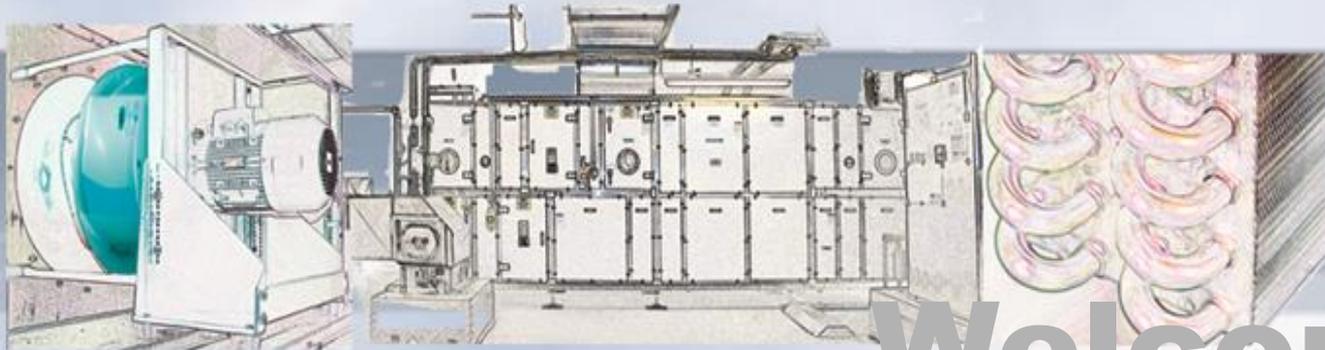


# Willkommen



# Welcome

# Bienvenue

## Raumlufttechnik Antriebe

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-  
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup  
c.kaup@umwelt-campus.de



HOCHSCHULE TRIER  
Umwelt-Campus Birkenfeld  
Umwelt macht Karriere.

## Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen:

### Thermodynamische Luftaufbereitung

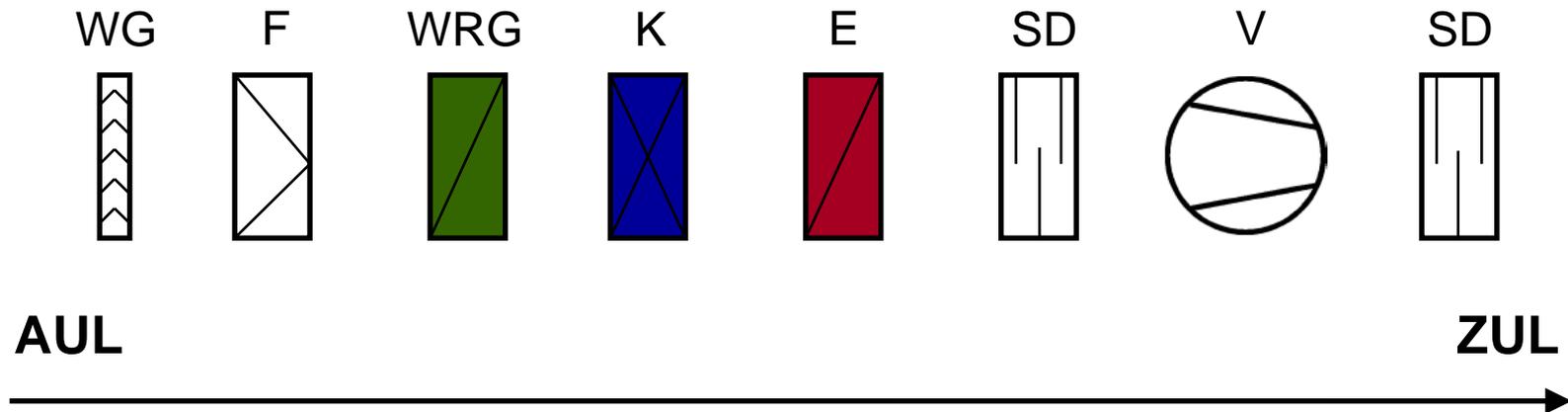
- Heizen
- Kühlen
- Befeuchten
- Entfeuchten



## Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen:

### Thermodynamische Luftaufbereitung

Beispiel RLT Anlage (Zuluftanlage)



## Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen

### Luftförderung

- Ventilator
- Motor
- Antrieb
- Regelung



## Elektrische Leistung

$$P_m = \dot{V} \cdot \Delta p \cdot 1 / \eta_s$$

$P_m$  Elektrische Leistung [KW]

$\dot{V}$  Volumenstrom [ $m^3/s$ ]

$\Delta p$  Differenzdruck der Anlage [Pa]

$\eta_s$  Gesamtwirkungsgrad des Systems [./.]

$$\eta_s = \eta_V \cdot \eta_M \cdot \eta_A \cdot \eta_R$$

Ventilator • Motor • Antrieb • Regelung





## DIN EN 13779

Lüftung von Nichtwohngebäuden  
Allgemeine Grundlagen und Aufgaben für  
Lüftungs- und Klimaanlageanlagen

**Spezifische Ventilatorleistung = Specific Fan Power (SFP)**

$$P_{SFP} = \frac{P_{Input}}{q_v} = \frac{\Delta p_{fan}}{\eta_{total}}$$

$P_{SFP}$	Spezifische Ventilatorleistung [W/(m <sup>3</sup> /s)]
$P_{Input}$	elektrische Leistungsaufnahme [W]
$q_v$	Nennluftvolumenstrom [m <sup>3</sup> /s]
$\Delta p_{fan}$	Gesamtdruckerhöhung [Pa]
$\eta_{total}$	Systemwirkungsgrad Antrieb [-]

## Specific Fan Power

EN 13779: 2007



European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

Kategorie	$P_{SFP}$ W/(m <sup>3</sup> /s)
SFP 1	≤ 500
SFP 2	≤ 750
SFP 3	≤ 1.250
<b>SFP 4</b>	<b>≤ 2.000</b>
SFP 5	≤ 3.000
SFP 6	≤ 4.500
SFP 7	> 4.500

$\Delta p_{Fan}$ [Pa]	
$\eta_{total} 0,55$	$\eta_{total} 0,65$
275	325
410	485
685	810
1.100	1.300
1.650	1.950
2.475	2.925

Anwendung	Stand. Wert
AB ohne WRG	SFP 2
AB mit WRG	SFP 3
ZU ohne WRG	SFP 3
ZU Klimaanlage	SFP 4

Für spezielle Komponenten (z. B. HEPA-Filter, WRG H1 oder H2) ist eine Erhöhung des SFP-Wertes möglich.

