 \cdot 8} = 861 \approx 900$$

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$$ mit $\Delta p_{Luft} = 1500$ Pa; $\Delta p_{Wasser} = 80000$ Pa; $\eta_{Vent.} = 0{,}6$; $\eta_{Pumpe} = 0{,}4$ $\Rightarrow$

$$\frac{P_{Vent.}}{P_{Pumpe}} = 900 \cdot \frac{1500 \cdot 0{,}4}{80000 \cdot 0{,}6} = 11{,}25 \approx 10$$

Wärme- / Kälteförderung

Luft oder Wasser

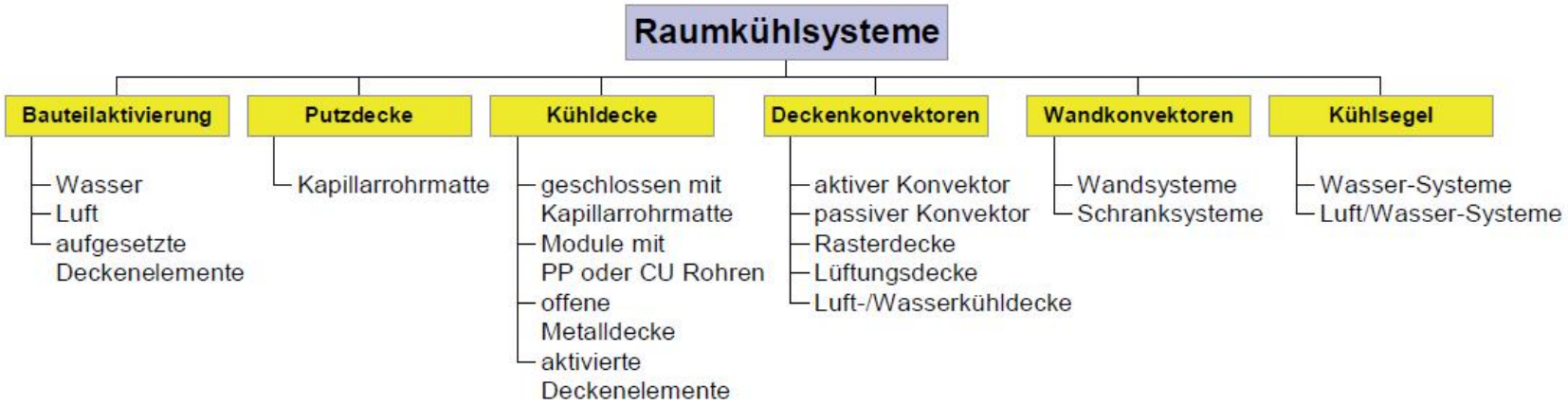
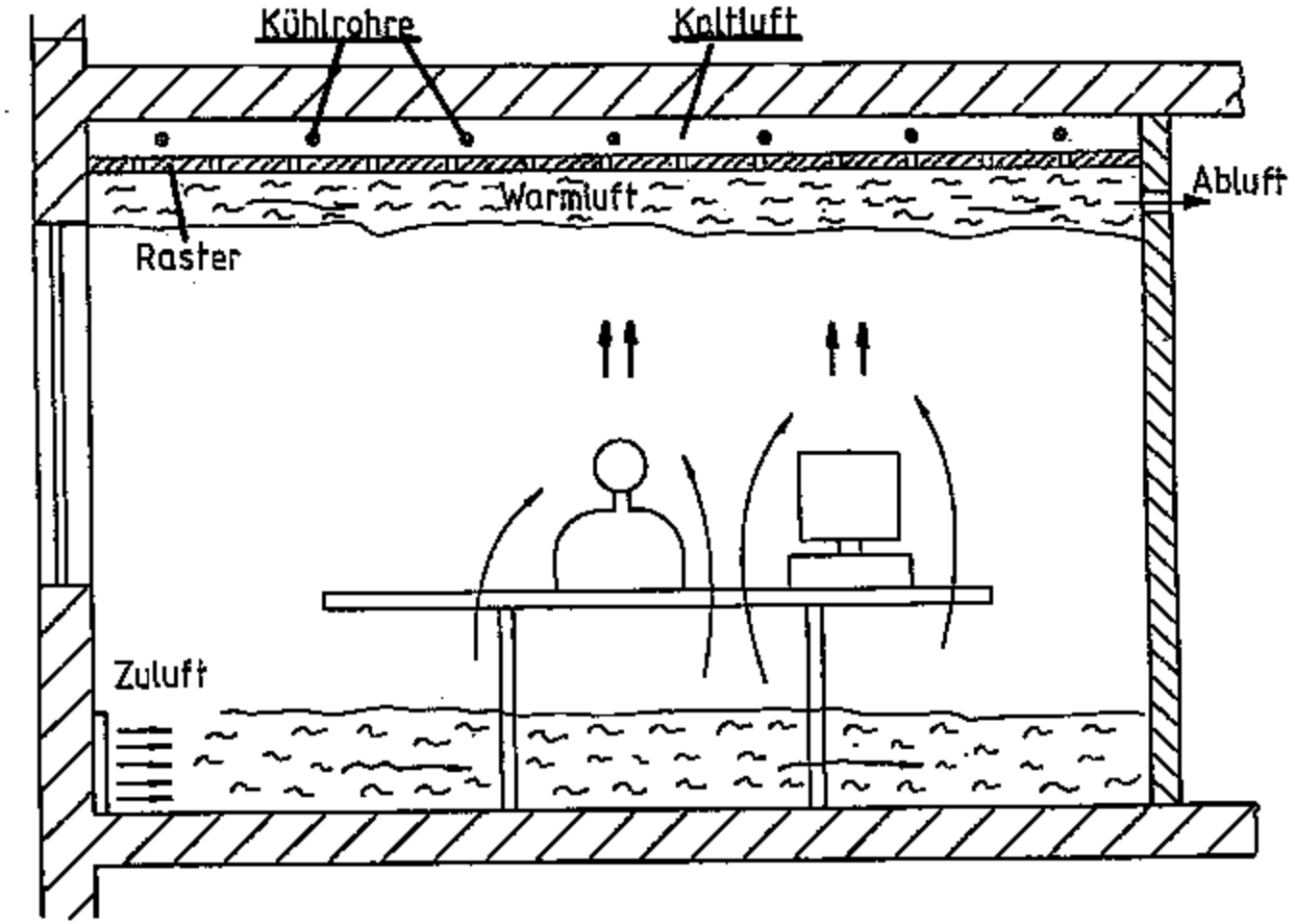


Abbildung 3-2: Übersicht über Raumkühlsysteme [4]

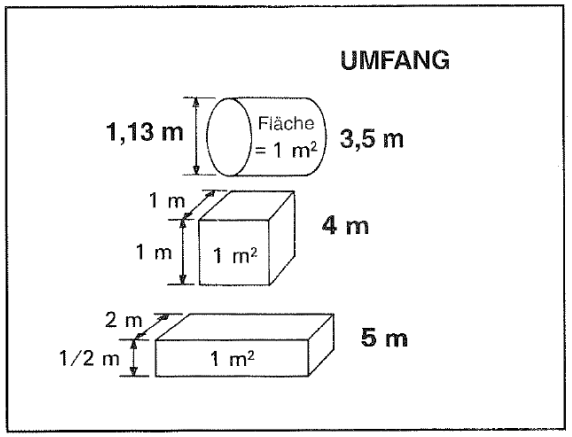
Abbildung 3-3: Kühldecke – Kühlsegel – Bauteilaktivierung

Quellströmung und Kühldecke



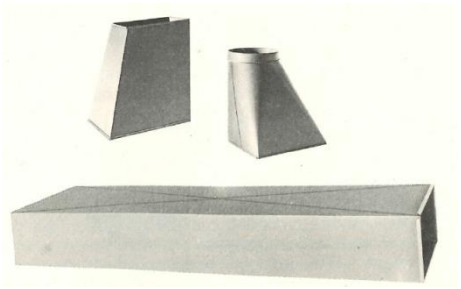
Klimatisierung mit Quellströmung und Kühldecke

Luftführung / Luftverteilung



Runde Wickelfalzrohre sind die wirtschaftlichste Kanalform. (Wenig Material, geringe Reibung und niedrige Wärmeverluste).

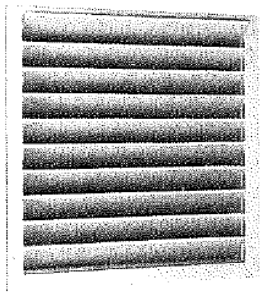
Hinweis: Möglichst einfache kurze Kanalnetze wählen, symetrische Anordnung der Zweigkanäle

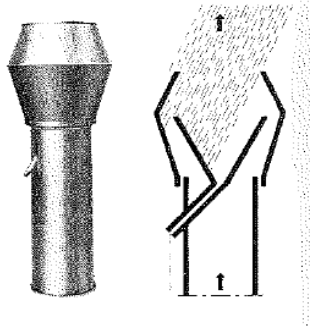


- Die Kanäle werden vorwiegend aus verzinktem Stahlblech hergestellt.
- Die Isolierung hat der einschlägigen Norm zu entsprechen.
- Auf die Luftdichtigkeit und Hygienerichtlinie ist zu achten.

  Hinweis: Luftverlust = Energieverlust

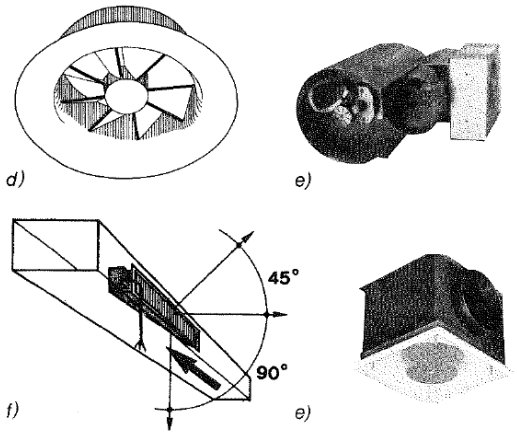
Außenlufteintritt und Fortluftaustritt, Luftauslässe





Außenlufteintritt (Wetterschutzgitter, Abweisung von Schnee Wasser und Fremdkörper).

Fortluftaustritt, Fortluft senkrecht nach oben. Bei geruchsbelasteter Fortluft Behördenvorgaben beachten. (Achtung, Änderung der Wurfweite bei variablen Luftmengen!).



Luftauslässe für variable Zuluftströme.
Es ist auf eine genügende Durchmischung der Raumluft auch bei niedrigen Luftmengen zu achten! Es gibt eine Vielzahl steuerbarer unterschiedlicher Typen von Luftauslässen.

Bei einfachen Lüftungsanlagen und Wohnungslüftungen Diffusionsgitter und Anemostat

Luftführung im Raum

Randbedingungen für die Auslegung der optimalen Lufteinführung

- Raumhöhe
- Aufenthaltsbereich
- Komfortstandard
- Wärmelasten
- Schadstoffanfall
- Fassade / Fenster

Raumheizung / Raumkühlung

Layout / Aufteilung

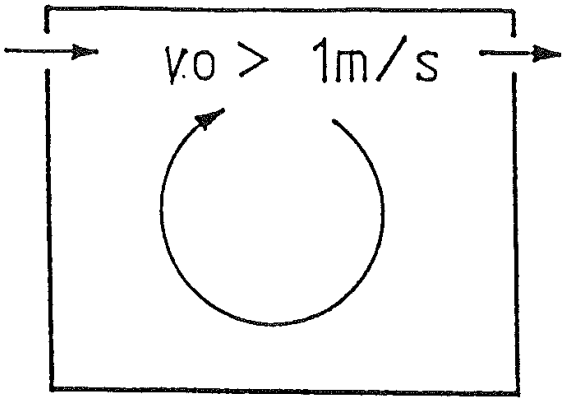
Zuluftvolumenstrom

Max. zulässige Über/Untertemperatur

CAV - / VAV - Anlagen

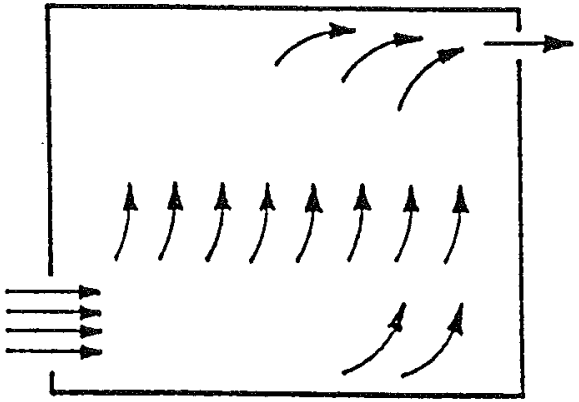
Luftführung im Raum

1. Mischlüftung

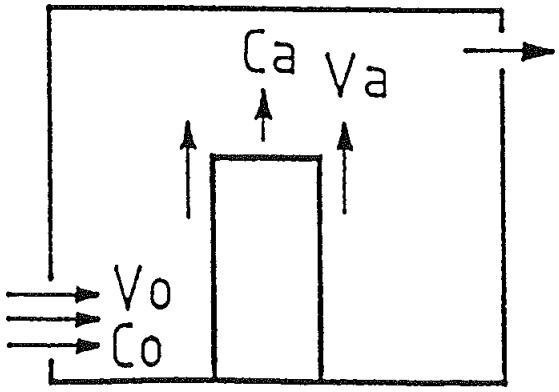


Luftinduktion

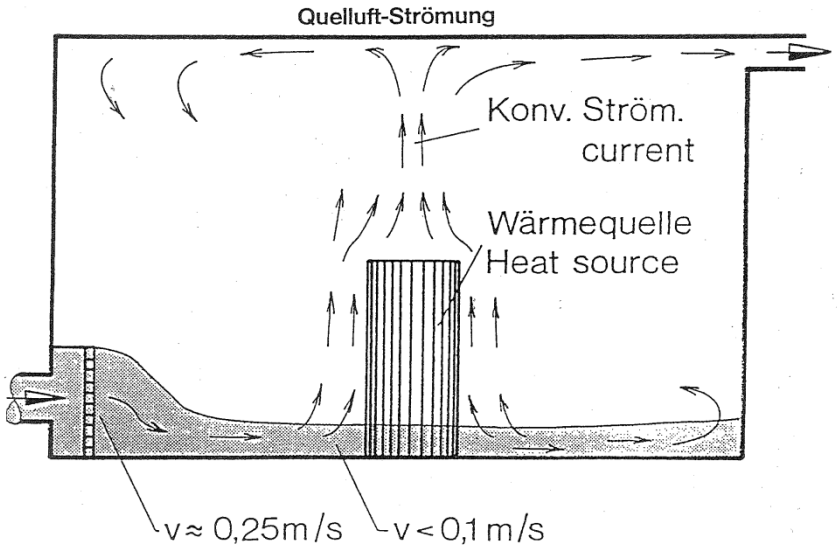
2. Verdrängungslüftung



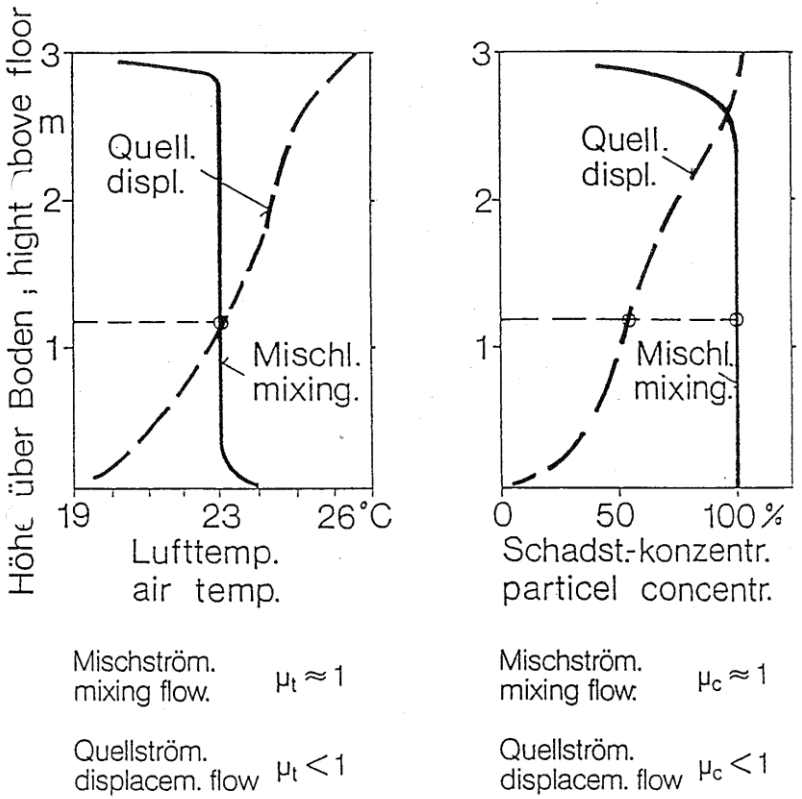
3. Quelllüftung



Luftführung im Raum



Vergleich Misch- und Quellluftströmung

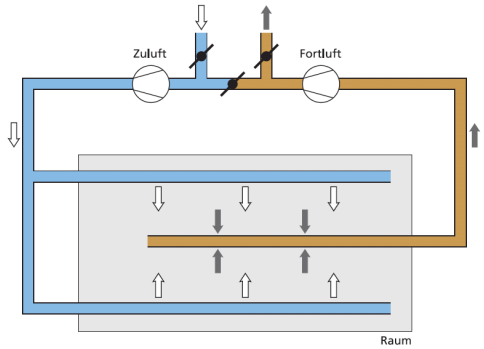


Mischström. mixing flow.	$\mu_t \approx 1$	Mischström. mixing flow.	$\mu_c \approx 1$
Quellström. displacem. flow	$\mu_t < 1$	Quellström. displacem. flow	$\mu_c < 1$

Luftführung im Raum

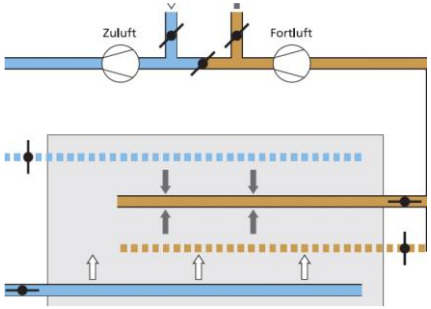
Herkömliche stationäre Raumlüftung

Konventioneller Betrieb über Zuluftstränge und Abluftstränge (stationäre Betriebsweise)

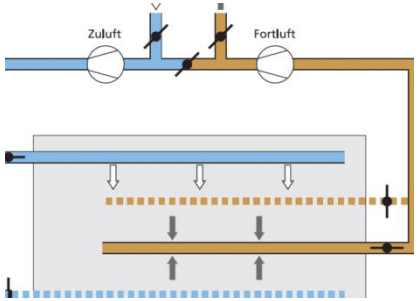


Intermittierende und instationäre Raumlüftung

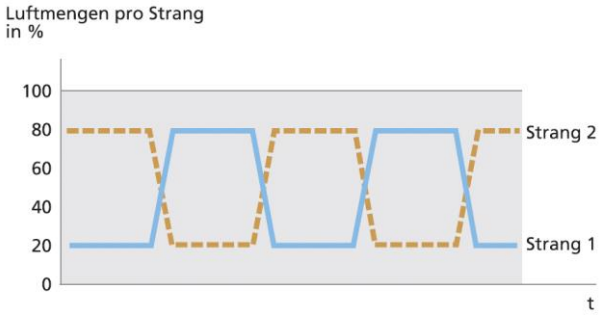
Keine stationären Strömungszustände, bessere Verteilung im Teillastbetrieb



Betrieb über Zuluftstrang 1 und Abluftstrang 2 (Phase 1 des instationären Betriebs)



Betrieb über Zuluftstrang 2 und Abluftstrang 1 (Phase 2 des instationären Betriebs)



Schaltzustände im instationären vollständigen Umschaltbetrieb

Zukunft in der Raumlufttechnik

Künftige Gebäude werden einen **Kühlbedarf** von **maximal 40-50 W/m²** aufweisen (dürfen).