## Additional fan power

EN 13779: 2007

	Komponente	zus. $P_{SFP}$ [W/(m <sup>3</sup> /s)]
1	zus. Filterstufe	+ 300
2	HEPA Filter	+ 1.000
3	Gasfilter	+ 300
4	WRG Klasse H2-H1	+ 300
5	Hochleistungskühler	+ 300

## Energieeffizienz

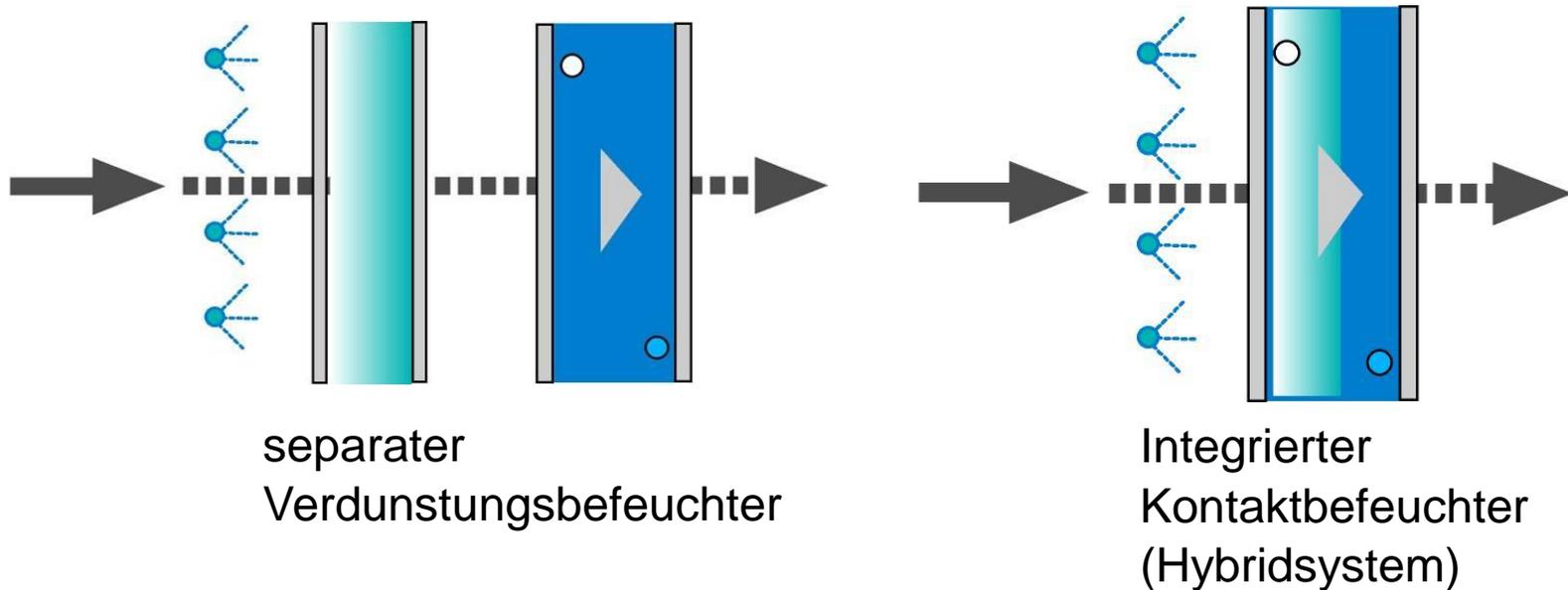
- Entfall von Komponenten (z. B. TA)
- Hybridkomponenten (Befeuchtung)
- Bypässe in Komponenten



## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

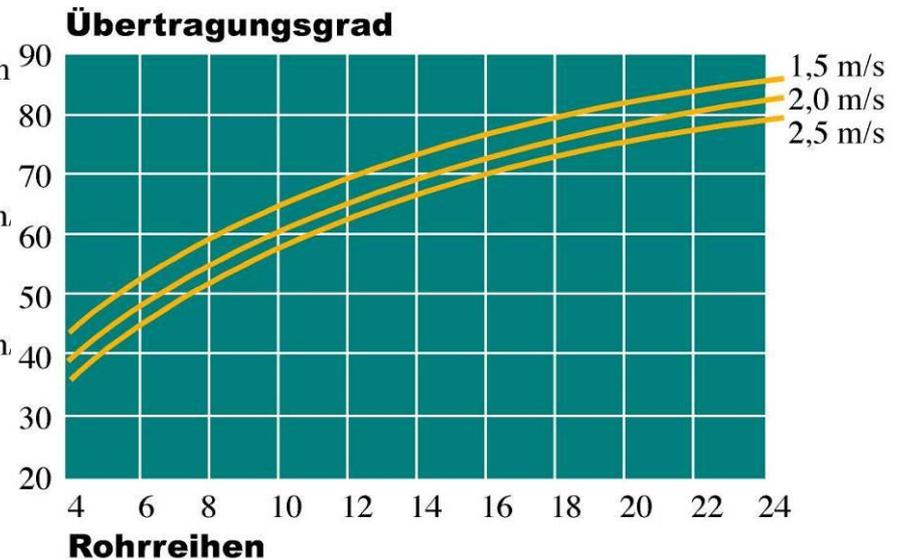
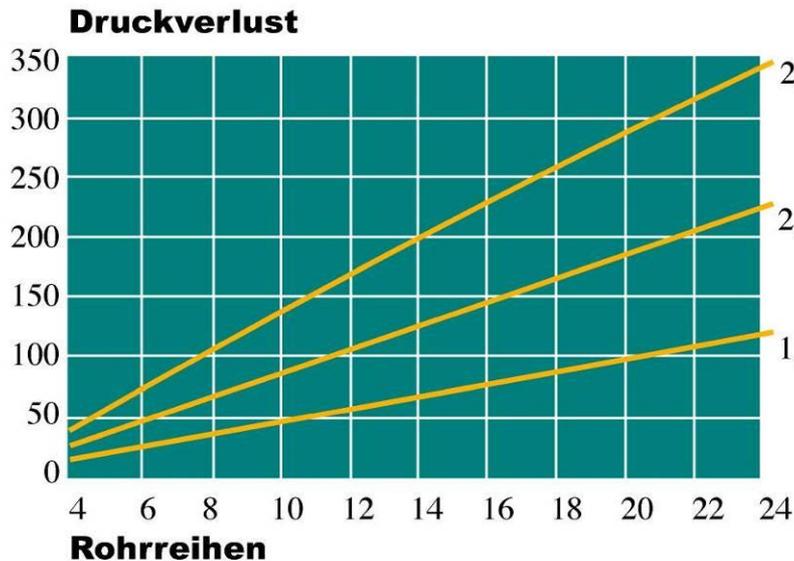
Bauteilwahl (Beispiel hybrider Befeuchter)



## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

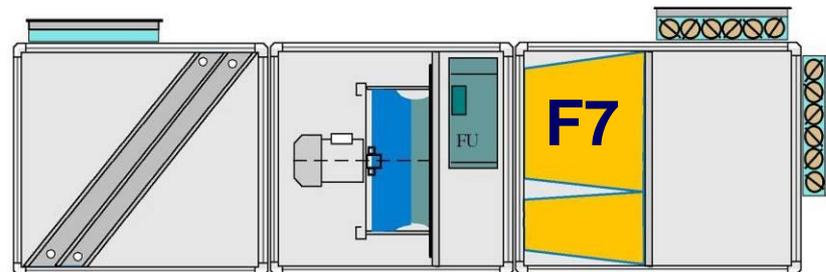
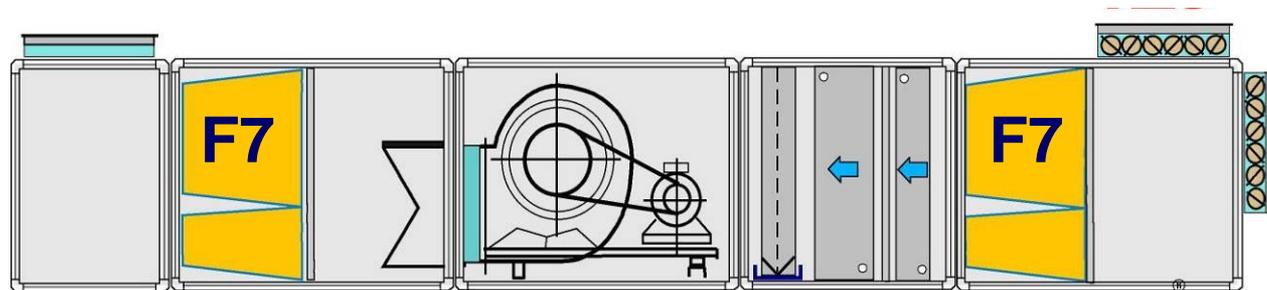
Anströmgeschwindigkeiten (Beispiel WRG - KVS)



## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

Anordnung der Komponenten



## Filterstufen

### Einstufige Filterung

- Erste Stufe F7 (80 % bei 1  $\mu\text{m}$ )
- Besserer Schutz des RLT-Gerätes
- Reduktion des Druckabfalls
- Reduktion der Gerätebaulänge

### Zweistufige Filterung

- Erste Stufe F7 (80 % bei 1  $\mu\text{m}$ )
- Zweite Stufe F7 = Effizienz (F5 / F9)
- Reduktion des Druckabfalls

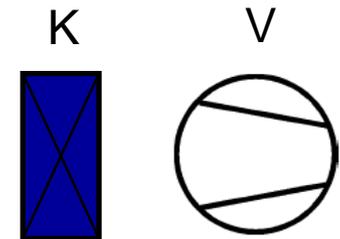


<b>M5 + F9</b>	4,5 m <sup>2</sup>	F5	55 Pa	200 Pa	3.400 m <sup>3</sup> /h	450 Pa
	9,0 m <sup>2</sup>	F9	140 Pa	250 Pa	3.400 m <sup>3</sup> /h	
<b>F7 + F7</b>	9,0 m <sup>2</sup>	F7	95 Pa	150 Pa	3.400 m <sup>3</sup> /h	260 Pa
	9,0 m <sup>2</sup>	F7	95 Pa	110 Pa	3.400 m <sup>3</sup> /h	

## Kühler

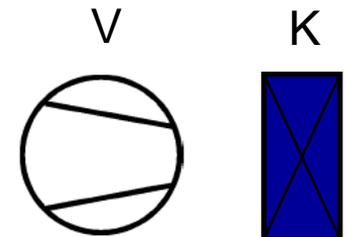
### Saugseitig

- Einsatz bei Entfeuchtungskühlung
- Ventilatorwärme zur Nacherwärmung
- Lamellenabstand z. B: 2,5 mm



### Druckseitig

- Einsatz bei „trockener“ Kühlung
- Ventilatorwärme vor dem Kühler
- Größere mittleren log. Temperaturdifferenz



## Luftförderung

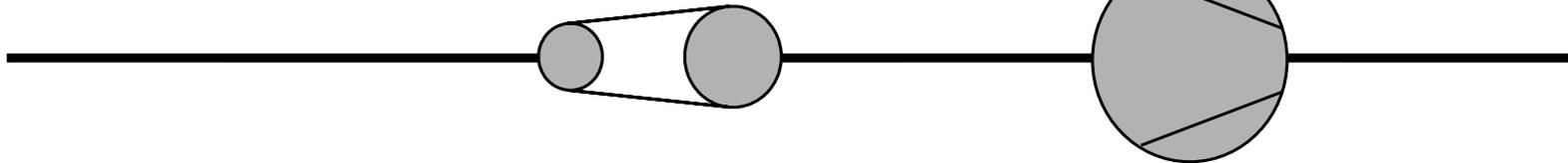
### Leistung

mechanisch

$$P_N = \frac{\dot{V} \cdot p_t}{\eta_V \cdot \eta_K}$$

$$P_K = \frac{\dot{V} \cdot p_t}{\eta_V}$$

$$P_V = \dot{V} \cdot p_t$$



elektrisch

$$P_N = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_M$$

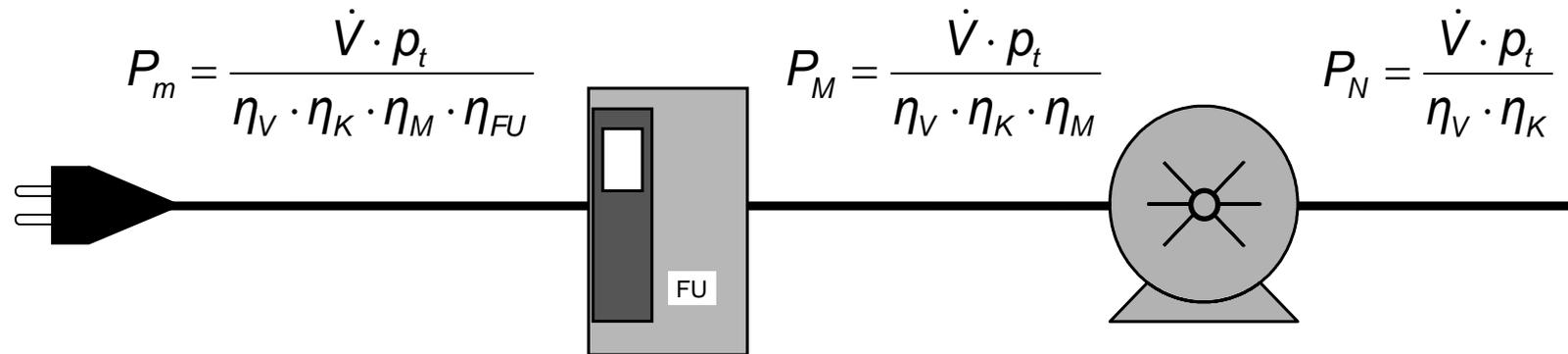
$$P_K = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_M \cdot \eta_K$$

$$P_V = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_M \cdot \eta_K \cdot \eta_V$$

## Luftförderung

### Leistung

mechanisch



elektrisch

$$P_m = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos$$

$$P_M = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \cdot \eta_{FU}$$

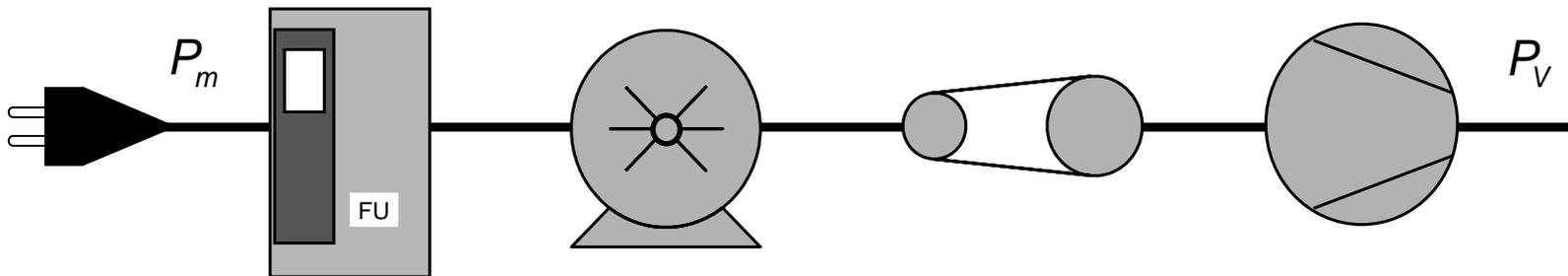
Typenschild Motor:

$$P_N = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_M$$

## Luftförderung

### Leistung

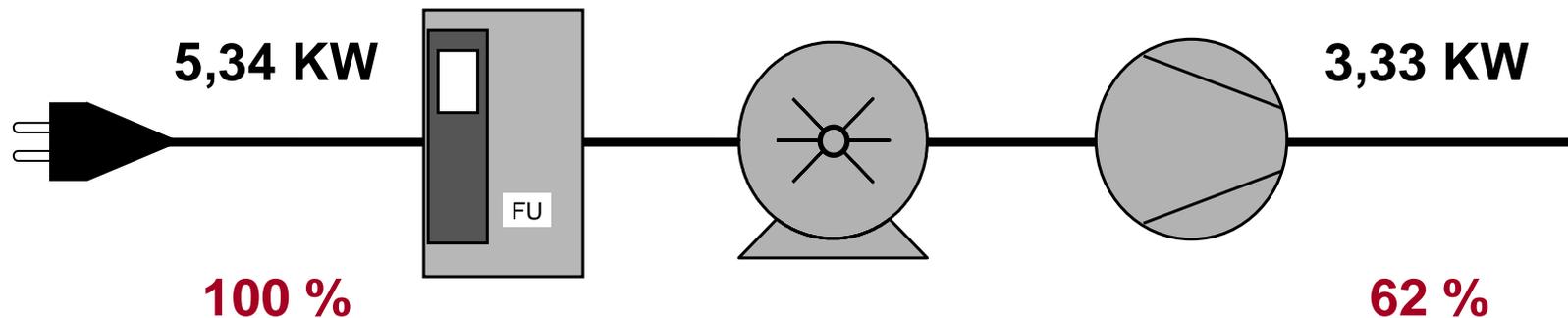
Systemwirkungsgrad  $\eta_{\text{Syst}}$



$$\eta_{FU} \cdot \eta_M \cdot \eta_V \cdot \eta_K = \frac{P_v}{P_m} = \eta_{\text{Syst}}$$

## Luftförderung

Beispiel:



## Luftförderung

### Ventilator

#### Bauformen

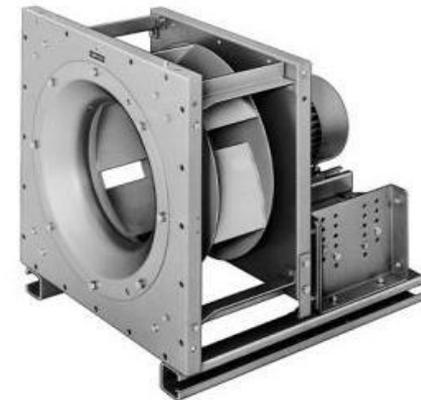
Axial mit oder  
ohne Gehäuse



Radial mit  
Spiralgehäuse



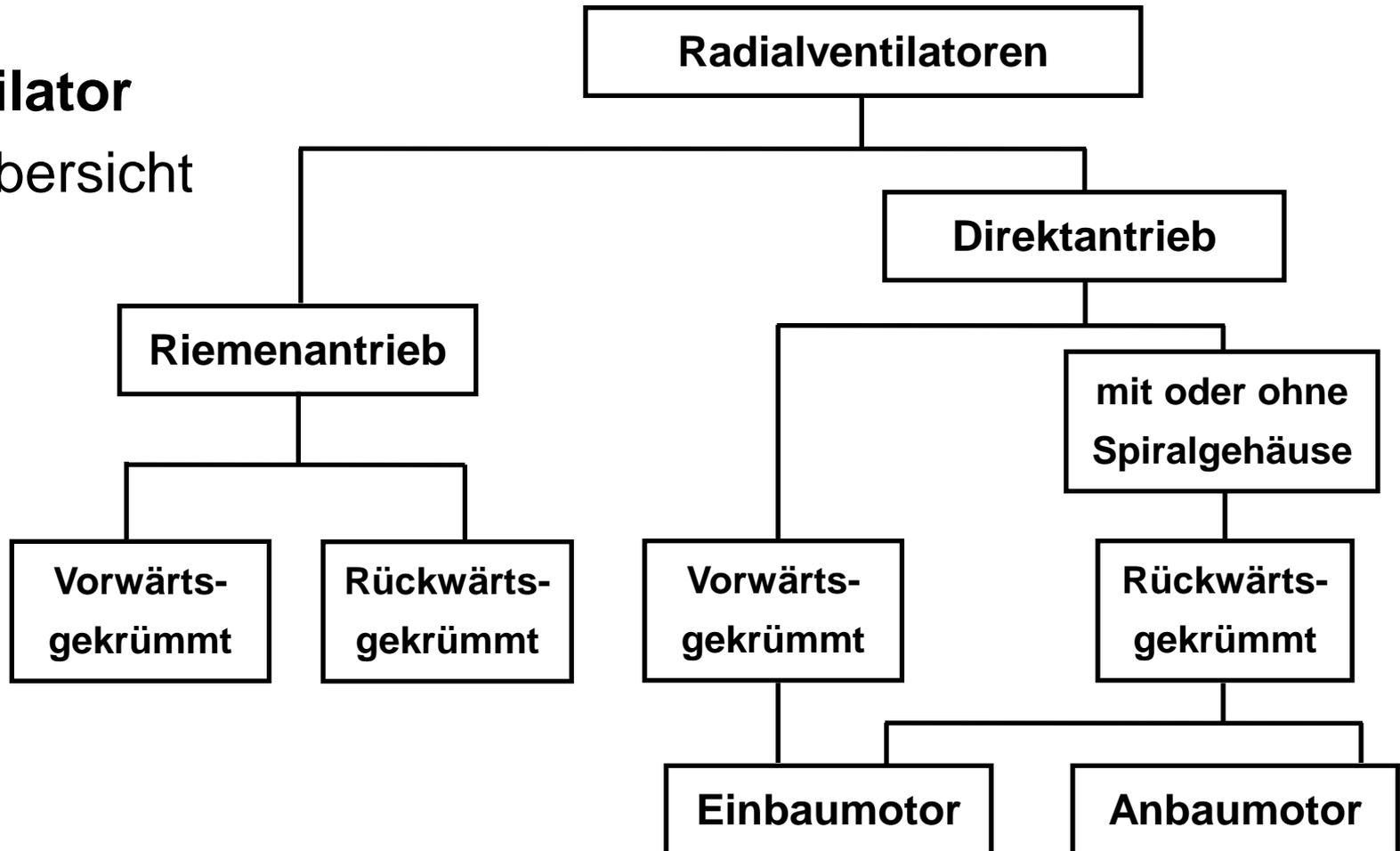
Radial ohne  
Gehäuse



## Luftförderung

### Ventilator

### Übersicht

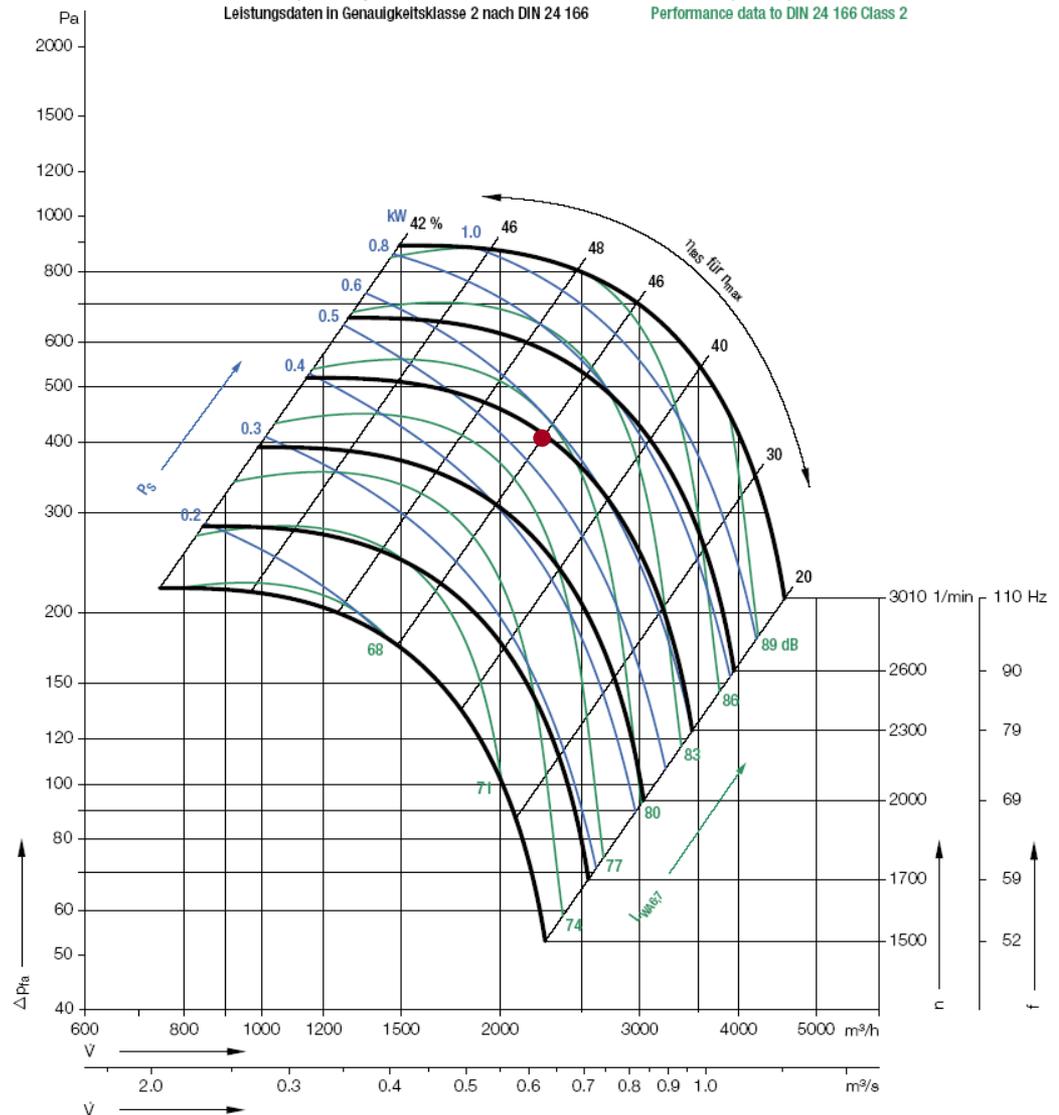


## Luftförderung

## Ventilator

Auslegung

Kennfeld



## Ventilatorkonzepte

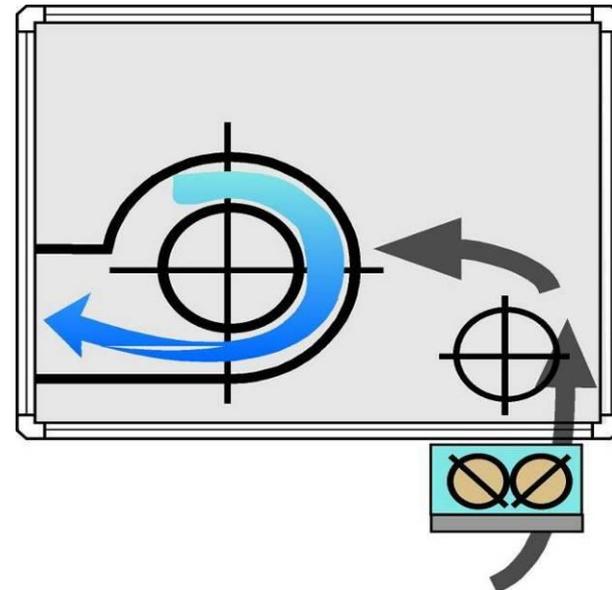
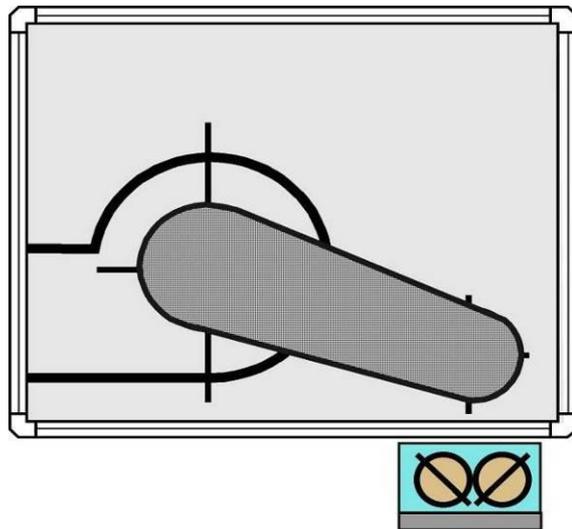


## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

Einbauverluste (Beispiel Ventilator mit Spiralgehäuse)

$$\sum \Delta p_{EV} = 1,5 - 4,5 \cdot p_{dyn}$$

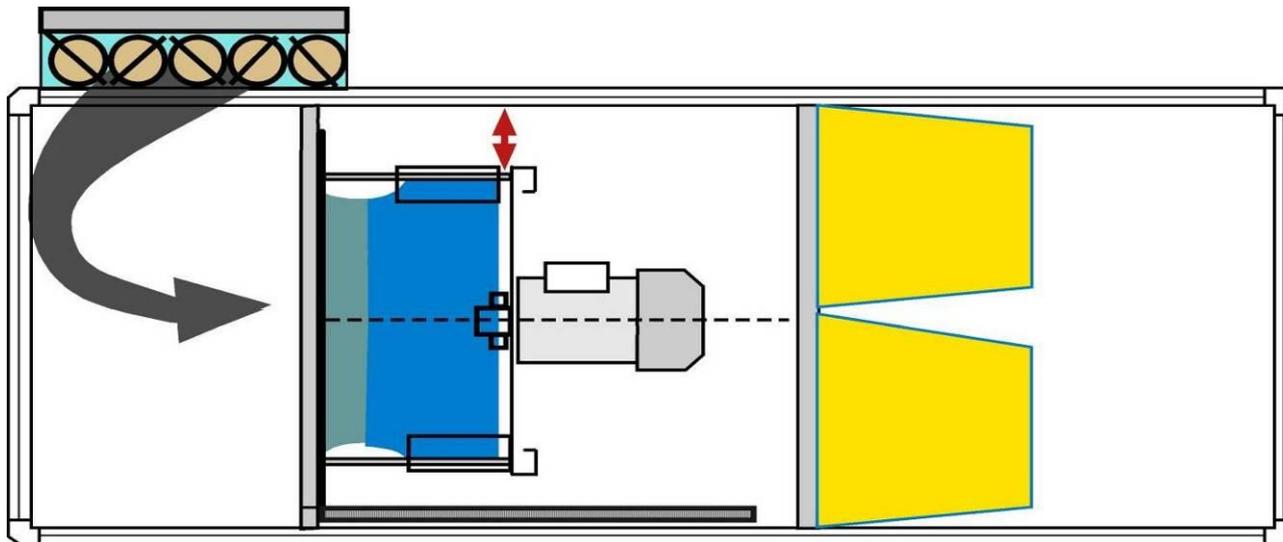


## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

Einbauverluste (Beispiel Ventilator ohne Gehäuse)