Anteil der Raumlast , der durch Lüftungs-/Klimaanlage durch kühle / warme Raumluft gedeckt wird:

Annahme: q = 5m³/h m² (ca. 1,5 – facher Luftwechsel)

Kühlbetrieb: $Q = q \times \rho \times c_p \times \Delta t = (5 : 3.600) \times 1{,}2 \times 1{,}006 \times \Delta t$

bei $\Delta t = 12$ K $Q_k = 20$ W/m², **Unterdeckung an Kühlleistung etwa 20 – 30 W/m²**

Der Restbedarf an Kühlleistung muss durch ergänzende, sekundäre Systeme gedeckt werden.

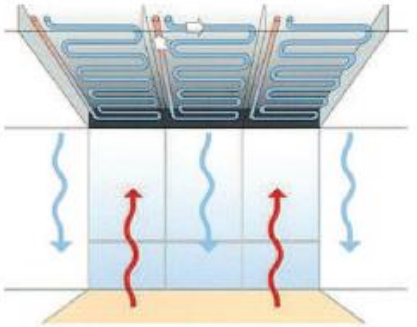
Zukunft in der Raumlufttechnik

Ergänzende sekundäre Systeme

- Flächentemperierung

  (Betonkerntemperierung, Kühldecken

- PCM – Materialien (**P**hase **C**hange **M**aterial)



- VRF- und Fancoilsysteme

Wichtige Beziehungen in der Luftförderung

Leistungsbedarf des Ventilators

Der Leistungsbedarf P in kW an der Ventilatorwelle ist das Produkt aus dem Volumenstrom $\dot{V}$ in m³/s und der Gesamtdruckdifferenz p in Pa, dividiert durch den Ventilatorwirkungsgrad η

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$$

Anlagenkennlinie

Eine Anlagenkennlinie hat die Form einer Parabel:

$$\Delta p = C \cdot \dot{V}^2$$

Ist in einer bestehenden Anlage der Betriebspunkt Δp, $\dot{V}$ des Ventilators bekannt, so kann man den Anlagenkennwert C und somit die Anlagenkennlinie berechnen.

Bestandteile einer RLT- Anlage, Gerätegehäuse

Das Gerätegehäuse hat der EN 1886(07/2009) zu entsprechen. Prüfung vom deutschen TÜV.

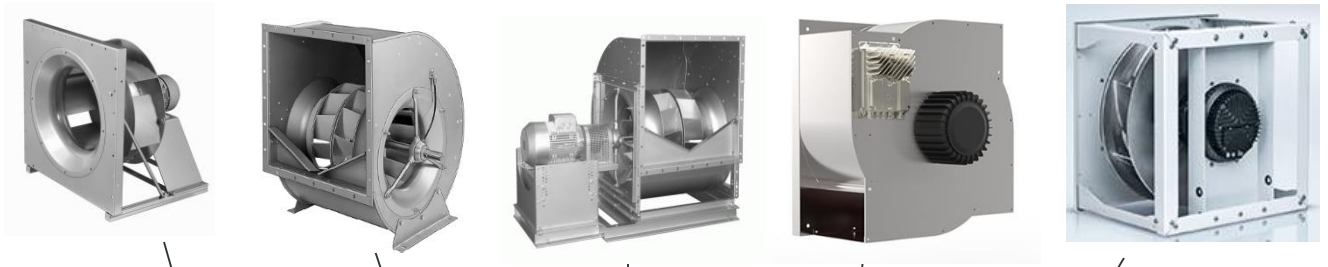
- Wärmebrücken **TB2**
- Wärmeverlust **T2**
- Luftdichtheit **L1**
- Durchbiegung **D1**

Daten für Innenaufstellung, Paneelstärke 35mm

Bauteile eines RLT- Gerätes, Ventilatoren

Ventilatorentypen für Einbau in RLT - Geräte
Optimierter Energieverbrauch

Erreichbare Systemwirkungsgrade, Vergleich unterschiedlicher Antriebssysteme



EC-Technik

	RLM	RZR	RZM	RQM	K3G
Luftmenge bis (m³/h)	120.000	80.000	105.000	45.000	30.000
η Aerodynamisch statisch	70	77	77	76	70
η Riementrieb (%)	-	92 - 97	-	-	-
η Motor (%)	85 - 92	85 - 92	85 - 92	90 - 95	70
η FU (%)	ca.95	ca.95	ca.95	ca.95	-
η System (%)	56 - 61	57 - 65	62 - 67	bis 78	50 - 60

Einfluss Ventilator/Antrieb

$$P_e = q \cdot \Delta p \,/\, (\eta_{Ventilator} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Riementrieb} \cdot \eta_{Frequenzumformer} \cdot \eta_{Einbau})$$

q	Luftvolumenstrom
Δp	Gesamtpressung Gerät/Kanalsystem
$\eta_{Ventilator}$	Wirkungsgrad Ventilator
η_{Motor}	Wirkungsgrad Motor
$\eta_{Riementrieb}$	Wirkungsgrad Riementrieb
$\eta_{Frequenzumf.}$	Wirkungsgrad Frequenzumformer
η_{Einbau}	Wirkungsgrad Einbausituation RLT-Gerät

►**bekannte Optimierungspotentiale**

Bestandteile einer RLT- Anlage, Filter

Filter in der Klimatechnik haben die Aufgabe Teilchen und gasförmige Verunreinigungen aus der Luft auszuscheiden.

Die häufigsten Filter sind Faserfilter in *Taschenform*.

Wir kennen heute das Kunstfaser- und Glasfasermedium. Man unterscheidet im wesentlichen drei Klassen:

- Grobstaubfilter – zum Komponentenschutz u. als Vorfilter
- Mediumfilter – zum Komponentenschutz u. als Vorfilter
- Feinstaubfilter – zum Reinigen der Atemluft

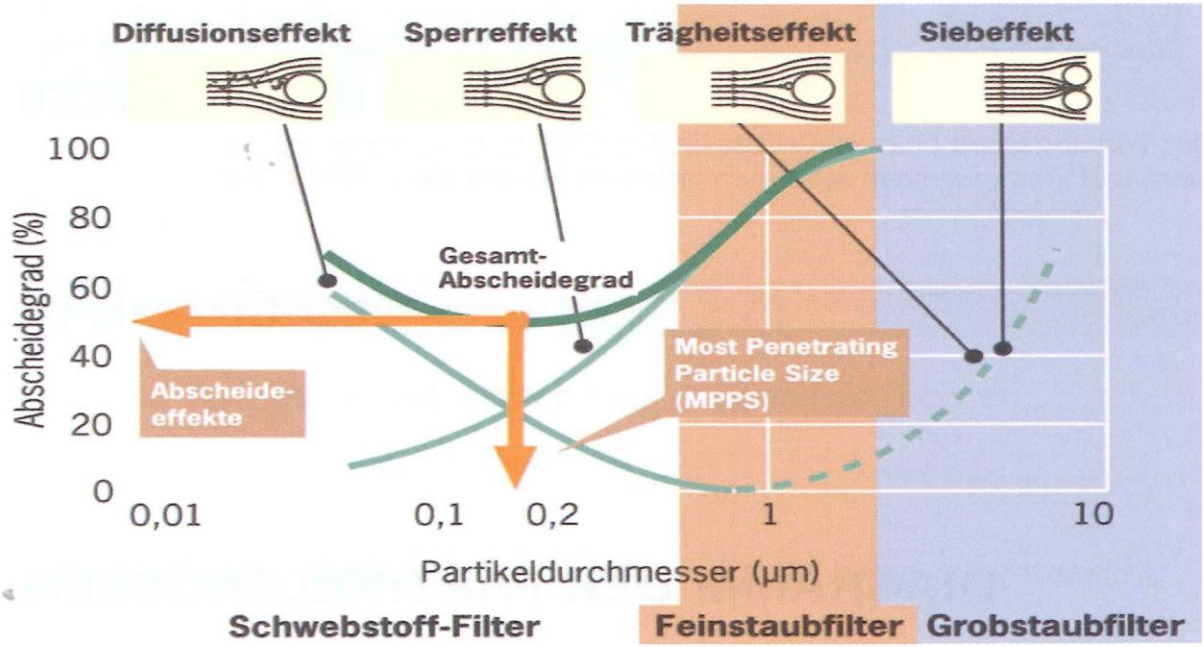
(Bezeichnungen noch 2017 gültig !)

- Schwebstoffilter – Operationsräume, Chip-Herstellung etc. (EN 1822)

Hygiene: *Die Atemluft wird heute mit dem F7-Feinstaubfilter gefiltert (EN16890 – ISO ePM$_{2,5}$) . Der Filter (1. Filterstufe) wird jährlich, oder nach dem Druckverlust gewechselt. Filter sollten nicht längere Zeit feucht (nass) sein.*

Bestandteile einer RLT- Anlage, Luftfilter

Abscheideeffekte von Luftfiltern

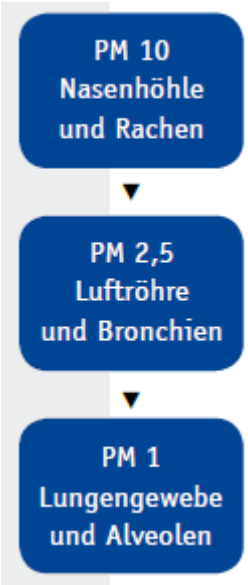


Die Fähigkeit eines Filters, Partikel aus der Luft abzuscheiden, hängt vorrangig von verschiedenen physikalischen und mechanischen Phänomene wie dem Diffusions-, Sperr-. Trägheits- sowie dem Siebeffekt ab. Die Abscheidegradkurve eines Luftfilters hat eine charakteristische V-Form, aus der sich der minimale Abscheidegrad erkennen lässt. Diesen minimalen Abscheidegrad entspricht eine MPPS-Größe (MPPS = Most Penetrating Particle Size, Größe des Partikels mit der höchsten Penetrationsfähigkeit). Anders ausgedrückt ist die MPPS die Partikelgröße, die sich am schwersten abscheiden lässt. Je nach Filter und Luftströmungsgeschwindigkeit im Filtermedium liegt die MPPS zwischen 0,1 und 0,2 µm.

Luftfilter ISO 16890 - 1

FEINSTAUB

- ALS FEINSTAUB WERDEN TEILCHEN MIT EINEM DURCHMESSER BIS ZU 10 µm BEZEICHNET



Luftfilter ISO 16890 – 1 statt EN 779 (2012)

ISO 16890-1

- ANFORDERUNGEN

Gruppe	Mindestanforderung
ISO Coarse	ISO $ePM_{10} \geq 20\,\%$
ISO ePM_{10}	ISO $ePM_{10} \geq 50\,\%$
ISO $ePM_{2.5}$	ISO $ePM_{2.5}$ entladen $\geq 50\,\%$
ISO ePM_{1}	ISO ePM_{1} entladen $\geq 50\,\%$

- FAHRPLAN

Luftfilter ISO 16890 – 1 statt EN 779 (2012)

ISO 16890-1

- EMPFEHLUNG SWKI

Bisher	Neu
M5	ISO $ePM_{10} \geq 50\,\%$
F7	ISO $ePM_{2.5} \geq 65\,\%$ oder ISO $ePM_{1} \geq 50\,\%$
F9	ISO $ePM_{1} \geq 80\,\%$

- AUSBLICK
  - → FILTERHERSTELLER BENÖTIGEN NEUEN TESTAUFBAU
  - → FILTERTYPEN WERDEN GEMÄSS ISO 16890-1 GEMESSEN
  - → FILTERBEZEICHNUNG ePM1 BIS ePM10 IN 2. JAHRESHÄLFTE 2017

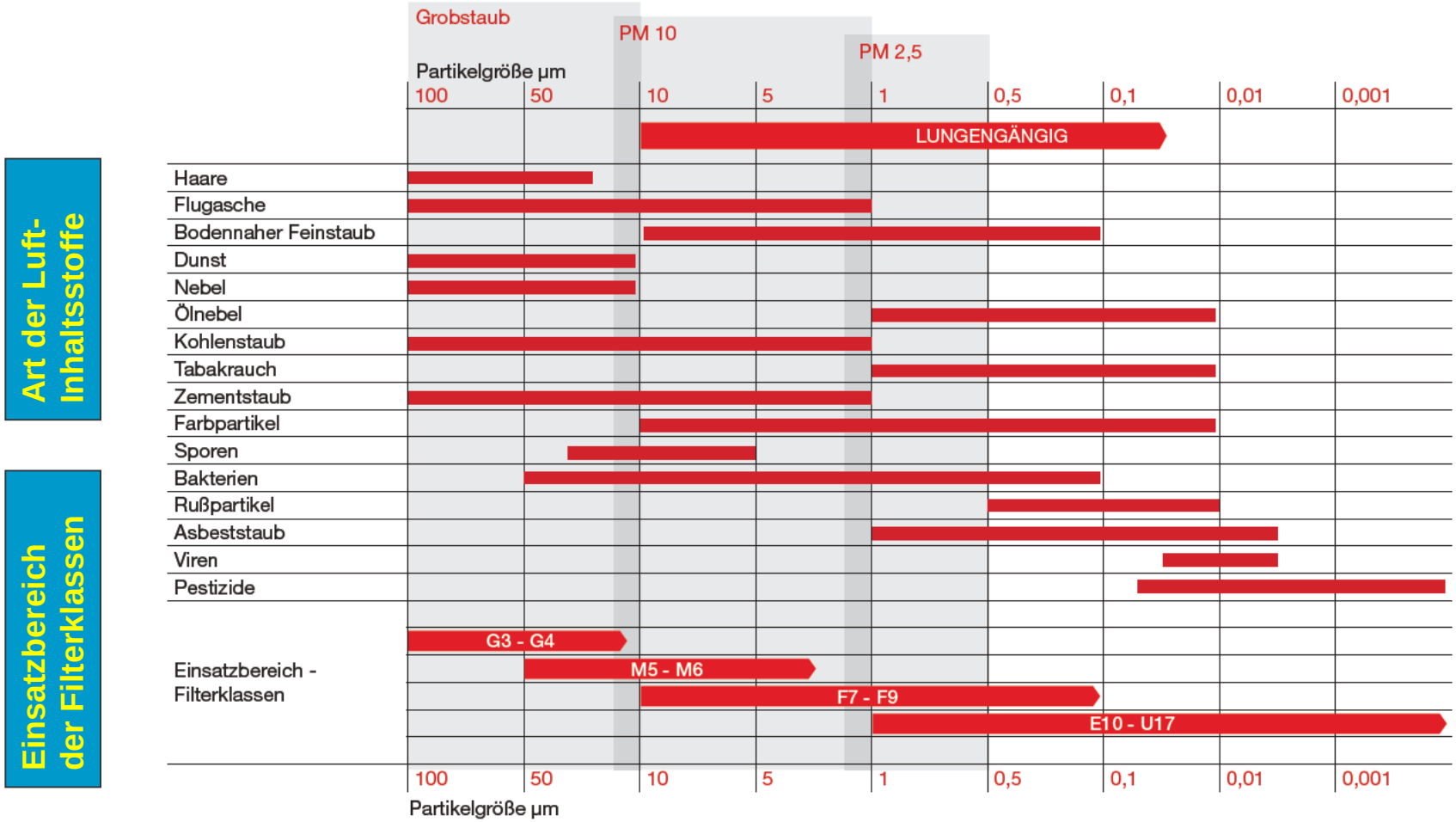
Luftfilter ISO 16890 – 1 statt EN 779 (2012)

ISO 16890-1
- VERGLEICH

	EN 779:2012	ISO 16890
Bezugsgröße Partikel für Klassifizierung	• 0,4 µm	• 0,3 bis 1 µm (PM1) • 0,3 bis 2,5 µm (PM2,5) • 0,3 bis 10 µm (PM10)
Test Aerosol	• DEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat)	• DEHS für 0,3 bis 1 µm • KCl (Kaliumchlorid) für 2,5 µm und 10 µm
Entladung mittels IPA (Isopropanol)	• Medienprobe in Tauchbad	• Bedampfung komplettes Filter
Wirkungsgrad entladenes Filter	• Vergleich Medienprobe und Filter	• Mittlerer Wirkungsgrad von behandeltem und unbehandeltem Filter
Staubbeladung für Klassifizierung	• Beladung stufenweise	• Klassifizierung ohne Beladung
Prüfstaub für ISO Coarse & Energie-Effizienz	• ASHRAE	• ISO fine
Staubaufgabe	• 70 mg/m³	• 140 mg/m³
Enddruckdifferenz der Prüfung	• G1, G2, G3, G4 – 250 Pa	• PM10 < 50 % – 200 Pa
	• M5, M6, F7, F8, F9 – 450 Pa	• PM10 ≥ 50 % – 300 Pa
Klassifizierung	• G1 bis G4	• ISO coarse
	• M5 bis M6	• ISO ePM10
	• F7 bis F9	• ISO ePM2.5
		• ISO ePM1

Bestandteile einer RLT- Anlage, Filter

Partikelgrössen und Filterklassen



Bestandteile einer RLT- Anlage, Filter

DIN EN 13779 Luftfiltration, Filterklassen gemäß EN 779 (bis 30.06.18)

Außenluftqualität	Raumluftqualität			
	IDA 1 (spezial)	IDA 2 (hoch)	IDA 3 (mittel)	IDA 4 (niedrig)
ODA 1 (saubere Luft)	F9	F8	F7	F5
ODA 2 (Staub)	F7+F9	M5+F8	M5+F7	M5+M6
ODA 3 (sehr hohe Konzentrationen von Staub oder Gasen)	F7+GF+F9	F7+GF+F9	M5+F7	M5+M6

- Auf Dichtheit der Gebäudehülle, der Luftbehandlungseinheiten achten. (DIN EN 1886 bezüglich Filter-Bypass-Leckage)
- Gasfilter (Aktivkohlefilter) sind mit F8 oder F9 Nachfiltern auszustatten (Achtung: relative Feuchtigkeit <80%)
- Hygienekriterien nach VDI 6022 einhalten

Ab 01.07.2018 neue Filterklassifizierung ISO 16890 !

Bestandteile einer Klimaanlage, Filter

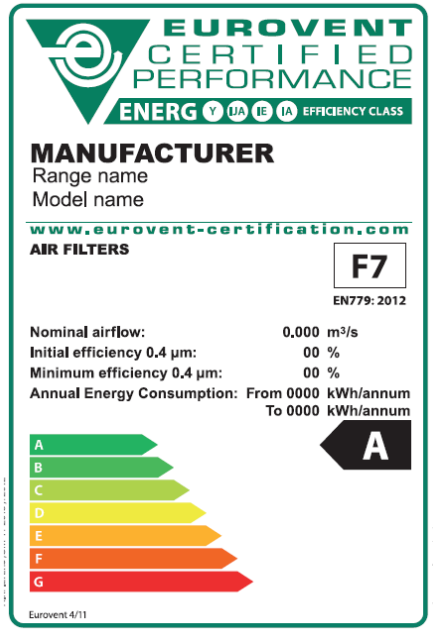
Taschenfilter

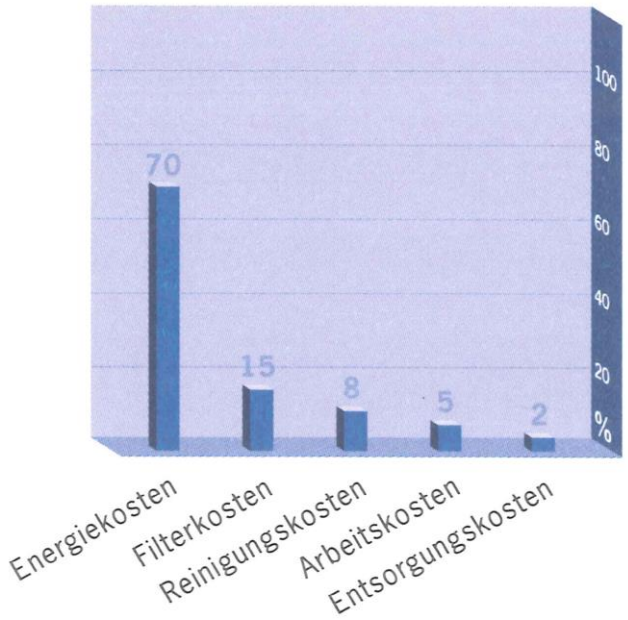
Hi-Flo F7

Kompaktfilter

Opakfil Green F7

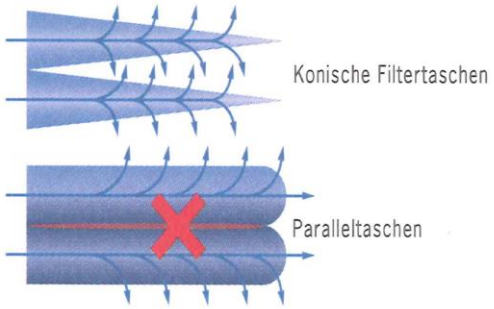
Energieeffizienzlabel





EUROVENT Zertifikat
= garantierte Filterqualität (jährliche Anpassung)

Bestandteile einer RLT- Anlage, Filter



Camfil Farr minimiert durch optimale Konstruktion den Energieverbrauch

Wieviel Energie verbraucht ein Luftfilter?

Filtervergleich, dp_{Anfang} 20Pa höher!

	BEISPIEL 1	BEISPIEL 2
Anfängliche Druckdifferenz (Pa)	105	125
Durchschnittliche Druckdifferenz (Pa)	160	194
Filter. Lohnkosten. Entsorgung. Reinigung.	55	55
Energie	105	128
Gesamt-LCC (Euro pro Jahr)	**160 Euro**	**183 Euro**

Taschenfilter F7 , 3400m³/h
Betriebsstd. 4000

Definition von Wärmerückgewinnung nach VDI 2071

Wärmerückgewinnung in lüftungstechnischen Anlagen ist eine Maßnahme zur Mehrfachnutzung der Enthalpie, deren Massen durch ein Gebäude bzw. durch einen Prozess strömen. Dazu werden Wärme austauschende Apparaturen genutzt.

Ziel: Minimierung des Primärenergieverbrauches, Reduktion des CO2 Ausstoßes.

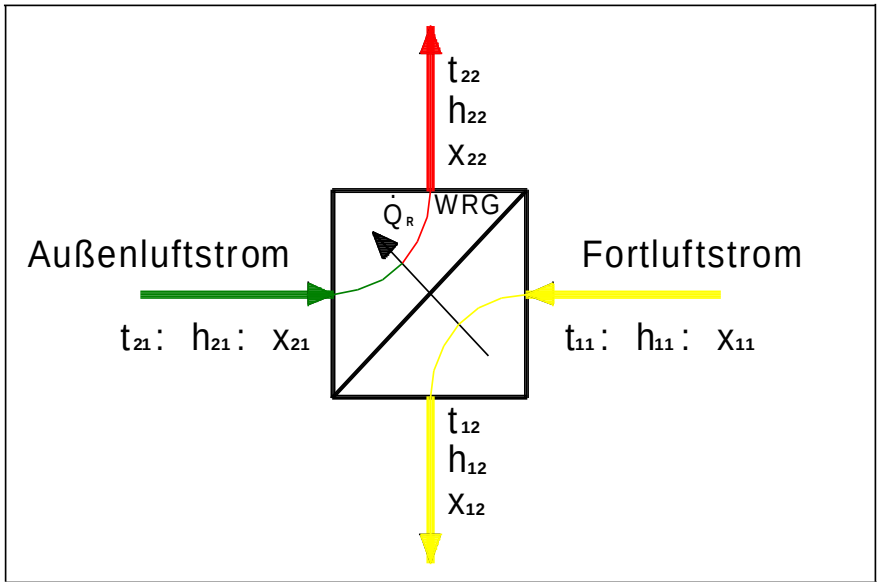
Prüfung der WRG – Systeme: ETH Luzern, nach EN 308 und VDI 3803/5 (Leckage von Rotoren bei $\Delta p = 20Pa$!)

Theorie zur Wärmerückgewinnung

- einfachste Form:
  - Mischen von Außen und Umluft
  - klassischer Umluftbetrieb
- allgemein:
  - Wärmeübertragung von Fort- und Außenluftenergieströmen in lüftungstechnischen Prozessen.
- Zuführung der „zurück gewonnenen Wärme“ zu einem Prozess.

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

Übertragungsgrade:



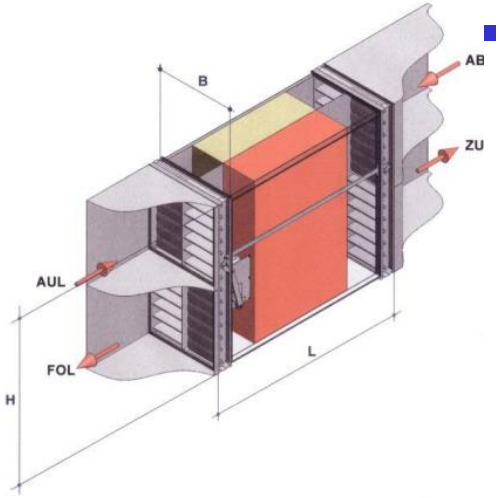
Rückwärmzahl Φ = Thermischer Wirkungsgrad

Benennung	bezogen auf Außenluftstrom (rückwärmeaufnehmende Seite)	bezogen auf Fortluftstrom (rückwärmeabgebende Seite)
Enthalpieübertragungsgrad	$\Phi_h = \frac{h_{22} - h_{21}}{h_{11} - h_{21}}$	$\Phi_h = \frac{h_{11} - h_{12}}{h_{11} - h_{21}}$
Temperaturübertragungsgrad oder Rückwärmezahl	$\Phi_t = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$	$\Phi_t = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}}$
Feuchteübertragungsgrad oder Rückfeuchtezahl	$\Phi_x = \frac{X_{22} - X_{21}}{X_{11} - X_{21}}$	$\Phi_x = \frac{X_{11} - X_{12}}{X_{11} - X_{21}}$

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

Regenerative Verfahren

- **Rotationswärmeübertrager**
  (mit langsam drehender Speichermasse)
  Wärmeübertragung (Feuchteübertragung) gut regelbar
  Selbstreinigungseffekt Rückwärmzahl 70-85 %.
  Geringer Druckverlust (Umgehung mit Bypass)
  Leckluftmenge berücksichtigen (Ventilatoranordnung)
  bei großen Luftmengen das bevorzugte System.



- **Accubloc**
  Wärmeübertragung (Feuchteübertragung)
  Rückwärmzahl bis 95 %
  Mischluft (Umluftanteil)
  Aufwendiges Klappensystem
  teuer, für mittlere Luftmengen (~4.000 – 50.000m³/h)
  Nachwärmer kann je nach HT-System entfallen

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

Rekuperative Verfahren

- **Plattenwärmeübertrager**
  Luftströme getrennt, einfach regelbar durch Bypass,
  betriebssicher, geringer Wartungsaufwand,
  sehr wirtschaftlich bei mittleren Luftmengen
  Luftströme über oder nebeneinander
  Rückwärmzahl 60 - 75 %, TWIN 85 %,
  Einfrierthermie beachten.

- **Glattrohrwärmeübertrager**
  (Glas- oder Edelstahl)
  Rückwärmzahl 50 %
  Einsatz bei Prozessluft (Küchen, Industrie)
  teuer, großer Platzbedarf,
  bei Glasrohr hohes Gewicht.

Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen

Plattentauscher mit Wärme- und Feuchte - Rückgewinnung

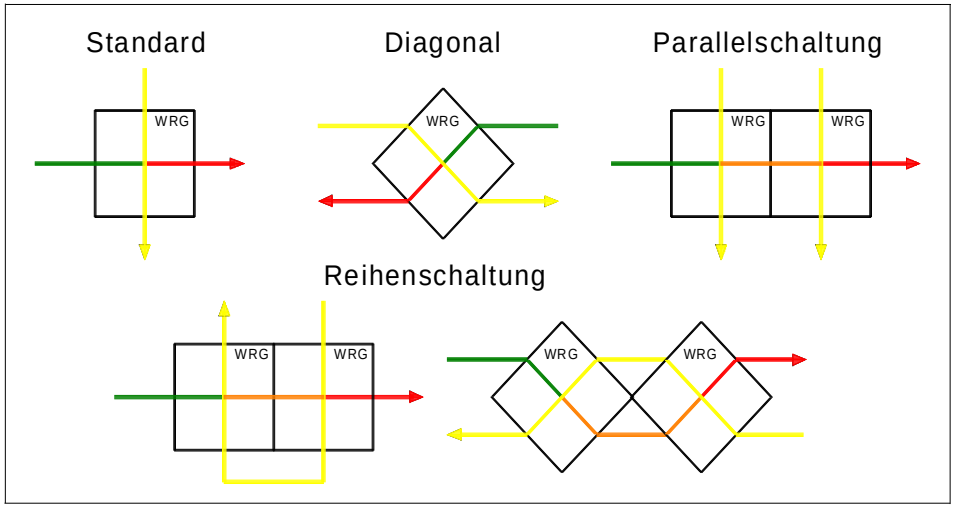
-Übertragung von Feuchtigkeit und Wärme (Enthalpie) durch Polymer – Membrane
-Einsparung an Befeuchterleistung
-Dicht gegen Keime, Bakterien und Gerüche
-Friert im Normalbetrieb nicht ein
-Erfüllt die Hygienerichtlinie VDI 6022 (Membrane ist antimikrobiell)

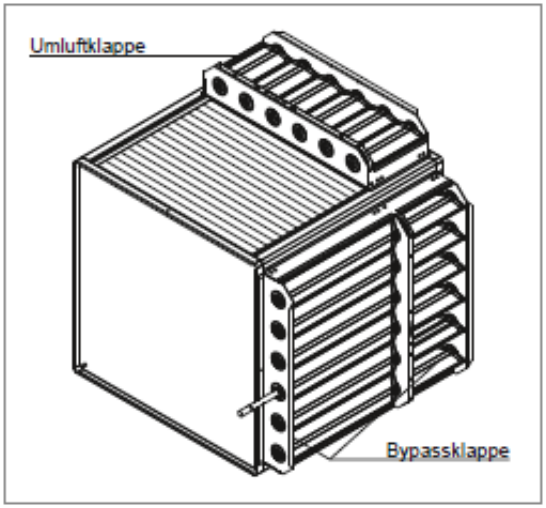
Auslegungsgrundsätze: Rekuperatoren

- strenge hydraulische Trennung ➡
- diverse Verschaltungen möglich

Bauform

Leistungsregelung
mit Bypassklappenregelung

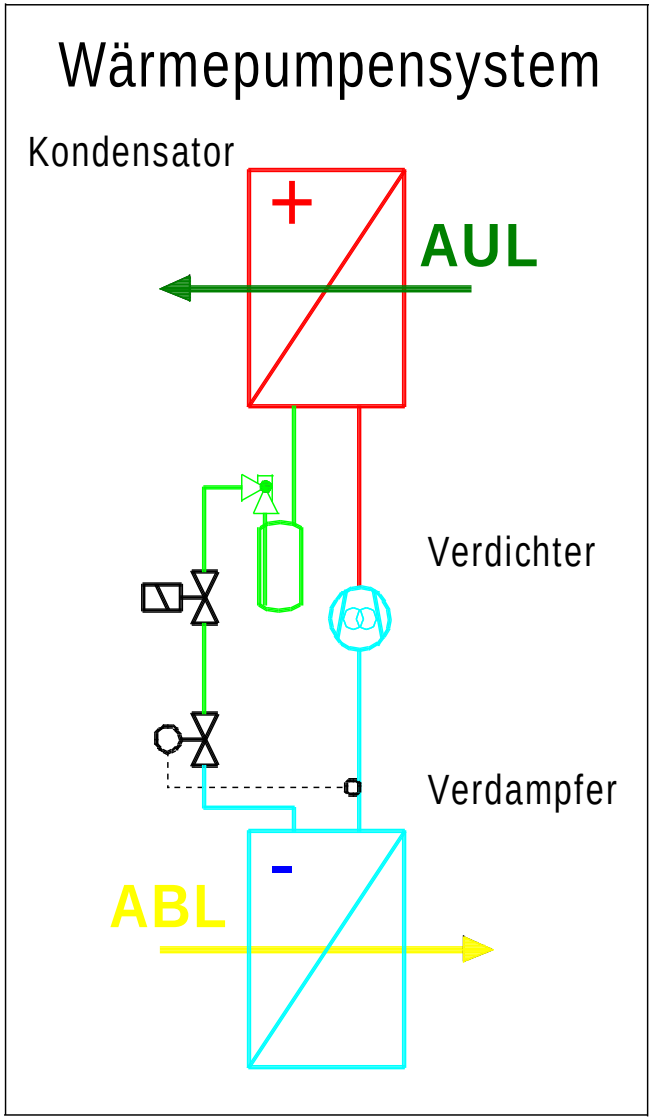




Auslegung im Bezug auf Übertragungsgrad und Druckverlust

- Bezugsgröße: Volumenstrom, (Größe)
- Auslegungsdiagramme

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

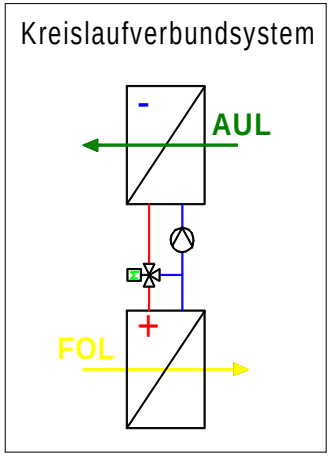


Wärmepumpensysteme

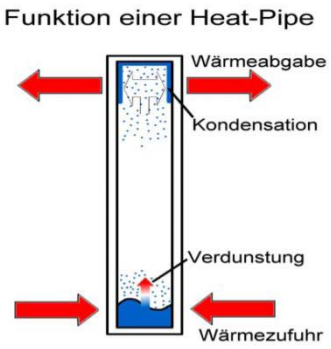
- Luftströme getrennt
- höheres Temperaturniveau durch Kompression
- Medien unterschiedlich (L / L),(W / W),(L / W),(W / L)
- Energie verschiebbar (speicherbar)
- Umschaltbar von heizen auf kühlen

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

Indirekte rekuperative Verfahren

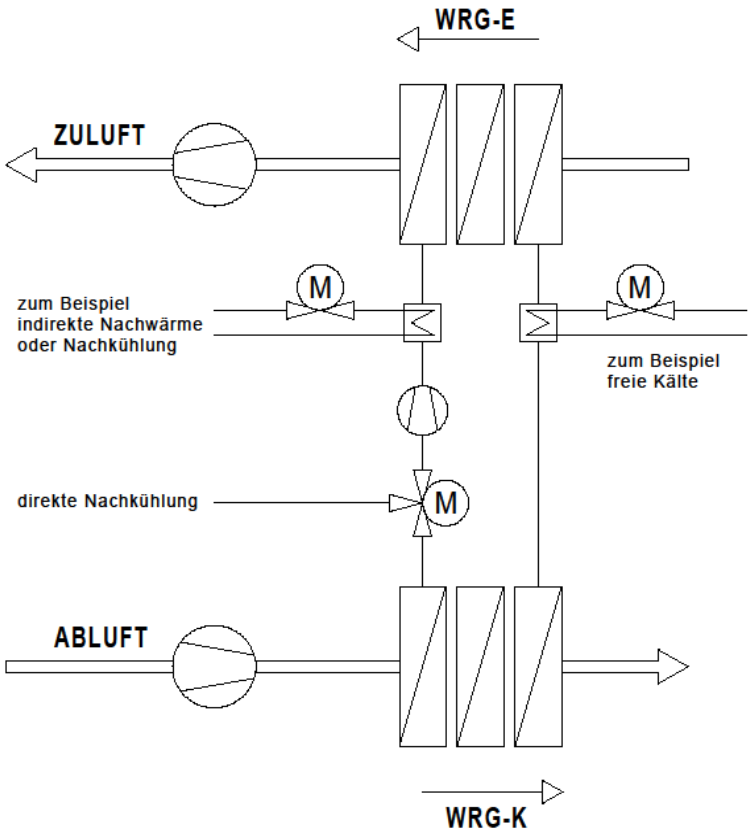


- **Kreislaufverbundsystem (KVS)**
  Außen- und Abluftströme getrennt,
  geringe Baulänge, hoher luftseitiger Widerstand,
  hoher wasserseitiger Widerstand, regelbar,
  Übertragungsgemisch 5-jährlich prüfen
  Standard: Rückwärmzahl bis 60 %, (ab 01.01.2018 min.68%)
  Sonder: Rückwärmzahl bis 75 %, (12/16/18 RR)
  sehr teuer



- **Wärmerohr**
  Geringer Platzbedarf in der Baulänge (kurze Bauform)
  Außenluft- zum / Abluftstrom übereinander
  nur Außenlufterwärmung (keine Sommerfunktion)
  hoher luftseitiger Druckverlust, Regelung mit Bypass
  Rohre mit Kältemittel gefüllt, bis mittlere Luftmengen
  Rückwärmzahl 50 %, einfache Komponente.