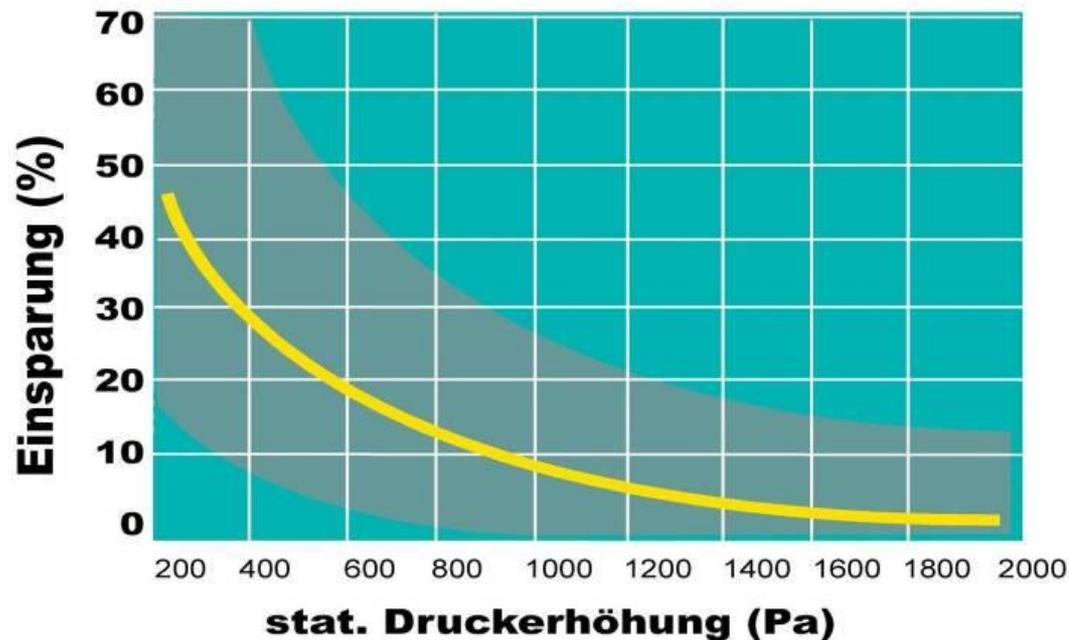
$$\sum \Delta p_{EV} = 0,5 - 1,5 \cdot p_{dyn}$$



## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste / Vent.-Bauform

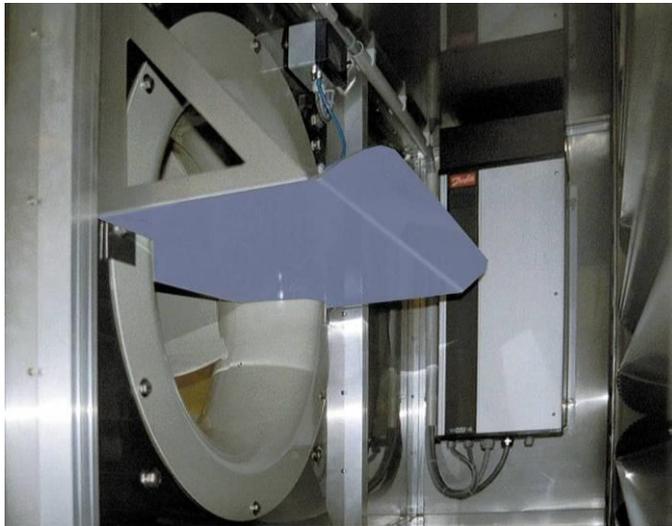
Einsparpotential freilaufendes Rad im Vergleich zum Gehäuseventilator