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen



Hochleistungs-WRG-System (KVS-System)

- Systemwirkungsgrad bis 80%
- Einspeisung von Wärme und Kälte in das System (Umlaufstrom). Direkte oder indirekte Einspeisung.
- Freie Kälte, Kondensatorwärme ein bindbar.
- Reduktion der luftseitigen Druckverluste
- Reduzierte Investitionskosten
- Hohe Anforderung an das Regel-System

Wärmerückgewinnung in RLT - Anlagen

Tabelle A10: Klassifizierung der Wärmerückgewinnung (DIN EN 13053)

Klasse	Energieeffizienz $\eta_{e\ 1:1}$
H 1	≥ 71
H 2	≥ 64
H 3	≥ 55
H 4	≥ 45
H 5	≥ 36
H 6	keine Anforderung

$$\eta_e = \eta_t \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)$$

η_e [%] Energieeffizienz

η_t [%] Temperaturübertragungsgrad unter trockenen Bedingungen

ε [-] Leistungsziffer

Die Werte gelten für ausgeglichene Massenströme (1:1). Empirische Formel bei nicht abgeglichenen Massenströmen:

$$\eta_t = \eta_{t\,1:1} \cdot \left(\frac{Massenstrom\ Abluft}{Massenstrom\ Zuluft}\right)^{0,4}$$

$$\varepsilon = Q_{WRG} / P_{el}$$

Wärmerückgewinnung in RLT- Anlagen

Weitere Rückwärmzahlvorgaben:

- **Passivhausinstitut Darmstadt**

  Wärmebereitstellungsgrad > 75 % (inkl. Ventilatorenergie)
  (bei ungeprüften Geräten > 80 %)

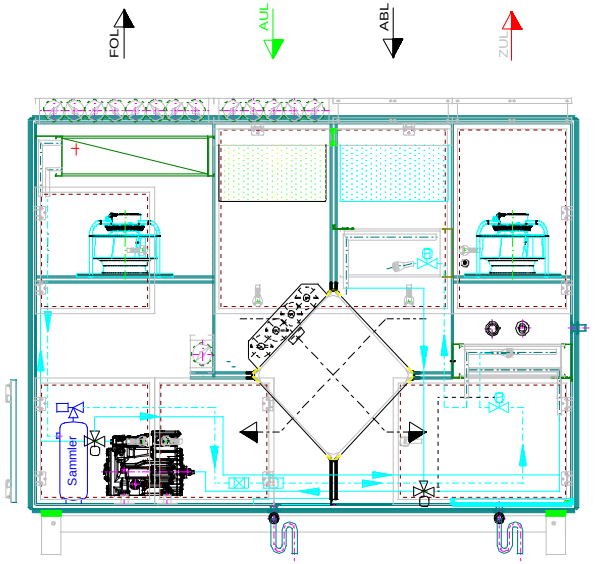
- **Zürichnorm 01.01.2009 (SIA 382/1)**

  BRV 1
  Rückwärmzahl Zuluft bei $m_1 / m_2 = 1$ ή > 75 %

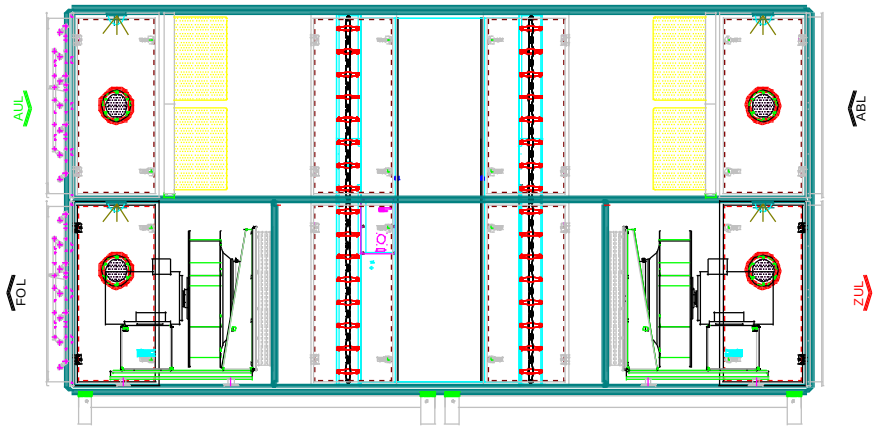
- **Jahresnutzungsgrad**
  Energieverbrauch (zurückgewonnene Energie) zur aufgenommenen Energie (Druckverluste und Antriebsenergie) über das Jahr.

RLT- Geräte / Wärmerückgewinnung

Kreuzstrom-Plattentauscher Φ ≥ 67%



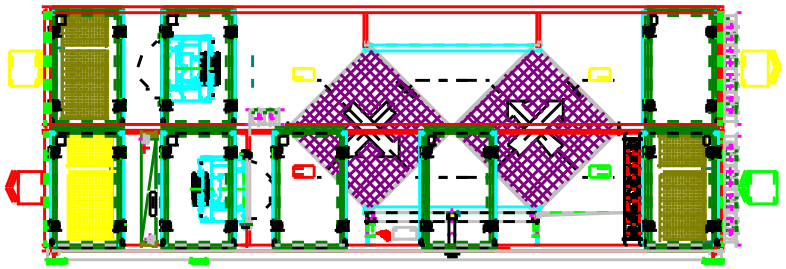
Akkublock umschaltbar Φ 90 – 95%

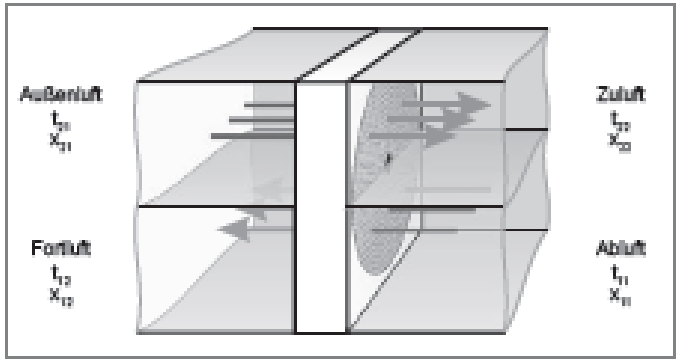


Φ

Rotationswärmeübertrager Φ ≥ 75%

Twin-Kreuzstrom-Plattentauscher Φ ≥ 75%

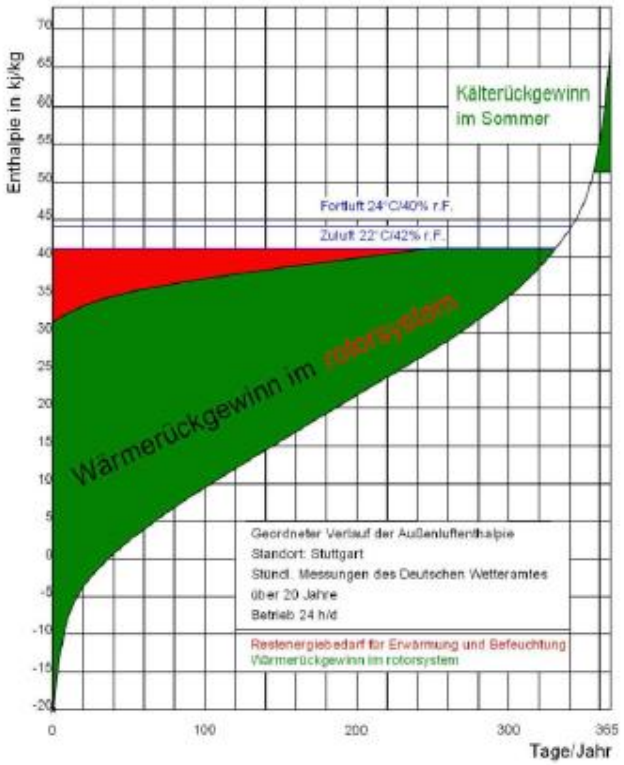




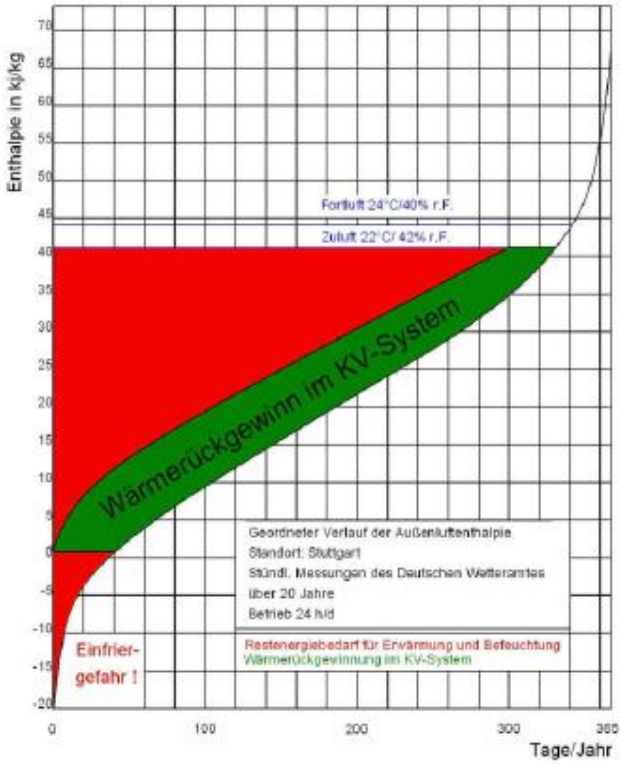
Reduktion der Befeuchterleistung durch Feuchterückgewinnung

Die Leistungsziffer als neue Kennzahl der Energie - Effizienz

Wärmerückgewinn im Jahresverlauf



Rotationswärmetauscher



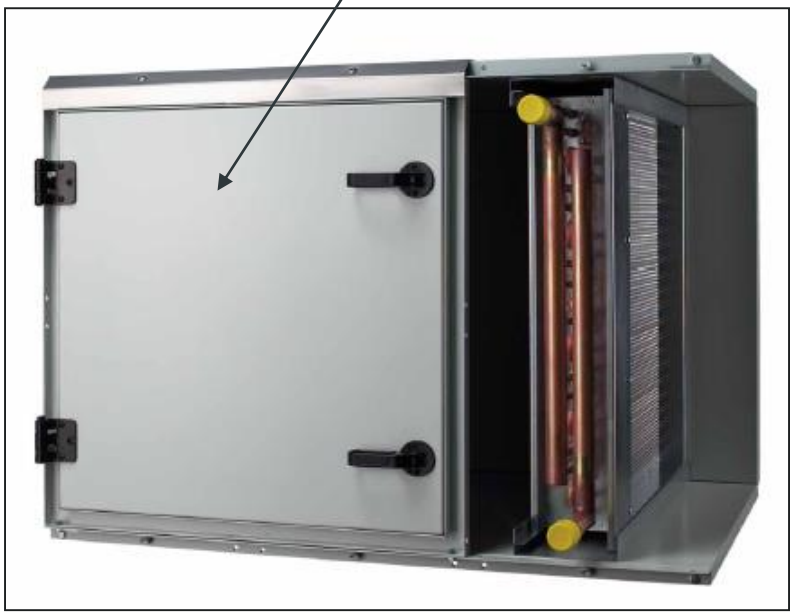
KV-System

RLT- Geräte / Luftkühler, Lufterhitzer

Lamellenrohr-Wärmeübertrager

Rohre Kupfer, Lamellen Aluminium

Revisionsteil zwischen den Bauteilen



Der Luftkühler entzieht der Luft Wärme

- Wasser-Luftkühler
- Kältemittel-Luftkühler (Direktverdampfer)

Meist ist die Anzahl der Rohrreihen 4, 5 od. 6.

Um die Reinigbarkeit zu erhöhen, ist der Lamellenabstand min. 2,5mm.

Der Warmwasser-Lufterhitzer erwärmt die Luft

Bei Anzahl der Rohrreihen 1 bis 3,

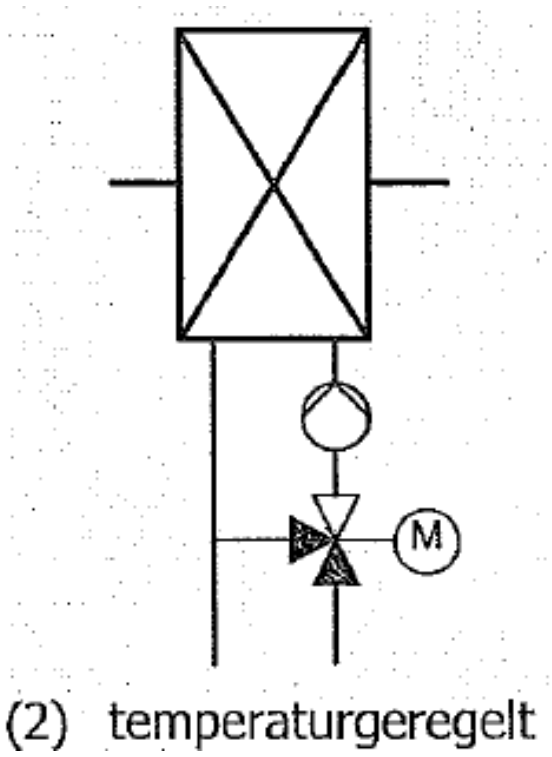
Lamellenabstand min. 2,1mm

RLT- Geräte / Luftkühler

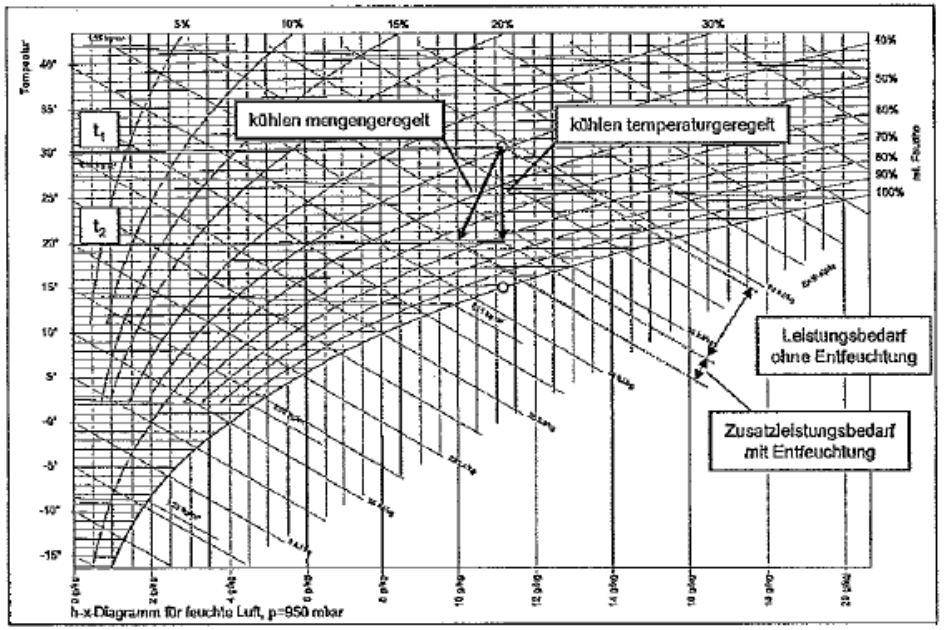
Kühlen der Luft ohne gewünschte Entfeuchtung

Kühlmittel Wasser oder Sole

- **Luftzustandsänderung - kühlen:**



(2) temperaturgeregelt



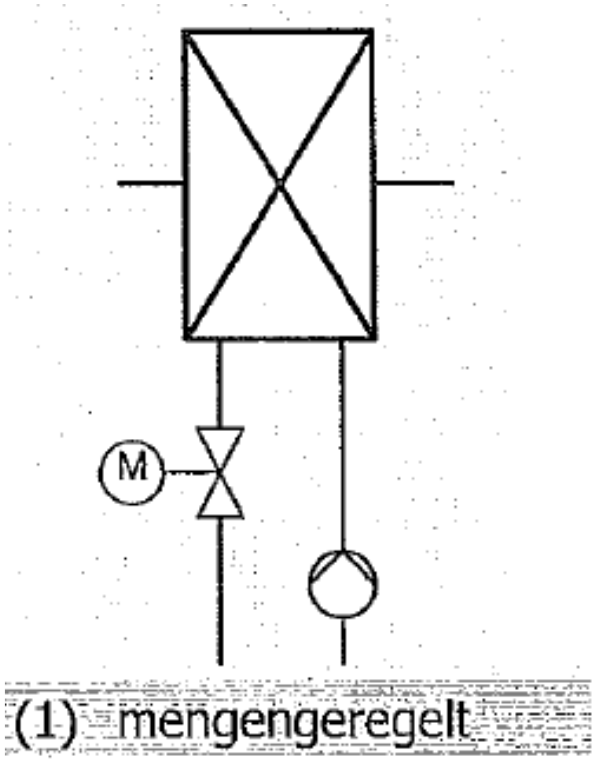
Geringere Kälteleistung erforderlich da der latente Anteil gering ist.

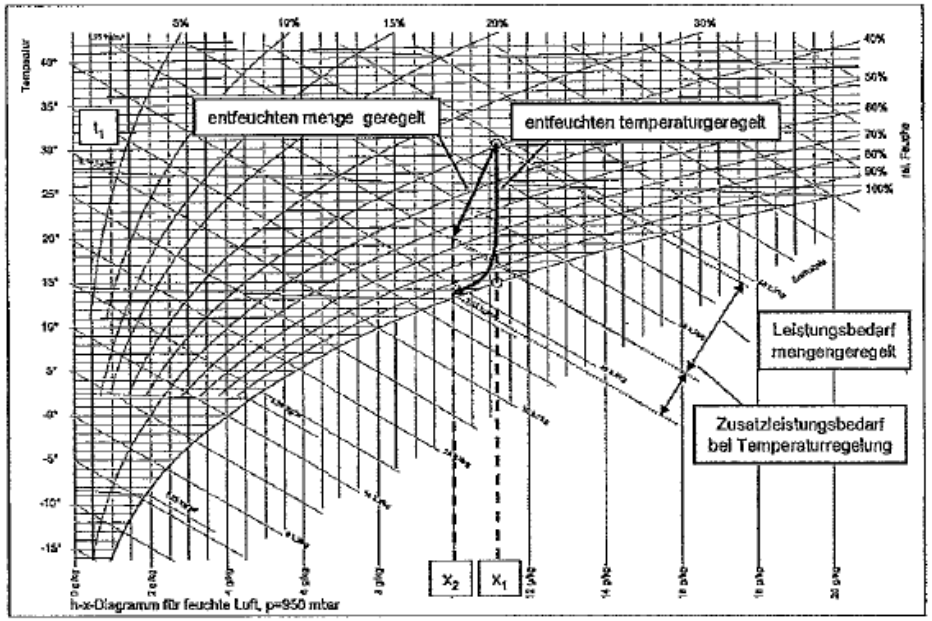
RLT- Geräte / Luftkühler

Entfeuchten der Luft

Kühlmedium Wasser oder Sole

- **Luftzustandsänderung - entfeuchten:**



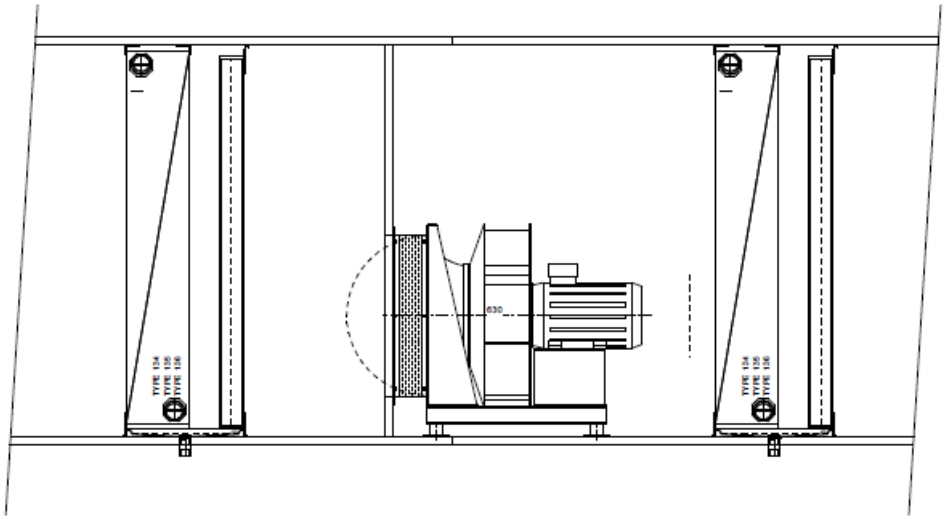


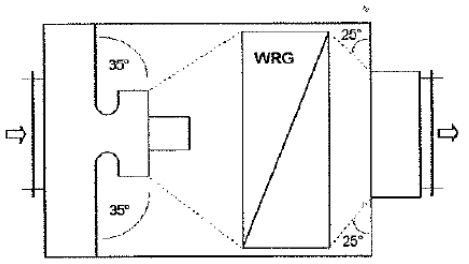
Bei mengengeregelten Kühlern liegt am Kühlereintritt (wasserseitig) immer Kaltwasser mit der niedrigsten Vorlauftemperatur vor.

RLT- Geräte / Luftkühler

Welches ist die richtige Kühleranordnung?

Wann wählen Sie welche Anordnung?





RLT- Geräte / Schalldämpfer

Der Kulissenschalldämpfer hat die Aufgabe, Ventilatorgeräusche zu dämpfen.

Die Kulissen wirken schallabsorbierend. Sie müssen mechanisch stabil, abriebfest und feuchtigkeitsabweisend sein.

Anordnung bei der Schallquelle.

Mineralwolle nicht verstoffwechselbar!

- Absorbtionsdämpfer
- Resonanzdämpfer (bei niedrigen Frequenzen besonders wirksam)
- Absorbtions/Resonanzdämpfer

Der Schalldämpfer gehört zur Schallquelle!

RLT- Geräte / Luftbefeuchtung

Die richtige Luftfeuchtigkeit ist wichtig für: - Lebewesen und Pflanzen

- Produktion und Lagerung

<u>Die optimale Feuchte für die menschl. Gesundheit</u>

Bei Influenzaviren ist die absolute Feuchtigkeit entscheidend.

Diese ist im Winter in der AUL überwiegend niedrig. (zu niedrig)

<u>Die ideale Feuchte im Aufenthaltsbereich</u>

Quelle: Sterling ASHRA 1985

RLT- Geräte / Befeuchtungssysteme

- **Dampfbefeuchter** (Heißdampf)
  - Fremddampf
  - Eigendampf
- **Hybrid-Luftbefeuchter (Condair DL)**
- **Adiabate Hochdruckbefeuchter** (HDS 80bar, LPS 16bar)
- **Kontaktbefeuchter** (Wabe T= 96mm)
- **Luftwäscher (Sprühbefeuchter)** Industrie

Dampfbefeuchter

Fremddampf

Eigendampf

- Elektrisch
- Gas

Kontaktbefeuchter

- Zuluftbefeuchtung
- Adiabatische Abluftbefeuchtung (Kühlung)

Funktionsprinzip.
- der bösch **Kontaktbefeuchter** arbeitet nach dem **Verdunstungsprinzip**
- es wird kein Wasser in die Luft versprüht
- kein Austrag von Aerosolen (und Keimen) in die Raumluft

Anwendung.
- zur **Luftbefeuchtung** in Büros, Banken, Schulen, Bibliotheken, Altenwohnheimen u.ä.
- zur **adiabatischen Abluft-Kühlung**

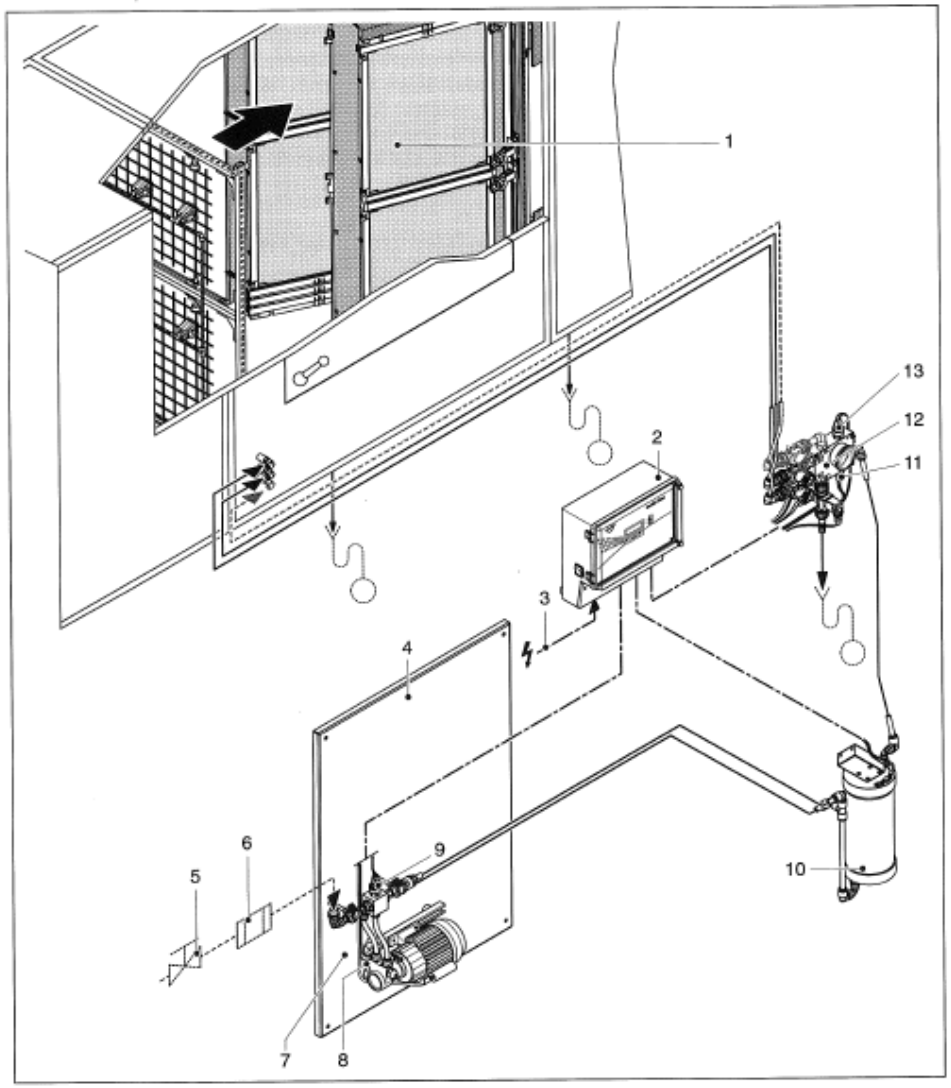
Vorteile.
- **optimale Wirtschaftlichkeit** (geringe Investitions- und Betriebskosten, kein VE-Wasser)
- **Regelung** auf den Einsatzfall angepasst
- **lange Lebensdauer, sicherer Betrieb** (robuste und unkomplizierte Komponenten)
- **einfache Wartung, gute Zugänglichkeit** zu allen Bauteilen

Hygiene.
- der **bösch Kontaktbefeuchter** ist auf Grund seiner Funktion und Ausführung **für den Einsatz in raumlufttechnischen Anlagen nach VDI 6022** geeignet

Hybrid-Luftbefeuchter

hygienische Befeuchtung der Zuluft

1 Befeuchtereinheit
2 Steuergerät
3 Elektroanschlüsse (Spannungsversorgung, Regel- bzw. Sensorsignaleingang, Anschluss externe Sicherheitskette)
4 Druckerhöhungseinheit
5 Absperrventil (bauseitig)
6 Filter (bauseitig, max. Maschenweite 0.125 mm)
7 Anschluss VE-Wasser (G 1/2")
8 Übertemperaturschalter Pumpe
9 Minimaldruckschalter Permeat
10 Silberionisierung
11 Leitwertsensor Permeat
12 Anschlussbox
13 Maximaldruckschalter Permeat

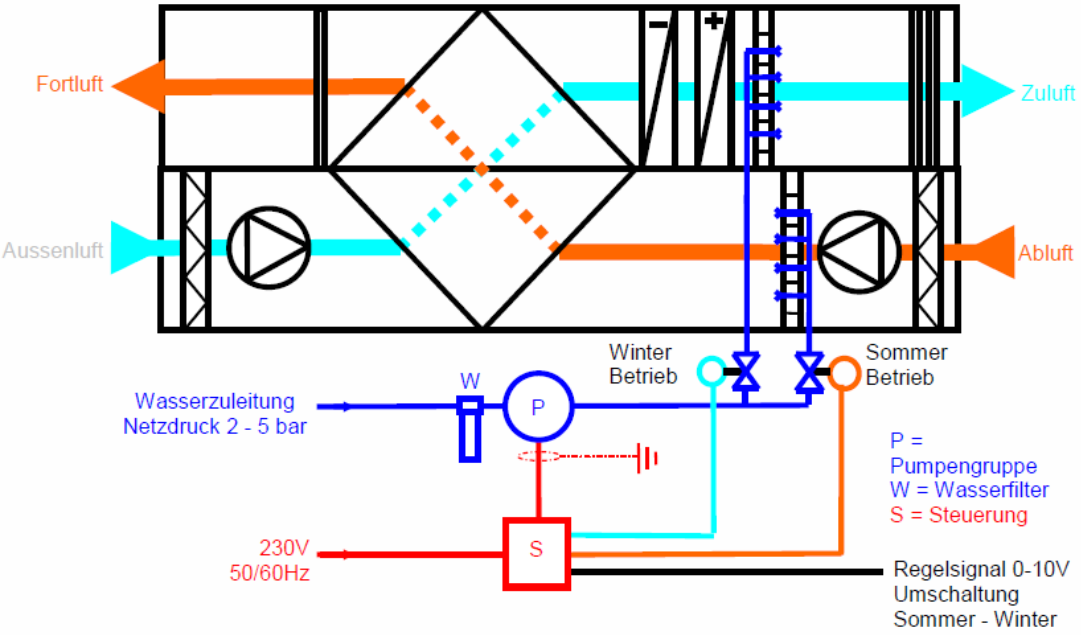


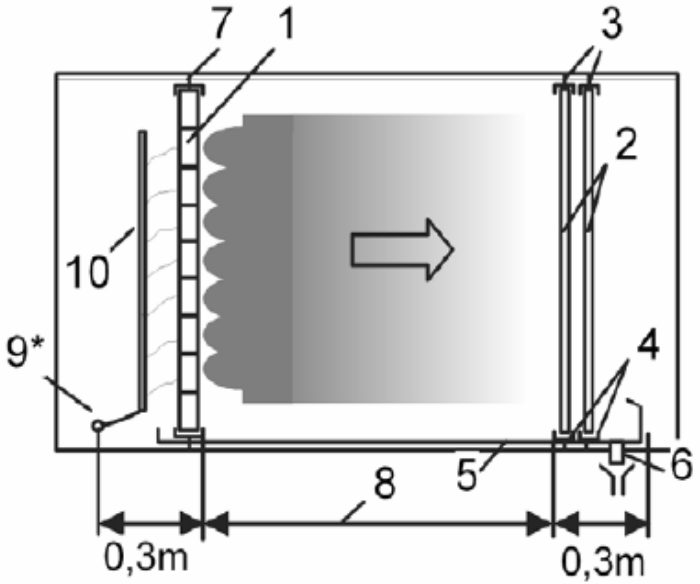
adiabatischer Hochdruckbefeuchter

Zuluftbefeuchtung

adiabatische Abluftbefeuchtung

- ***Im Winter – Befeuchten***
- ***Im Sommer - Kühlen***





1: Vortex-Modulwand mit Sprühsystem

2: Tropfenabscheider

3: obere Führungsschienen Tropfenabscheider

4: untere Führungsschienen Tropfenabscheider

5: Sammelwanne

6: Ablauf mit Siphon

7. Führungsschienen Vortex-Modulwand

8. Befeuchterstrecke >=0,9m

9. Zwei Kabelverschraubungen M32 (bei Teil-/ Volllastschaltung) für Durchführung Hochdruckschläuche. *: In der Standardausführung wird nur eine Kabelverschraubung benötigt.

10. Verteilerrohr

RLT- Geräte / Klappen

Die Aufgabe der Klappe ist es den Luftstrom zu steuern, oder den Luftweg abzuschließen (Drosselung, Absperrung).

Klappen mit gegenläufigen Lamellen mit Gestänge oder Zahnradantrieb, außerhalb des Luftstromes, Dichtheitsklasse T2.

In Krankenhäusern sind **dichte** Klappen notwendig, DIN 1946 T4

Anmerkung:

Brandschutzklappen werden dort eingebaut wo Kanäle durch Brandabschnitte führen.

RLT-Richtlinie, Ausgabe Januar 2016
Label Energieeffizienzklassen:

Die Energieeffizienzklasse „A“ entspricht der EU – Verordnung 1253/2014
Ecodesign – Richtlinie 2016
RLT – Label.“

Stufe 1 ab 01.01.2016

Stufe 2 ab 01.01.2018
Nur noch Energieeffizienzklasse „A+“ zulässig

Einteilung der RLT-Geräte nach Effizienzklassen

Eurovent / Herstellerverband Raumlufttechnische Anlagen e.V.

Kriterien / Effizienzklassen	A+	A	B
Geschwindigkeitsklassen			
- ohne thermische Luftbehandlung	V5	V6	V7
- mit Lufterwärmung	V4	V5	V6
- mit weiteren Funktionen und Luftmengen	V2	V3	V5
Elektrische Leistungsaufnahme P_{input}	P2	P3	P4
Wärmerückgewinnungsklasse EN13053	H1	H2	H3

DIN EN 13053 Komponenten und Baueinheiten

Klassen der Luftgeschwindigkeitswerte über den Nettoquerschnitt des RLT-Gerätes.

Klasse V5	2,2 bis 2,5 m/s
Klasse V4	> 2,0 bis 2,2 m/s
Klasse V3	> 1,8 bis 2,0 m/s
Klasse V2	> 1,6 bis 1,8 m/s
Klasse V1	< 1,6 m/s

DIN EN 16798 - Klassifizierung

Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP}

Kategorie	maximale spezifische Ventilatorleistung P
SFP 1	bis 500 W / (m³/s)
SFP 2	500 - 750 W / (m³/s)
SFP 3	750 - 1.250 W / (m³/s)
SFP 4	1.250 - 2.000 W / (m³/s)
SFP 5	2.000 - 3.000 W / (m³/s)
SFP 6	3.000 - 4.500 W / (m³/s)
SFP 7	über 4.500 W / (m³/s)

$P_{SFP} = \Delta p / \eta_{tot}$ (Ws/m³)

Δp (Pa) = Gesamtdruckerhöhung des Ventilators

η_{tot} = Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor und Antrieb

$\eta_{tot} = \eta_{Ventilator} * \eta_{Motor} * \eta_{Antrieb} * \eta_{Regelung}$

(SFP – Wert durch die EU – Richtlinie begrenzt)

RLT- Geräte und RLT-Anlagen

Tabelle A9: Klassen für elektrische Leistungsaufnahme von Ventilator-Antrieben (DIN EN 13053)

Klasse	Leistungsaufnahme [kW]
P 1	$\leq P_{m\,ref} \cdot 0{,}85$
P 2	$\leq P_{m\,ref} \cdot 0{,}90$
P 3	$\leq P_{m\,ref} \cdot 0{,}95$
P 4	$\leq P_{m\,ref} \cdot 1{,}00$
P 5	$\leq P_{m\,ref} \cdot 1{,}06$
P 6	$\leq P_{m\,ref} \cdot 1{,}12$
P 7	$> P_{m\,ref} \cdot 1{,}12$

Die elektrische Leistungsaufnahme ist abhängig vom jeweiligen Luftvolumenstrom und der statischen Druckerhöhung des Ventilators.

$$P_{m\,ref} = \left(\frac{\Delta p_{stat}}{450}\right)^{0{,}925} \cdot (q_v + 0{,}08)^{0{,}95}$$

$P_{m\,ref}$	[kW]	elektrische Leistungsaufnahme
Δp_{stat}	[Pa]	statische Druckerhöhung Ventilator
q_v	[m³/s]	Luftvolumenstrom

- Spezifische Ventilatorleistung SFP

Tabelle 12 — Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung

Kategorie	P_{SFP} W·m^{-3}·s
SFP 1	< 500
SFP 2	500 – 750
SFP 3	750 – 1 250
SFP 4	1 250 – 2 000
SFP 5	2 000 – 3 000
SFP 6	3 000 – 4 500
SFP 7	> 4 500

Tabelle 13 — Erweiterte P_{SFP} für zusätzliche Bauteile

Bauteil	P_{SFP} W·m^{-3}·s
Zusätzliche maschinelle Filterstufe[a]	+300
HEPA-Filter	+1 000
Gasfilter	+300
Wärmerückführungsklasse H2 oder H1[b]	+300

[a] Als zusätzliche Filterstufe wird ein zweiter Filter eingesetzt (der erste Filter entspricht mindestens F7 für Zuluft oder M5 für Abluft).

[b] Klasse H2 oder H1 nach EN 13053:2012.

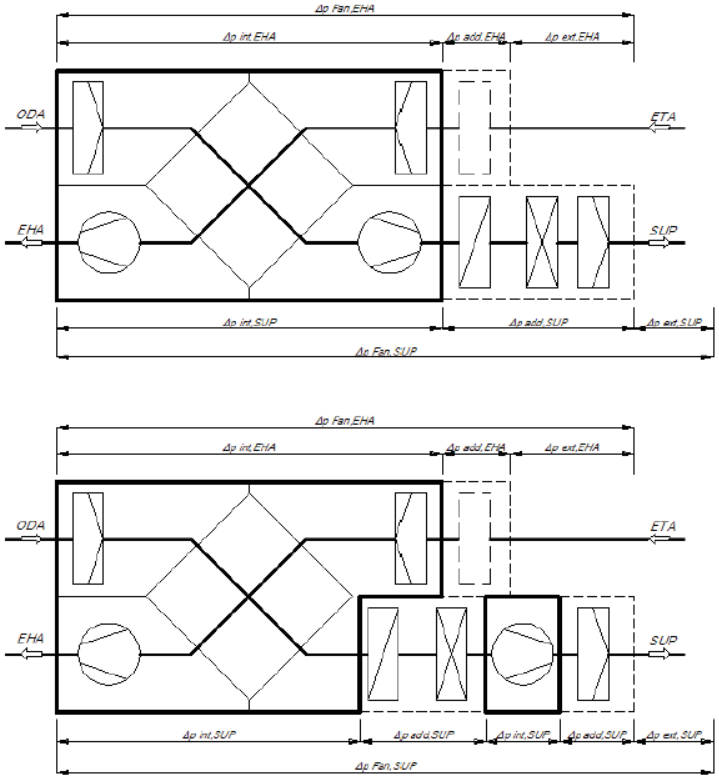
Die spezifische Ventilatorleistung ist definiert als:

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{\Delta p_{stat}}{\eta_{stat}}$$

P_{SFP}	die spezifische Ventilatorleistung, in W·m^{-3}·s;
P	die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators, in W;
q_v	der Auslegungsluftvolumenstrom durch den Ventilator, in m^3·s^{-1};
Δp_{tot}	die Gesamtdruckdifferenz über dem Ventilator;
η_{tot}	der Gesamtwirkungsgrad des Ventilators;
Δp_{stat}	die statische Druckdifferenz über dem Ventilator;
η_{stat}	der Wirkungsgrad des Ventilators bei statischem Druck.

Der Koeffizient gilt für den Auslegungsluftvolumenstrom, wenn die Filter sauber, alle Bauteile trocken und eventuelle Bypässe geschlossen sind. Er bezieht sich auf eine Luftdichte von 1,2 kg · m^{-3}.