## Energieeffizienz

### Interne Druckverluste

Leitapparat bei axialer Anströmung



Wirkungsgrad ▲ Turbulenz ▼

DE 101 21 940

## Luftförderung

### Motor

#### Bauarten

AC

Drehstrommotor  
Mit Dreiphasen  
Wechselstrom



EC

Elektrisch  
kommutierter  
Gleichstrommotor



PM

Permanent  
Magnet Motor



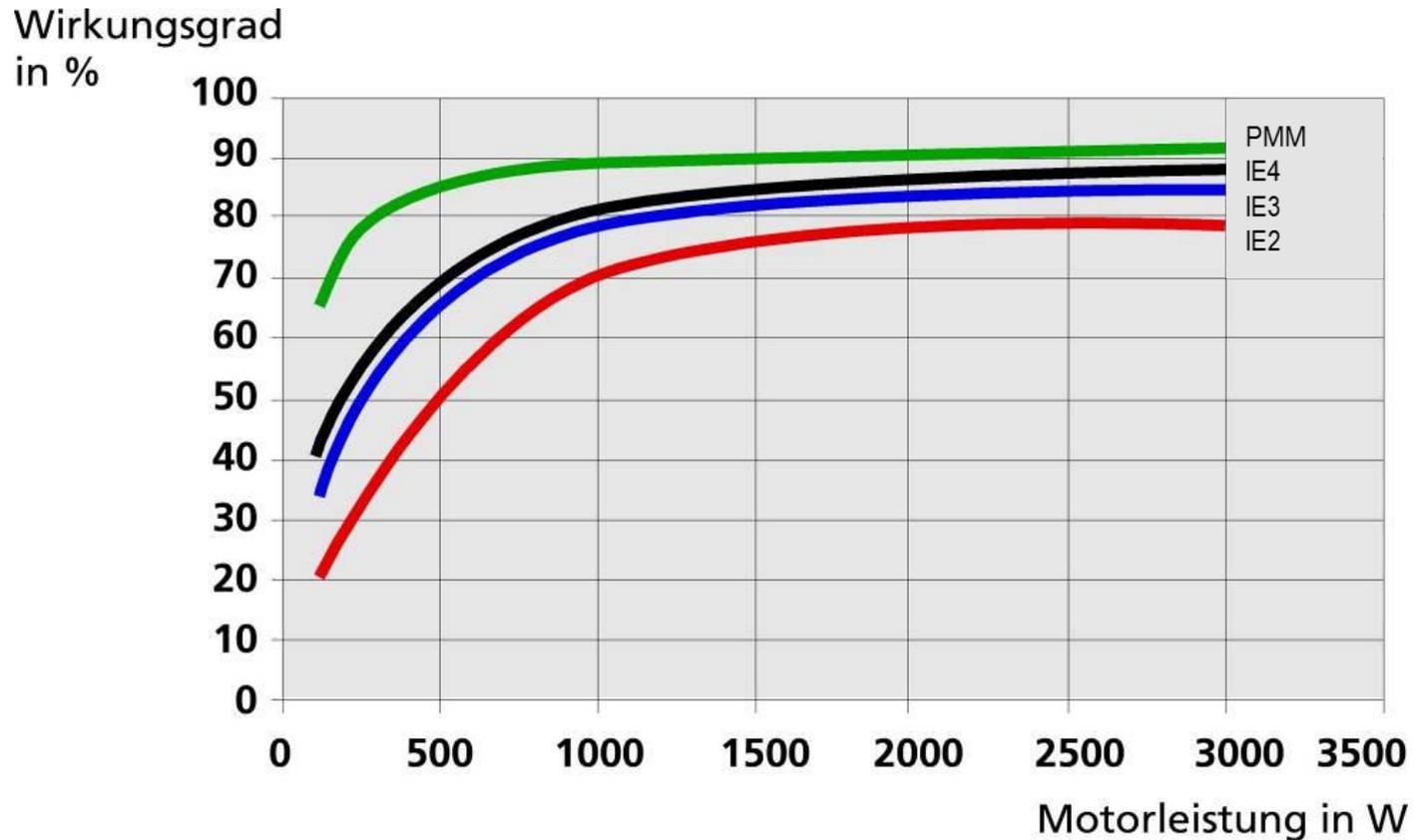
## Luftförderung

### Motor

Wirkungsgrade (Beispiel  $n = 1500$  1/min)

Nennleistung	IE2	IE3
1,1 KW	77,0 %	84,0 %
2,2 KW	82,0 %	86,5 %
4,0 KW	85,0 %	88,5 %
7,5 KW	87,0 %	90,3 %
55,0 KW	93,5 %	95,1 %

## Antriebstechnik Motoren





## VDI 3803 – Energieeffizienz

### Empfehlungen zum Elektroenergiebedarf

Empfehlung max. SFP Werte

Empfehlung max. Luftgeschwindigkeiten im RLT-Gerät

Empfehlung zu max. Luftgeschwindigkeiten im Kanal

Empfehlung zu EFF 1 Motoren

Empfehlung zum Einsatz freilaufender Ventilatoren

Empfehlung zur einstufigen Filterung



## VDI 3803 – Energieeffizienz

Mehrfachfunktionale Nutzung von Komponenten der WRG (z. B. Vorerwärmer, Nacherwärmer, Kühler, indirekte Verdunstungskühlung, Rückkühlwerk, freie Kühlung)

Die Notwendigkeit aller Komponenten (z. B. Tropfenabscheider) und die Möglichkeiten von Druckverlustreduzierung durch Bypassschaltungen zur Umgehung zeitweise nicht genutzter Komponenten



## Spezifische Ventilatorleistung

VDI 3803: 2010

<b>Luftvolumenstrom</b> in m <sup>3</sup> /h	<b>Anlagen ohne thermodynamische Luftbehandlung</b>	<b>Anlagen mit Lufterwärmung</b>	<b>Anlagen mit weiteren Luftbehandlungsfunktionen</b>
2.000 bis 10.000	SFP 5	SFP 6	SFP 6
10.000 bis 25.000	SFP 5	SFP 5	SFP 6
25.000 bis 50.000	SFP 4	SFP 5	SFP 5
größer 50.000	SFP 3	SFP 4	SFP 4

## Geschwindigkeitsklassen

VDI 3803: 2010



Gerät	Empfehlung	Mindestanforderung
Ohne thermodynamische Luftbehandlung	Klasse V4 (max. 3,0 m/s)	Klasse V5
Mit Lufferwärmung	Klasse V3 (max. 2,5 m/s)	Klasse V4 (max. 3,0 m/s)
Mit weiteren Luftbehandlungsfunktionen	Klasse V2 (max. 2,0 m/s)	Klasse V3 (max. 2,5 m/s)

## Geschwindigkeitsklassen

EN 13053: 2007



European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

Kategorie	Geschwindigkeit (m/s)
V1	max. 1,5
V2	> 1,5 – 2,0
V3	> 2,0 – 2,5
V4	> 2,5 – 3,0
V5	Keine Anforderung

## Luftgeschwindigkeitsklassen

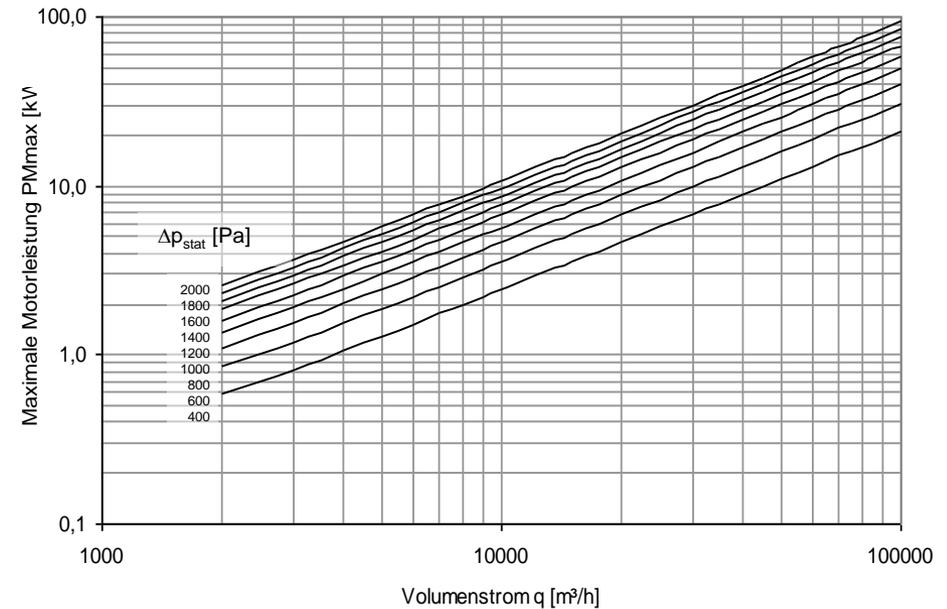


European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

EN 13053: 2012

Klasse	Luftgeschwindigkeit in m/s
V1	$\leq 1,6$ m/s
V2	$\leq 1,8$ m/s
V3	$\leq 2,0$ m/s
V4	$\leq 2,2$ m/s
V5	$\leq 2,5$ m/s
V6	$\leq 2,8$ m/s
V7	$\leq 3,2$ m/s
V8	$\leq 3,6$ m/s
V9	$> 3,6$ m/s

## Elektrische Leistungsaufnahme Ventilatormotor



$P_{\text{input max}}$  (kW)  
 $\Delta p_{\text{stat}}$  (Pa)  
 $q_v$  (m<sup>3</sup>/s)

Klasse	Formel
<b>Basis</b>	$P_{\text{Input max}} = \left( \frac{\Delta p_{\text{stat.}}}{450} \right)^{0,925} \times \left( q_v + 0,08 \right)^{0,95}$

## Leistungsaufnahmeklassen

EN 13053: 2012

Klasse	Leistungsaufnahme in bezug zu $Pm_{ref}$
P1	$\leq Pm_{ref} \cdot 0.85$
P2	$\leq Pm_{ref} \cdot 0.90$
P3	$\leq Pm_{ref} \cdot 0.95$
P4	$\leq Pm_{ref} \cdot 1.00$
P5	$\leq Pm_{ref} \cdot 1.06$
P6	$\leq Pm_{ref} \cdot 1.12$
P7	$> Pm_{ref} \cdot 1.12$