SFP_{int} –Wert gemäß EU – Verordnung 1253/2014 (Lüftungsgerät)



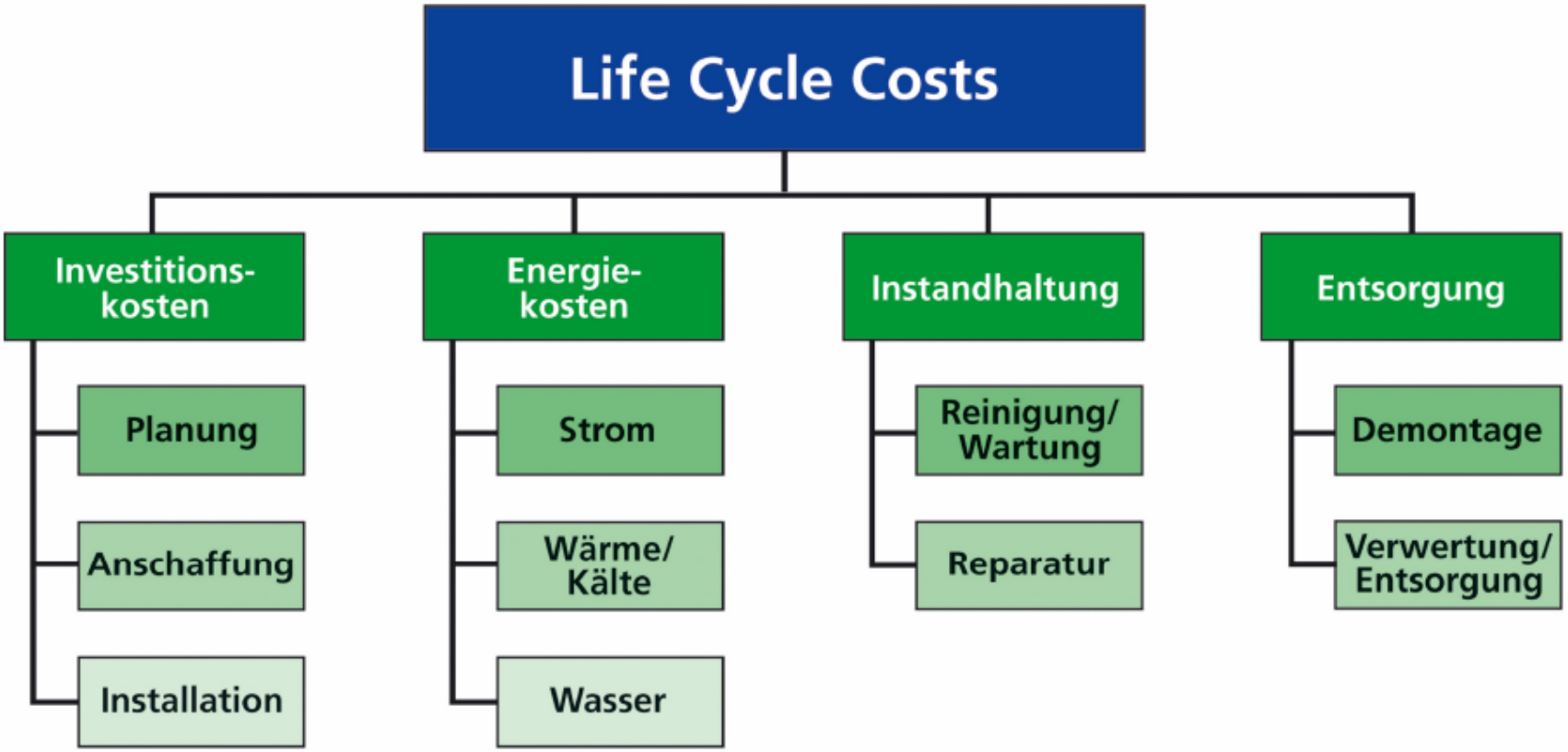
RLT – Geräte und Anlagen

- Erweiterte P_{SFP} für zusätzliche Bauteile ($P_{SFP\ add}$)

Bauteil	Zuschlag auf SFP-Klasse [W/(m³/s)]
zusätzliche mechanische Filterstufe	+ 300
HEPA-Filter	+ 1.000
Gas-Filter	+ 300
WRG der Klasse H2-H1	+ 300
Hochleistungskühler	+ 300
Zuschläge sind jeweils zu berücksichtigen, wenn das Bauteil in der RLT-Anlage montiert wird (evtl. auch außerhalb des RLT-Gerätes). Keine Zuschläge bei vorgehaltenen Leerteilen für Bauteile.	

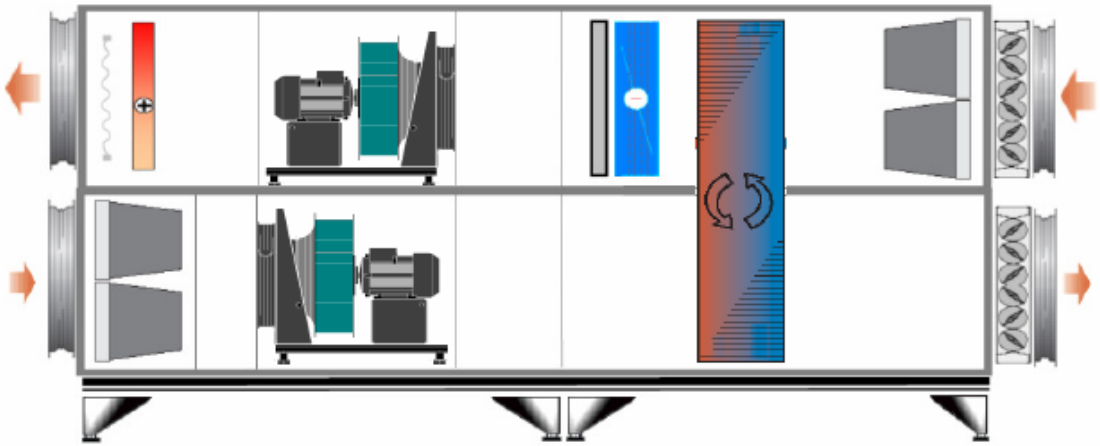
$$PSFP_{ges} = SFP_{int} + SFP_{add} + SFP_{ext}$$

Definition LCC



Maßgebliche Einflussgrößen beim Design von RLT-Anlagen

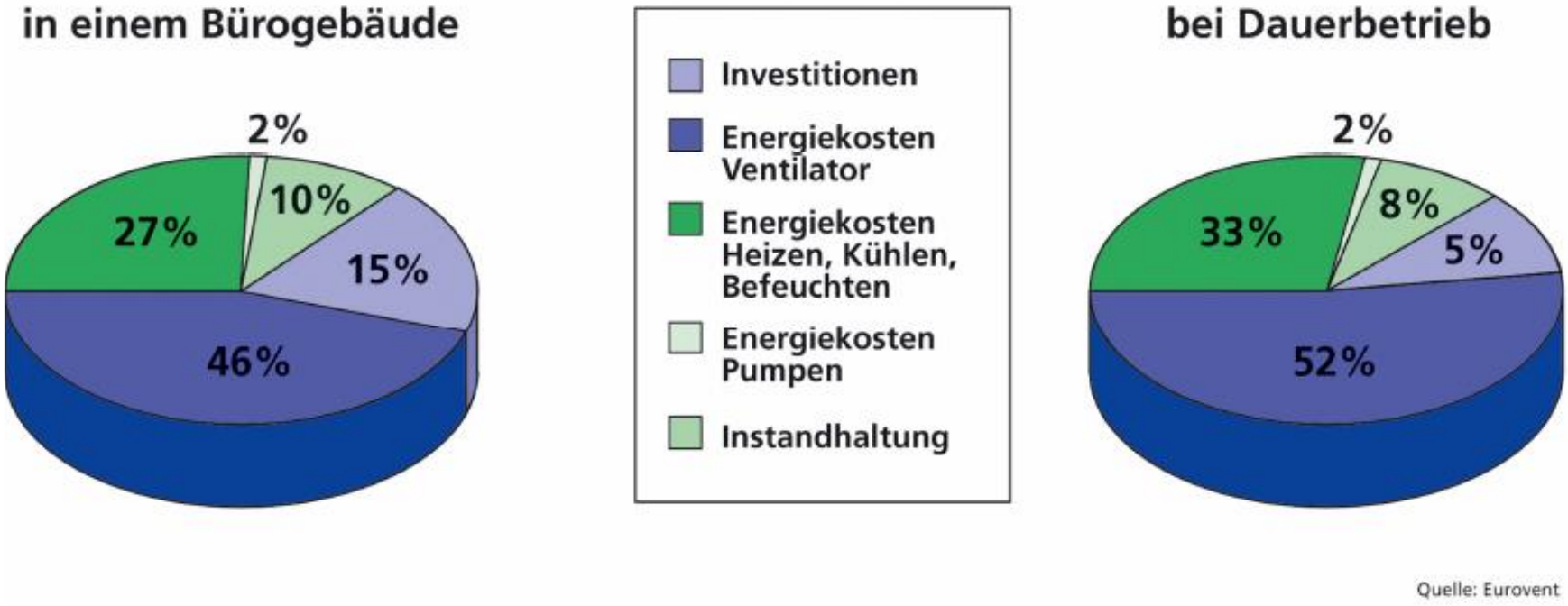
- Bauteile mit geringen internen Druckverlusten
- Bypass-Schaltungen für nicht benötigte Komponenten
- Großer Gerätequerschnitt für niedrige Luftgeschwindigkeiten (2m/s)
- Regelkomponenten mit intelligenten Funktionen



- Ventilatoren mit hoher Effizienz
- Antriebsmotore mit hohem Wirkungsgrad (Eff1/2)
- Hochwertige Energierückgewinnungssysteme

- ► Gehäusequerschnitt
- ► Ventilatoren/Antrieb
- ► Energierückgewinnung

Typische Verteilung der Lebenszykluskosten für Zentrallüftungsgeräte



Quelle: Eurovent

►**Energiekosten machen mehr als 75% der LCC aus**

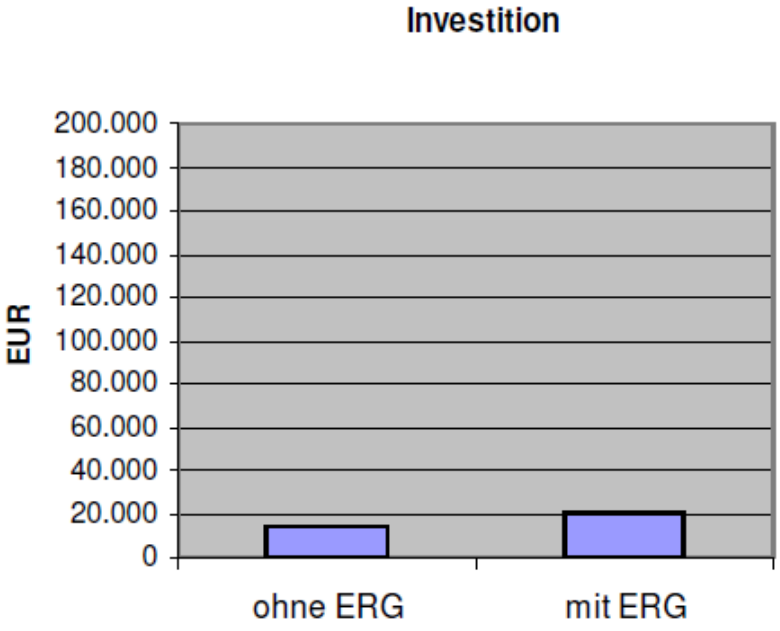
Einflussfaktoren auf LCC von RLT-Geräte

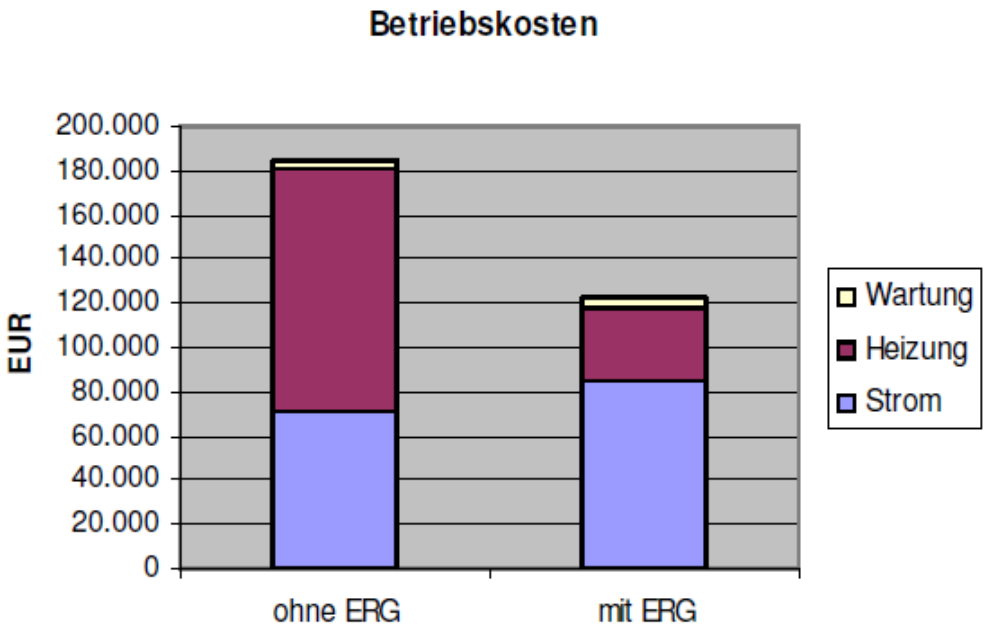
			Investition	Energie	Betrieb/Wartung
Gerätegröße	Freier Querschnitt	größer	↗	↘	↘
		kleiner	↘	↗	↗
Gehäuse	Mech. Stabilität	Klasse 1	↗	→	→
		Klasse 2	↘	→	→
	Gehäuse-Leckage	Klasse 3A	↘	↗	→
		Klasse B	↗	↘	→
	Filter-Bypass-Leckage	0,5%	↗	→	↘
		>6%	↘	→	↗
	Wärmeduchgangs-koeffizient	Klasse T1	↗	↘	→
		Klasse T5	↘	↗	→
	Wärmebrückenfaktor	Klasse TB1	↗	→	↘
		Klasse TB5	↘	→	↗
	Schalldämmung	hoch	↗	→	→
		niedrig	↘	→	→
	Korrosionsbeständigkeit	hoch	↗	→	↘
		niedrig	↘	→	↗
Ventilatoren/ Antrieb	Wirkungsgrad/Effizienz	hoch	↗	↘	↘
		niedrig	↘	↗	↗
Wärmerück-gewinnung	Wirkungsgrad/Effizienz	hoch	↗	↘	→
		niedrig	↘	↗	→
Komponenten	Interner Druckverlust	niedrig	↗	↘	→
		hoch	↘	↗	→
Kanalsystem	Externer Druckverlust	niedrig	↗	↘	→
		hoch	↘	↗	→

↘ niedrigere Kosten
↗ höhere Kosten
→ keine Relevanz

Klassen gemäß EN1886

Einfluss effizienter Energierückgewinnung





•Luftleistung:	15.000 m3/h	•Betriebszeit:	8.760 h/a
•Ext. Druckverlust:	600 Pa	•Angesetzte Lebensdauer:	10 Jahre
•Zulufttemperatur:	18°C	•Strompreis:	0,11 EUR/kWh
•Ablufttemperatur:	20/24°C	•Heizenergie:	0,22 EUR/kWh
•Wirkungsgrad P.-tauscher:	65%	•Kühlenergie:	0,40 EUR/kWh

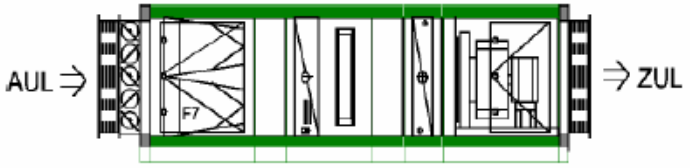
Quelle: Eurovent

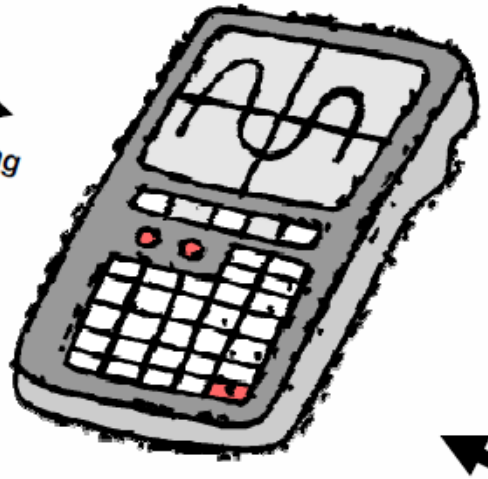
►**(Mehr-) Investitionen untergeordnet im Vergleich zu Betriebskosten bzw. Einsparungen über die Lebensdauer**

LCC-Berechnung

Klimadaten

Temperaturverteilung über das Jahr für verschiedenste Orte





Gerätedaten

Technische Daten, Investitions- und Wartungskosten des konfigurierten Zentrallüftungs-gerätes

Finanzielle Parameter

Energiepreise (Strom, Wärme, Kälte), Zinssätze, Preissteigerungsraten etc.

Planung

Optimale Auslegung der Kom-ponenten und Festlegung der Betriebsweise gemäß Einsatz-bedingungen und Nutzungs-anforderungen

RLT–Geräte Zukunft

Ecodesign – Richtlinie EU 1253/2014

RLT Gerät das verbrauchte Luft durch AUL ersetzt.

Anforderung an RLT-Geräte ab 01.01.2016
Erhöhte Anforderung ab 01.01.2018

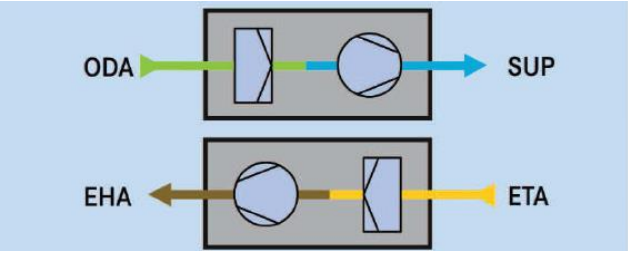
Unterteilung:

-Wohnungslüftungsgerät WLA bis 250m³/h,
250m³/h bis 1000m³/h WLA oder NWLA, wählbar durch Hersteller, Planer oder Kunde)

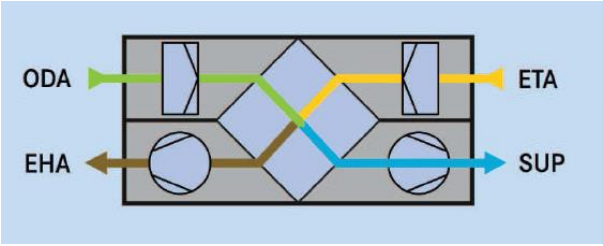
-Nichtwohnungsluftung NWLA >1000m³/h

- Wohnungslüftungsgerät (**WLA**) ≤ 250m³/h
  (Untergrenze < 30W Ventilatorleistung, Obergrenze 1000m³/h)

Diverse Anlagensysteme zulässig.



Zu- oder Abluftgerät –
Unidirectional Ventilation Unit (UVU)
Ein-Richtung-Lüftungsanlage
Referenzkonfiguration:
- 1 Luftrichtung
- 1 Filter F7
- 1 Ventilator



Kombiniertes Zu-/Abluftgerät –
Bidirectional Ventilation Unit (BVU)
Zwei-Richtung-Lüftungsanlage
Referenzkonfiguration:
- 2 Luftrichtungen
- 1 Filter F7 (ODA)
- 1 Filter M5 (ETA)
- Wärmerückgewinnung
- 2 Ventilatoren

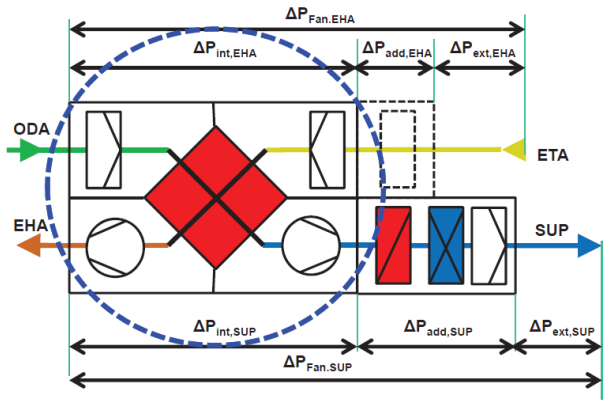
RLT–Geräte Zukunft

- Nichtwohnungslüftungsgerät **NWLA**

Industrie Service

Anforderungen gemäß dem Prüf- und Zertifizierungsprogramm
„RLT-RICHTLINIE Zertifizierung“
der TÜV SÜD Industrie Service GmbH erfüllt sind.

Hersteller (In Verkehr bringen) muss Einhaltung der Richtlinie bestätigen.



Diverse Ausnahmen:
- ATEX,
- Lufttemperatur > 100°C und < -40°C
- Geräte mit eingebauter Wärmepumpe, etc.

CE - Zertifizierungspapier, z.B. TÜV
CE Kennzeichnung wenn das Gerät mit Schaltschrank und Regelung ausgeliefert wird.
Konformitätserklärung des Herstellers, wenn Gerät ohne Schaltschrank.

RLT – Geräte Zukunft

Ecodesign-Anforderung ab 01.01.2016

- ✓ Mehrstufige oder stufenlose Drehzahlveränderung
- ✓ Begrenzung der Ventilatorstromaufnahme SFP_{int}
- ✓ Mindestwärmerückgewinnung

Mindestanforderung Wärmerückgewinnung

- ✓ Pflicht zur Wärmerückgewinnung unabhängig von klimatischen Bedingungen
- ✓ Wärmerückgewinnung regelbar
- ✓ Wärmerückgewinnung wird bewertet nach dem trockenen Temperaturverhältnis nach EN 308.
- ✓ Bei höheren Wirkungsgraden gibt es einen Effzienzbonuswert „E“ für den erhöhten Druckverlust

Grenzwerte für die Stromaufnahme SFP Werte im RLT-Gerät:

- ✓ Luftförderung: Interner SFP_{int} berücksichtigt die Druckverluste für
  - ✓ Wärmerückgewinnungseinheit
  - ✓ Filter F7 in der Zuluft und M5 in der Abluft
  - ✓ Ventilatoren und Kammern
- ✓ Keine ErP Anforderungen gibt es bei (Grenzwerte nach EnEV §15)
  - ✓ zusätzlichen Komponenten wie Wärmeübertrager,
  - ✓ zusätzlichen Filterstufen SFP_{add} etc.
  - ✓ externe Druckverluste SFP_{ext}

RLT – Geräte Zukunft

Mindestanforderungen		2016	2018
Kreislaufverbundsystem	ηt	63%	68%
Beispiel für Gerät >7.200m³/h	SFP int W/(m³/s)	1.400	1.300
Alle anderen WRG-Systeme	ηt	67%	73%
Beispiel für Gerät >7.200m³/h	SFP int W/(m³/s)	900	800

Mindestanforderung §15 EnEV für die Gesamtanlage:

- ✓ SFP Klasse 4 je Ventilator 2.000 -> 4.000 W/(m³/s)
- ✓ Zuschläge für WRG sind möglich je 300 W/(m³/s)

Referenzanforderungen EnEV (ab 2016 -25%)

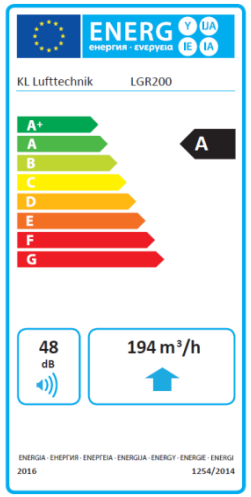
- ➢ Zuluft 1.500 und Abluft 1.000
- ➢ Zuschläge für WRG sind möglich je 300 W/(m³/s)
- ➢ 1.000 + 300 + 1500 +300 = 3.100 -25% = 2.325 W/(m³/s)
- ➢ Rest für Kanalsysteme und Komponenten 2.325 – 1400 = 925
- ➢ Unter der Annahme eines Ventilatorenwirkungsgrade von 60%
- ➢ **Druck für Zu- und Abluft je ~275 Pa für die restlichen Bauteile und Verteilung**

RLT – Geräte und RLT – Anlagen Zukunft

Wohnungslüftungsgerät **WLA** (≤ 250m³/h)

WLA – Geräte müssen ein Energielabel auf Basis der EN13053 besitzen.
SEV – Klasse A+ bis G, je nach System

SEV-Klasse	SEV in kWh/a.m²
A+ (höchste Effizienz)	SEV < – 42
A	– 42 ≤ SEV < – 34
B	– 34 ≤ SEV < – 26
C	– 26 ≤ SEV < – 23
D	– 23 ≤ SEV < – 20
E	– 20 ≤ SEV < – 10
F	– 10 ≤ SEV < 0
G (geringste Effizienz)	0 ≤ SEV



Klasse G: SEV = 0 bedeutet gleichwertig zur Fensterlüftung
SEV ist ein Minuswert und spiegelt die Energieeinsparung wieder.
WLA Geräte müssen ein Energielabel besitzen.

Ab 01.01.2018 **Mindesteffizienz D**

RLT – Geräte Zukunft

Wohnungslüftungsgerät **WLA** (<250m³/h)

Abschätzung der Luftmenge: 1,3m³/h pro m² Wohnfläche, ergibt für 100m² Wohnfläche 130m³/h

Der spezifische Energieverbrauch SEV ist abhängig von folgenden Geräteeigenschaften:

- Stromverbrauch der Ventilatoren und Regelung
- Art und Güte der WRG
- Regelungsart der Geräte

Die Geräte müssen mind. soviel Primärenergie einsparen wie sie verbrauchen!

DIN 13142 Wohnungslüftung wird unter dem Ecodesign – Mandat überarbeitet !

RLT – Geräte und RLT – Anlagen

- Deutschland:

Gesetzlich **Anlagenforderungen** werden in der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem erneuerbaren Energiegesetz (EEWärme Gesetz) gestellt.

Bei der Planung muss somit die EnEV für die Gesamtanlage beachtet werden.

- Österreich:

Energieausweis- Vorlagegesetz (EAVG),

Ökostromgesetz (Gesetz zum Ausbau erneuerbarer Energie), jeweiliges Landesgesetz (Grundlage ist die OIB – Richtlinie 6),

01.01.2016 – Österr. Energieeffizienzgesetz

Laut EU – Verordnung sind öffentliche Gebäude ab 2019 als Niedrigenergiegebäude aus zu führen!

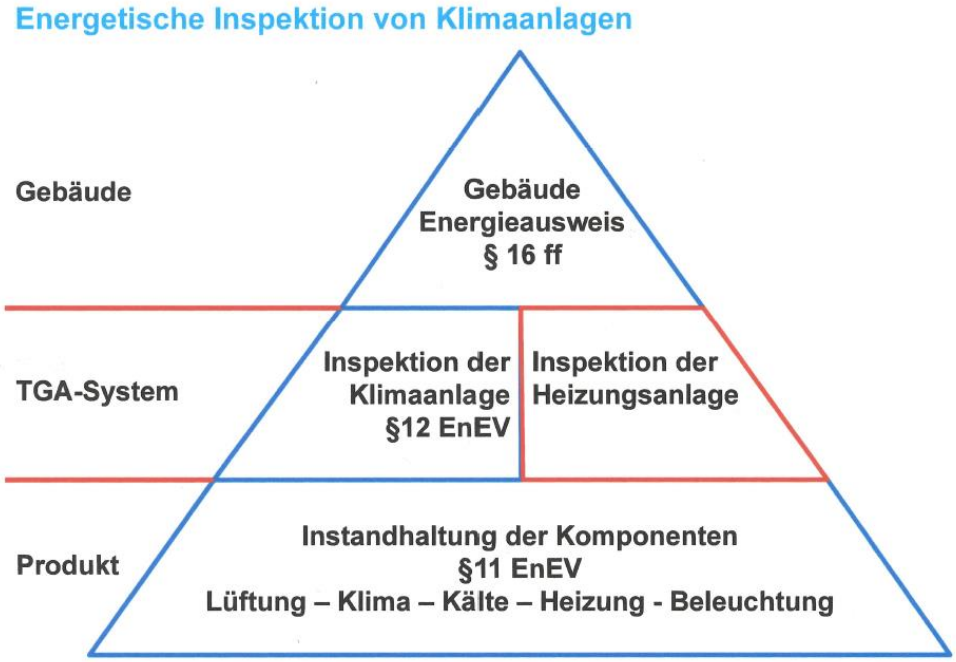
- Schweiz:

SIA 382/1 (01.07.2014) Lüftungs- und Klimaanlagen(Effizienz)

RLT – Geräte und RLT – Anlagen

EU – Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden 2002/91/EG (EPBD Energy Performance of Building Directive), geändert durch EU – Richtlinie 2010/31/EU

Energetische Inspektion von bestehenden Lüftungs- und Klimaanlagen ist in der ENEV 2014 §12 verankert. Seit 2013 existiert mit der **DIN SPEC 15240** eine flankierende Norm (Nachfolge DIN 16798/17/18)



Tipps für die energetische Planung

- Integrale Planung anwenden
- Energieeffiziente Architektur wählen (Wärmeeintrag, Abläufe etc.) Ziel: Nur interne Wärmelast/Kühllast!
- Energieflussschema erstellen und bewerten
- Ermittlung des erforderlichen Luftstromes (Variabel!)
- Druckverluste Kanal, RLT-Gerät, gering halten
- Heiztemperatur **niedrig** halten, Kühltemperatur möglichst **hoch** halten. (Oberhalb des Taupunktes bei statischen Kühlelementen!)
- Betriebszeit optimieren
- Auswahl des Systems, Luftsystem, Wasser- Luft –System
- Bedarfsorientierte Lüftung/ Klimatisierung (Variable Luftmenge, CO2-Fühler, VOC-Fühler
- Freie Kühlung einsetzen
- adiabatische Abluftbefeuchtung zur Reduktion der Kühlleistung
- Bauteilaktivierung zur Speicherung einsetzen.
- Luftsysteme **dicht** ausführen. (10% Leckluft ergeben ca. 30% mehr elektr. Energiebedarf.)

HYGIENEZERTIFIKAT VDI 6022

HYGIENEZERTIFIKAT

ebm-Papst – Werk Hollenbach

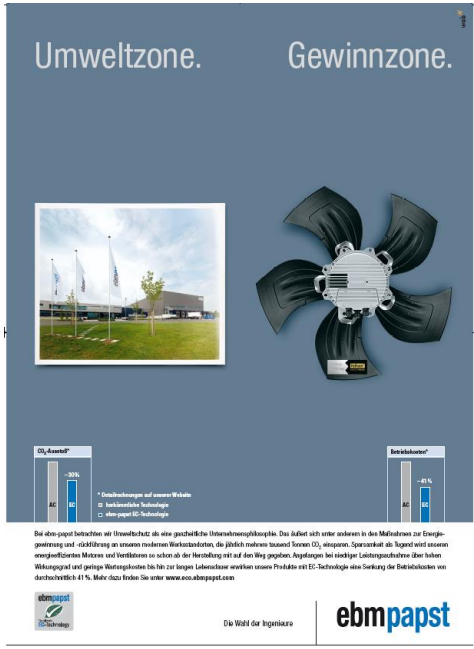
Prozentuale Energieeinsparung von 91% (lt. dena) – Einsparung von 297 t CO_2/a

Wir erzeugen mehr Energie, als wir für die Beheizung, Kühlung und Lüftung benötigen

ebm-Papst – Werk Hollenbach

Projektziele:

- Komplett neuer Standort
- möglichst energieeffizienter Neubau
- Ausschöpfung von Energierückgewinnungspotentialen
- Nutzung der Maschinenabwärme
- Energieeffiziente Gesamtanlage zum Heizen, Lüften und Kühlen
- Einsatz innovativer EC-Ventilatoren in den Lüftungsgeräten
- Betrachtung der 5 Gebäudeteile als eine Einheit
- Möglichst geringe Jahresbetriebskosten



ebm-Papst – Werk Hollenbach

Planung:

- Die 5 Gebäudeteile– Wareneingang, Produktion, Dreherei, Verwaltung und Warenausgang wurden nicht als einzelne Gebäudeteile sondern als Gesamtkomplex betrachtet
- Die Nutzung wurde berücksichtigt, nicht nur die Gebäudehülle!
- Abwärmepotential der Maschinen, Beleuchtung usw.
- Planung mittels thermischer Gebäude- und Anlagensimulation
- Berechnung der Betriebskosten für 25 verschiedene Anlagenvarianten / Simulationen
- Abweichungen von der „Norm, DIN usw.“ vereinbaren

ebm-Papst – Werk Hollenbach

	Neubau mit Abwärmenutzung	Neubau ohne Abwärmenutzung*	Einsparung durch Abwärmenutzung
Energiekosten**	7.050 €	94.380 €	87.330 €
Stromverbrauch	67.750 kWh/Jahr	83.300 kWh/Jahr	15.550 kWh/Jahr
thermischer Energieverbrauch	2.400 kWh/Jahr	750.000 kWh/Jahr	747.600 kWh/Jahr
CO_2-Ausstoß***	43 t/Jahr	340 t/Jahr	297 t/Jahr
Investitionen	1.000.000 €	940.000 €	Mehrkosten durch Abwärmenutzung 60.000 €

* *Abschätzung im Rahmen einer Simulation, ausgehend vom Wärmeenergiebedarf des Gebäudes* ** *Heizölpreis von 84,40 €/100 l und Strompreis von 0,10 €/kWh*

*** *Folgende Faktoren liegen nach GEMIS zugrunde: Strom 621,6 g CO_2/kWh; Heizöl 385,1 g CO_2/kWh*

Quelle: dena

Wirtschaftlichkeit:

Für die Beheizung, Kühlung und Belüftung wären, nach dem Stand der Technik, ca. 750.000 kWh/a an Wärmeenergie und ca. 83.000 kWh/a an Strom für die Kälteerzeugung (ohne Hilfsantriebe) erforderlich.

Durch die Optimierung und Auswahl der Anlage und der Abwärmenutzung, sinkt der Energiebedarf um ca. 91% auf ca. 67.750 kWh/a therm. Energieverbrauch und 2.400 kWh/a Stromverbrauch. (dena-Referenzprojekt)

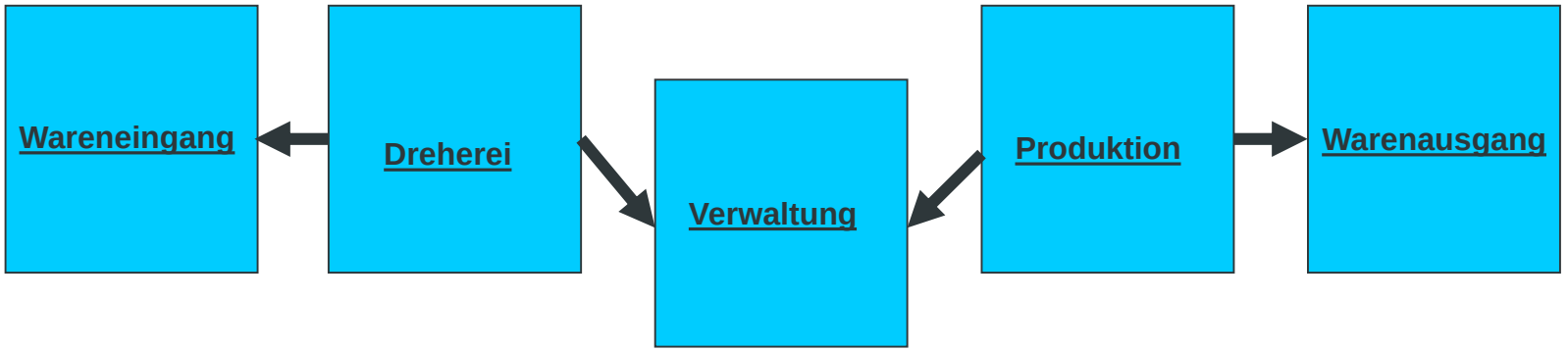
Energiekosten ca. 7.050 €/a – anstatt ca. 94.380 €/a, d.h. Einsparung von 87.330 €/a, bei Anlagenmehrkosten von 60.000 €.