## Energieeffizienz

### Proportionalgesetze

Volumenstrom

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Druck

$$\left( \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2 = \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

Leistungsbedarf

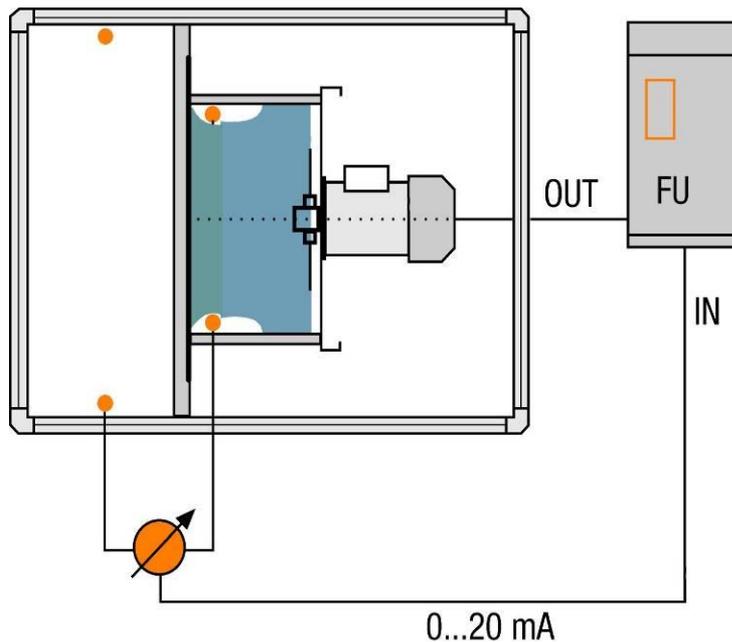
$$\left( \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^3 = \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

## Energieeffizienz

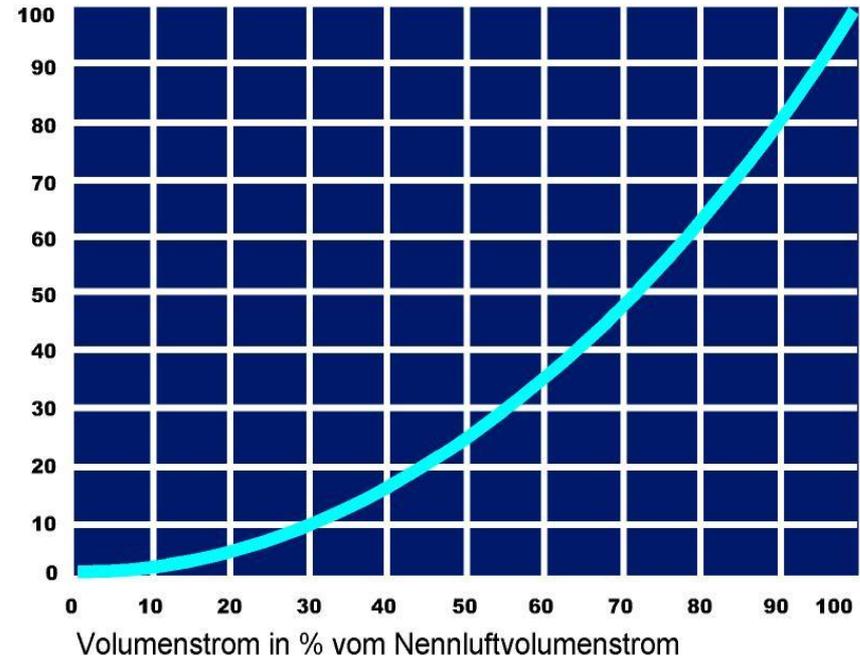
### Volumenstrom-Messeinrichtung

Wirkdruck zum Volumenstrom

$$\dot{V} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$



Wirkdruckdifferenz in % vom Nenndruck



## Energieeffizienz

### Proportionalgesetze

Übung:

$\dot{V}_1 = 10.000 \text{ m}^3/\text{h}$  Luft werden in einem RLT Gerät gegen einen Gesamtdruck von  $p_{t1} = 1.200 \text{ Pa}$  bei einer Drehzahl von  $n_1 = 1.783 \text{ min}^{-1}$  gefördert. Die Leistungsaufnahme beträgt in diesem Betriebspunkt  $P_{m1} = 5,7 \text{ KW}$ .

ges.: Anlagenparameter  $p_{t2}$ ,  $n_2$ ,  $P_{m2}$   
bei Reduzierung des Volumenstroms auf 80%  
(  $\dot{V}_2 = 8.000 \text{ m}^3 / \text{h}$  ).

## Energieeffizienz

### Proportionalgesetze

Lösung:

$$n_2 = \left( \dot{V}_2 / \dot{V}_1 \right) \cdot n_1 = (8.000 / 10.000) \cdot 1.783 = \underline{1.426 \text{ min}^{-1}}$$

( -20,0% )

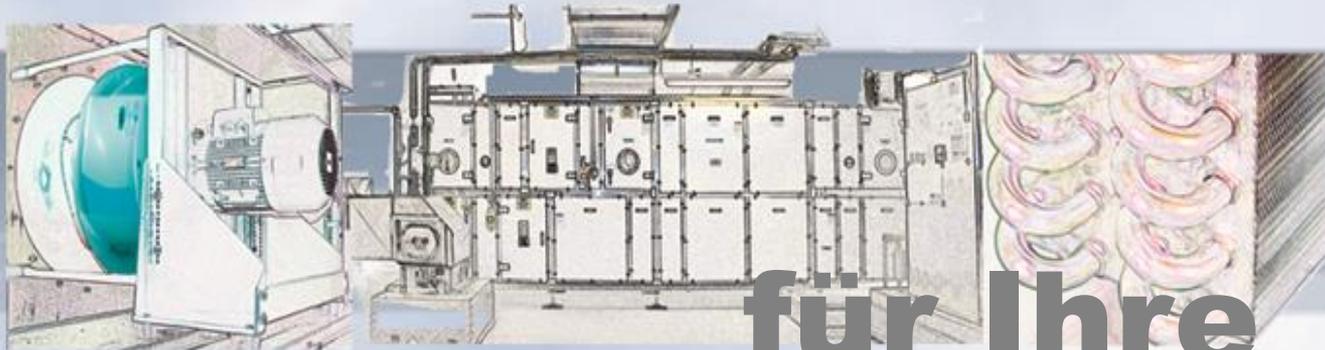
$$p_{t2} = \left( \dot{V}_2 / \dot{V}_1 \right)^2 \cdot p_{t1} = (8.000 / 10.000)^2 \cdot 1.200 = \underline{768 \text{ Pa}}$$

( -36,0% )

$$P_2 = \left( \dot{V}_2 / \dot{V}_1 \right)^3 \cdot P_1 = (8.000 / 10.000)^3 \cdot 5,7 = \underline{2,92 \text{ KW}}$$

( -48,8% )

# Herzlichen Dank



**für Ihre**  
**Aufmerksamkeit**

## Raumluftechnik Antriebe

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-  
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup  
c.kaup@umwelt-campus.de



HOCHSCHULE TRIER  
Umwelt-Campus Birkenfeld  
Umwelt macht Karriere.