Jährliche Einsparung Energiekosten	87.330 €
Prozentuale Energieeinsparung (gesamt)	91 %
Prozentuale Stromeinsparung	18 %
Prozentuale Einsparung thermischer Energie	99 %
Kapitalrendite*	145 %

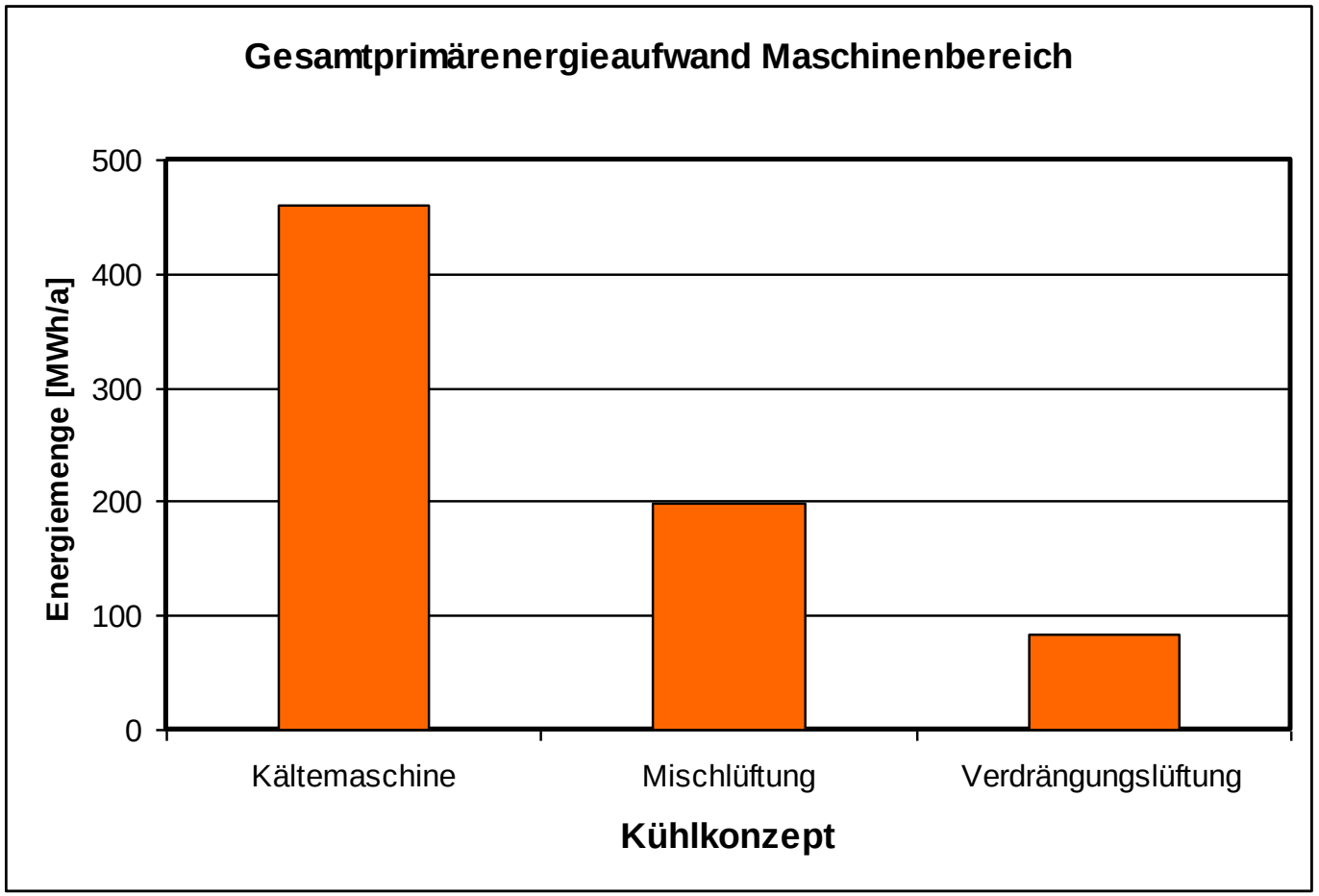
**Kapitalrendite der Mehrinvestition für Energieeffizienzmaßnahmen*

Quelle: dena

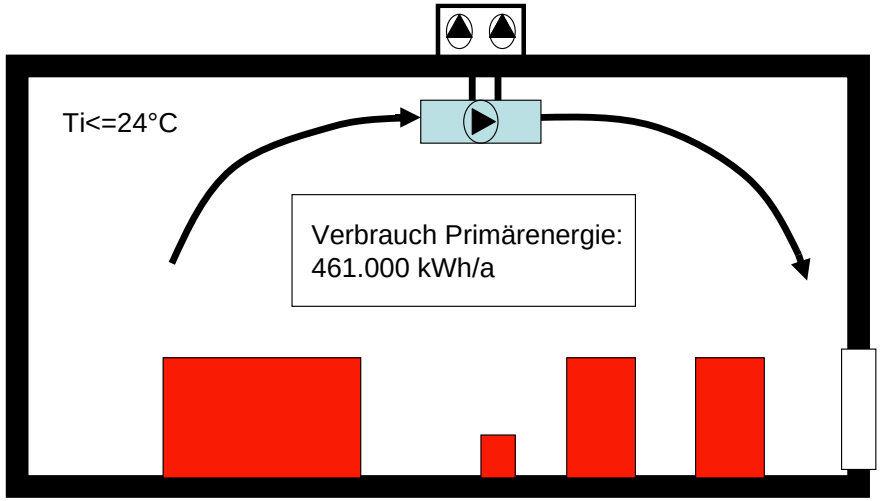
ebm-Papst – Werk Hollenbach



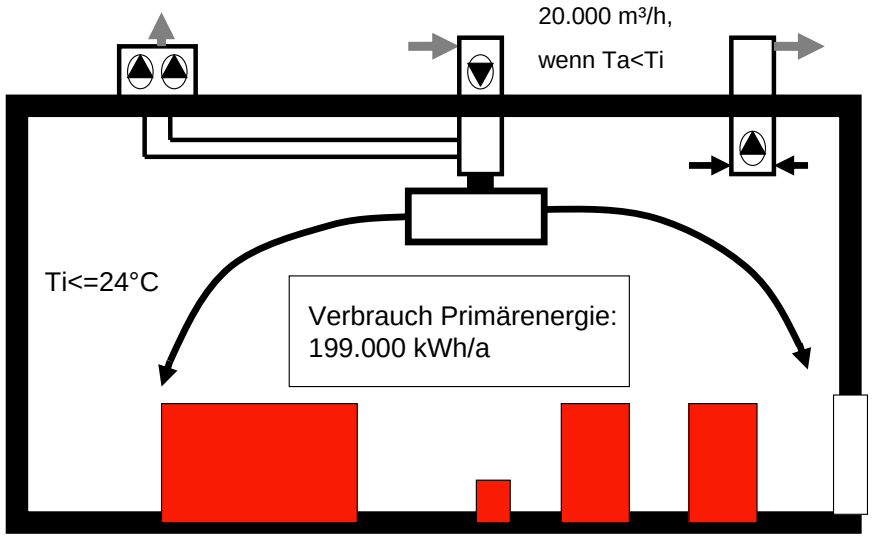
ebm-Papst – Werk Hollenbach



ebm-Papst – Werk Hollenbach

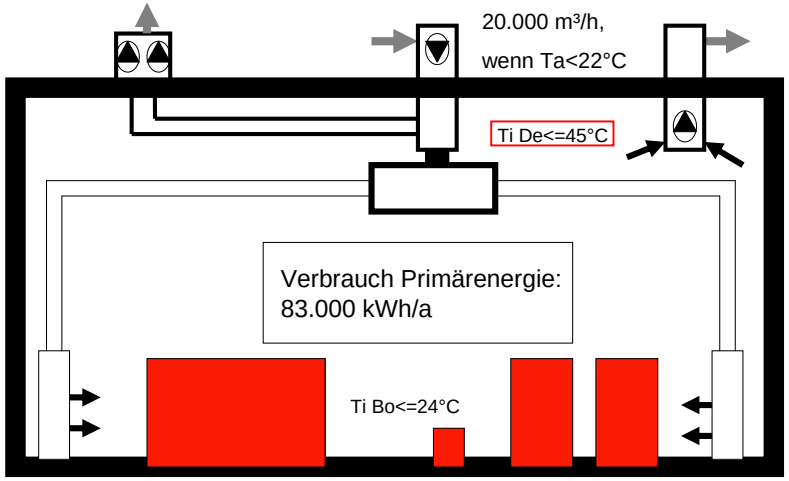


Kühlung mit Kompressions-Kältemaschine (Umluft)

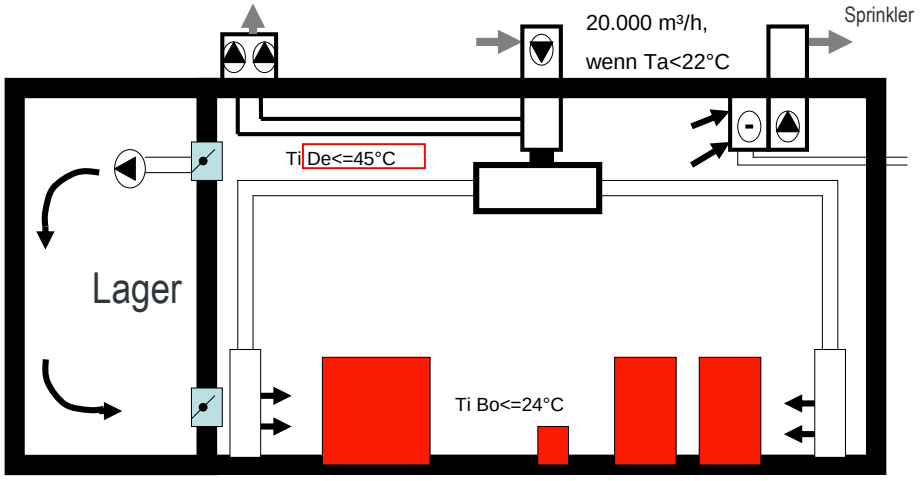


Kühlung mit Mischlüftung, Aussenluft und Kompressions-Kältemaschine

ebm-Papst – Werk Hollenbach

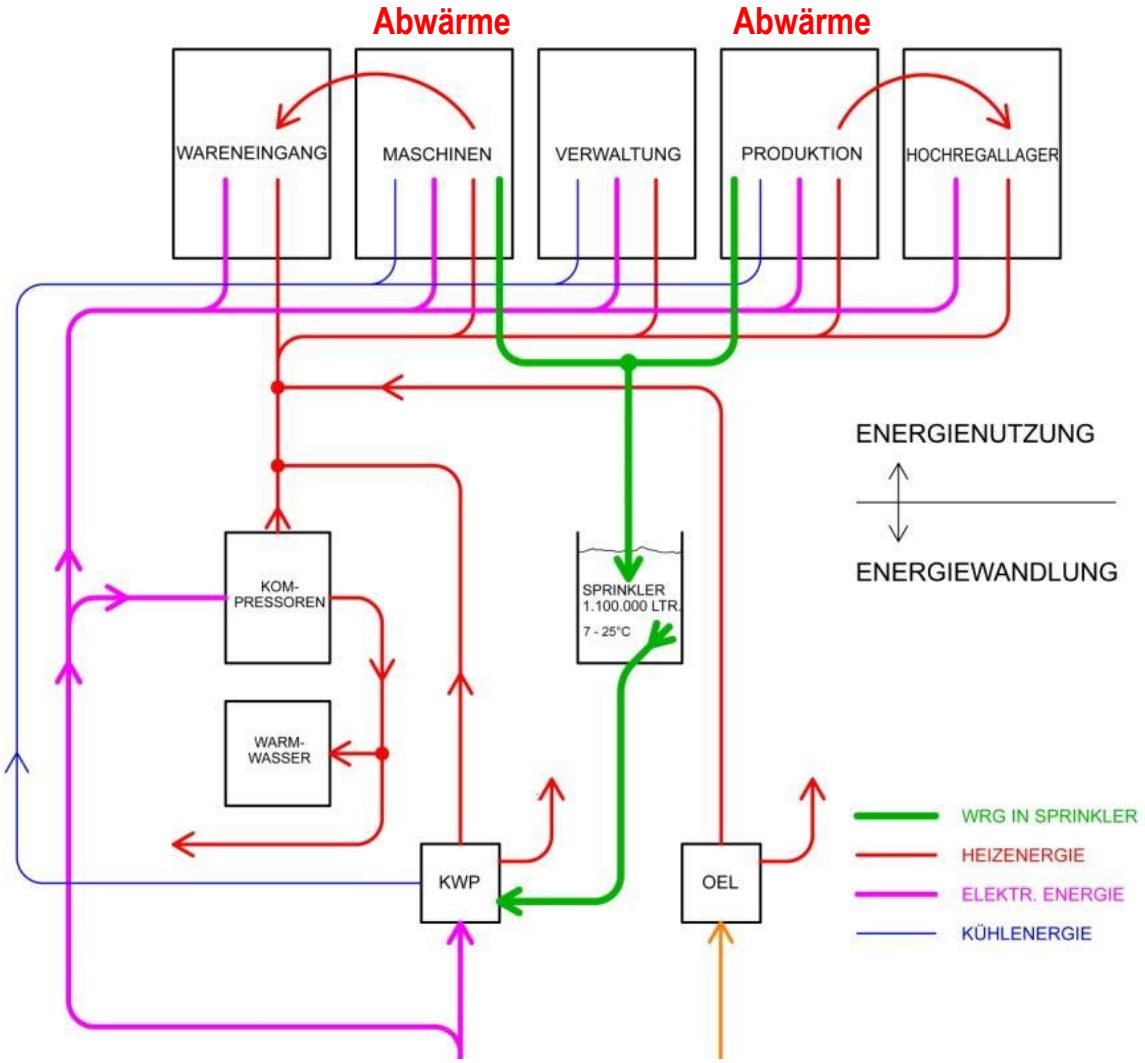


Kühlung mit Verdrängungslüftung, Aussenluft und Kompressions-Kältemaschine



Verdrängungslüftung mit Aussenluft zur Kühlung, Wärmeverschiebung mit Verdrängungslüftung in Warenausgang und Einspeisung Überschusswärme in Sprinklerbehälter für WP

ebm-Papst – Werk Hollenbach



Wärmepumpe / Heizraum

Kompressoren / WRG

EC-Lüftungsgeräte

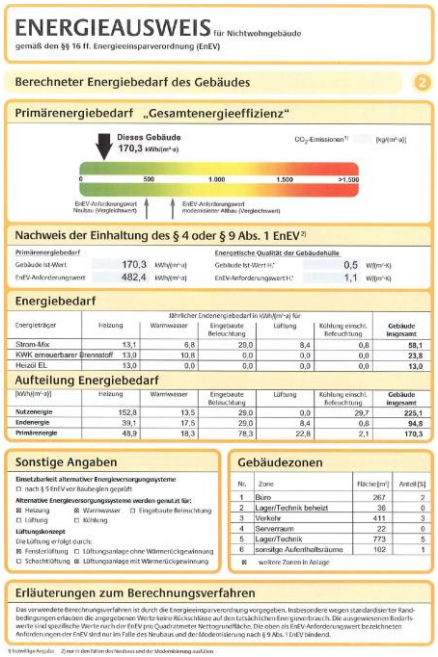
ebm-Papst – Werk Hollenbach

- Die von den inneren Lasten erwärmte Luft der Dreherei u. Produktion wird zur Beheizung von Warenein- u. Ausgang verwendet.
- Abwärmenutzung der Kompressoren: Einbindung in das Wärmenetz
- Kreislaufverbundsystem: überschüssige Wärme wird dem Sprinklerbehälter (1.100.000 l) zugeführt
- Wärmesenke dient zur Effizienzsteigerung der Wärmepumpe für die Beheizung und Kühlung
- 13 Lüftungsgeräte (Fa.Systemair) mit EC-Energiesparventilatoren : Luftverbundsystem, Verdrängungslüftung über Quellluftauslässe - d.h. Temperaturschichtung, effiziente Drehzahlregelung, WRG, Luftkühler
- Alle Heizungs- u. Kühlpumpen mit Energieeffizienzklasse A
- Optimierung Rohrleitungsnetz für energiesparenden Betrieb

ebm-Papst – Werk Hollenbach

Ergebnisse nach Umsetzung der Maßnahmen:

- 65% weniger Energieverbrauch gegenüber Standard für EnEV- Neubauten
- Ohne Berücksichtigung der Abwärmenutzung der Produktion, da diese im EnEV- Berechnungsverfahren nicht berücksichtigt wird! (mit Abwärmenutzung – 91%)



ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Primärenergiebedarf „Gesamtenergieeffizienz"

Dieses Gebäude 170,3 kWh/(m²·a)

Nachweis der Einhaltung des § 4 oder § 9 Abs. 1 EnEV

Primärenergiebedarf			Energetische Qualität der Gebäudehülle		
Gebäude ist-Wert	170,3	kWh/(m²·a)	Gebäude ist-Wert H'T	0,5	W/(m²·K)
EnEV-Anforderungswert	482,4	kWh/(m²·a)	EnEV-Anforderungswert H'T	1,1	W/(m²·K)

Energiebedarf

Energieträger	Heizung	Warmwasser	Eingebaute Beleuchtung	Lüftung	Kühlung einschl. Befeuchtung	Gebäude insgesamt
Strom-Mix	13,1	8,8	29,0	8,4	0,8	58,1
KWK erneuerbarer Brennstoff	13,0	10,8	0,0	0,0	0,0	23,8
Heizöl EL	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0

Aufteilung Energiebedarf

[kWh/(m²·a)]	Heizung	Warmwasser	Eingebaute Beleuchtung	Lüftung	Kühlung einschl. Befeuchtung	Gebäude insgesamt
Nutzenergie	152,8	13,5	29,0	0,0	29,7	225,1
Endenergie	39,1	17,5	29,0	8,4	0,8	94,8
Primärenergie	48,9	18,3	78,3	22,8	2,1	170,3

Sonstige Angaben

Gebäudezonen

Nr.	Zone	Fläche [m²]	Anteil [%]
1	Büro	267	2
2	Lager/Technik beheizt	36	0
3	Verkehr	411	3
4	Serverraum	22	0
5	Lager/Technik	773	5
6	sonstige Aufenthaltsräume	102	1

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

1. Preis: Energy Efficiency Award 2009.

ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG – Energieeffizienter Neubau des Produktionswerks Hollenbach.

Im Rahmen der Initiative EnergieEffizienz vergibt die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) in Kooperation mit der Deutschen Messe den internationalen „Energy Efficiency Award". Den 1. Preis erhält die ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG.

Projektbeschreibung.
Die Firma ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG hat Ende 2007 den Neubau des Werks in Hollenbach abgeschlossen. Das Werk umfasst 13.600 m² und besteht insgesamt aus fünf getrennten Gebäudeeinheiten: Produktion, Drehere I, Verwaltung mit Kantine sowie Wareneing- und -ausgang. Beim Wertneubau wurde das Konzept verfolgt, den gesamten Wärmebedarf des Industriegebäudes von etwa 750.000 kWh/Jahr mittels einer optimalen Nutzung der im Produktionsprozess anfallenden Abwärme zu decken. Die Großteil der Wärme entsteht bei Drehmaschinen, Robotern sowie Kompressoren.

Durch eine geregelte Verdrängungslüftung wird unter der Hallendecke eine so hohe Temperatur eingestellt, dass die Luft unter der Decke direkt zur Beheizung der angrenzenden Gebäudeteile genutzt werden kann. Überschüssige Wärme wird in einem 11.000 M Speicherbehälter gespeichert. Dieser dient zusätzlich als Wärmesenke für eine Wärmepumpe. Die gespeicherte Wärme wird zur effizienten Beheizung der restlichen Gebäudeteile verwendet. Steigt die Außenlufttemperatur über einen Wert von 24 °C, wird das Gebäude bei Bedarf mit der Wärmepumpe gekühlt. Der Stromverbrauch für die Kühlung ist durch den Einsatz energiesparender Technik im Vergleich zu einem konventionellen System von 83.300 kWh um 19 Prozent auf 67.750 kWh gesenkt worden.

Energieeffizienzmaßnahmen.
- Abwärmenutzung von Arbeitsmaschinen.
- Optimierte Wärmeverteilung.
- Einsatz einer Wärmepumpe mit einer Leistungszahl größer 4.
- Verdrängungslüftung über Quellluftauslässe.
- Optimale Dimensionierung des Rohrleitungsnetzes.
- Einsatz von Heizungs- und Kühlwasserpumpen der Energieeffizienzklasse A.
- Verwendung energiesparender ECV-ventilatoren.
- Einsatz einer 153 kWp Photovoltaik-Anlage.

Zahlen, die für sich sprechen.
(Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungsanlage)

	Neubau mit Abwärmenutzung	Neubau ohne Abwärmenutzung[2]	Einsparung durch Abwärmenutzung
Energiekosten[1]	7.728 €	95.213 €	87.485 €
Stromverbrauch	67.750 kWh/Jahr	83.300 kWh/Jahr	15.550 kWh/Jahr
Thermischer Energieverbrauch	2.400 kWh/Jahr	750.000 kWh/Jahr	747.600 kWh/Jahr
CO_2-Ausstoß[2]	43 t/Jahr	340 t/Jahr	297 t/Jahr
Investition	1.000.000 €	940.000 €	Mehrkosten durch Abwärmenutzung 60.000 €

Jährliche Einsparung Energiekosten[3]	87.485 €
Energieeinsparung (gesamt)	91 %
Stromeinsparung	19 %
Einsparung thermischer Energie	99 %
Kapitalrendite[4]	145 %

[1] Kostenbasis: 0,11 €/kWh Strom und 0,03 €/kWh Gas
[2] Abschätzung der Autoren eines Jahreswertes, angelehnt an einen Wärmeverbrauch des Gebäudes
[3] Folgende Faktoren liegen der CO2-Einsparung zugrunde: 0,61 kg CO_2/kWh Strom; 0,25 kg CO_2/kWh Gas
[4] Kapitalrendite der Abschreibung des Mehrpreises für Abwärmenutzung

1. Preis: Energy Efficiency Award 2009
INITIATIVE EnergieEffizienz Industrie & Gewerbe

Danke für die Aufmerksamkeit !