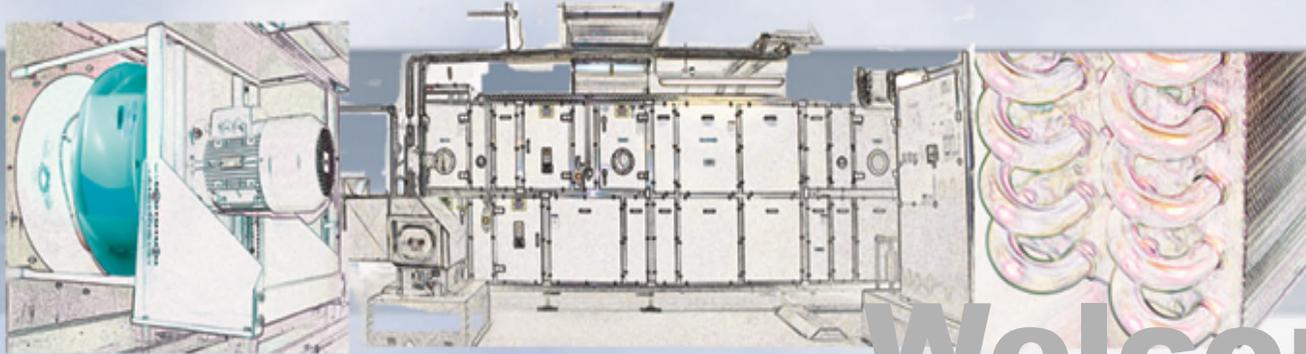


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik Antriebe

Wärmerückgewinnung und energieeffiziente
Raumlufttechnik

Boris Wollscheid (B. Eng.)
boris.wollscheid@howatherm.de

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



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen

Thermodynamische Luftaufbereitung

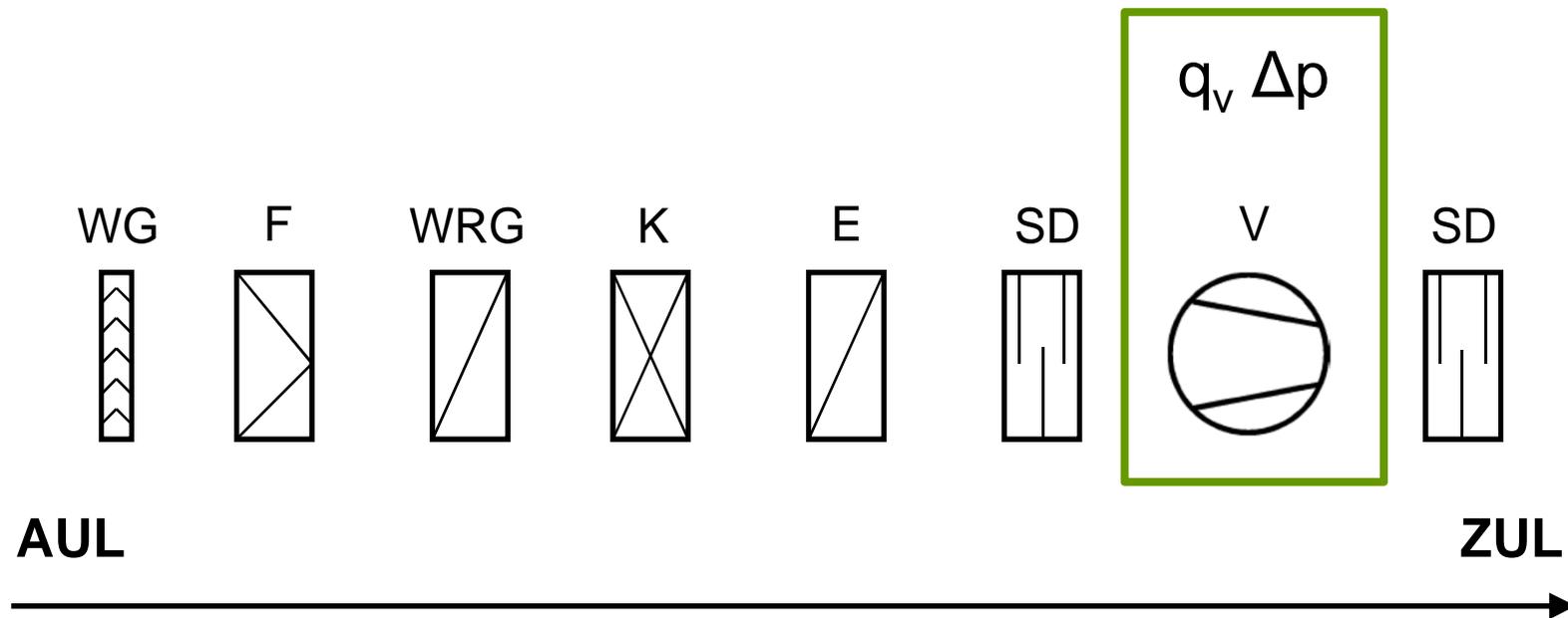
- Heizen
- Kühlen
- Befeuchten
- Entfeuchten



Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen

Thermodynamische Luftaufbereitung + Luftförderung

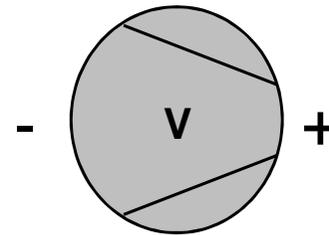
Beispiel RLT Anlage (Zuluftanlage)



Aufgaben Raumlufotechnischer Anlagen

Luftförderung

- Ventilator
- Motor
- Antrieb/Übersetzung
- Regelung



Luftleistung
 $P_L = q_v \cdot \Delta p$



Elektrische Leistung

$$P_m = q_v \cdot \Delta p \cdot 1 / \eta_s$$

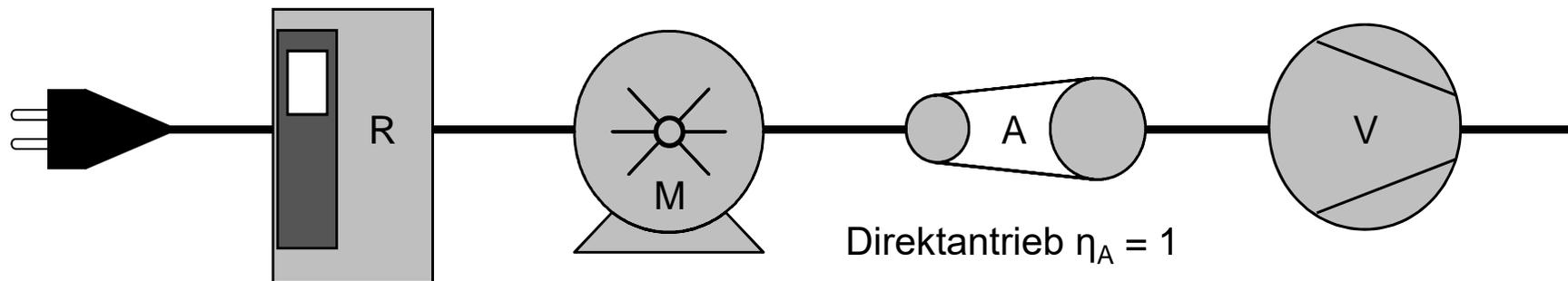
P_m	Elektrische Leistungsaufnahme [W]
q_v	Luftvolumenstrom [m^3/s]
Δp	Gesamtdruckdifferenz der Anlage [Pa]
η_s	Gesamtwirkungsgrad des Systems [-]

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

Ventilator • Motor • Antrieb • Regelung

Gesamtsystem – Wirkungsgrade

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



P_m

Elektrische Leistung

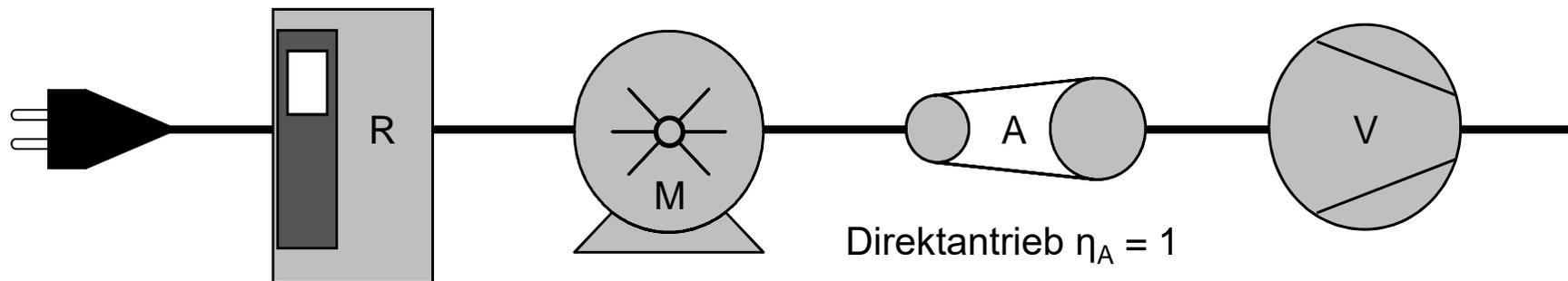
$$\eta_S = P_L / P_m$$

P_L

Luftleistung

Gesamtsystem – Leistungen

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



$$P_m = q_v \cdot \Delta p / \eta_S$$

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

Elektrische Leistung

$$P_N = q_v \cdot \Delta p / \eta_A / \eta_V$$

$$P_N = P_m \cdot \eta_R \cdot \eta_M$$

Wellenleistung

$$P_L = q_v \cdot \Delta p$$

Luftleistung

Energieeffizienz

$$P_m = q_v \cdot \Delta p \cdot 1 / \eta_s$$

P_m	Elektrische Leistungsaufnahme [W]
q_v	Luftvolumenstrom [m ³ /s]
Δp	Gesamtdruckdifferenz der Anlage [Pa]
η_s	Gesamtwirkungsgrad des Systems [-]



**Möglichkeiten zur
Effizienzsteigerung**

Energieeffizienz

$q_v \downarrow$

Proportionalgesetze, Affinitätsgesetze

Volumenstrom

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{q_{v2}}{q_{v1}}$$

Druck

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left(\frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^2 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

Leistungsbedarf

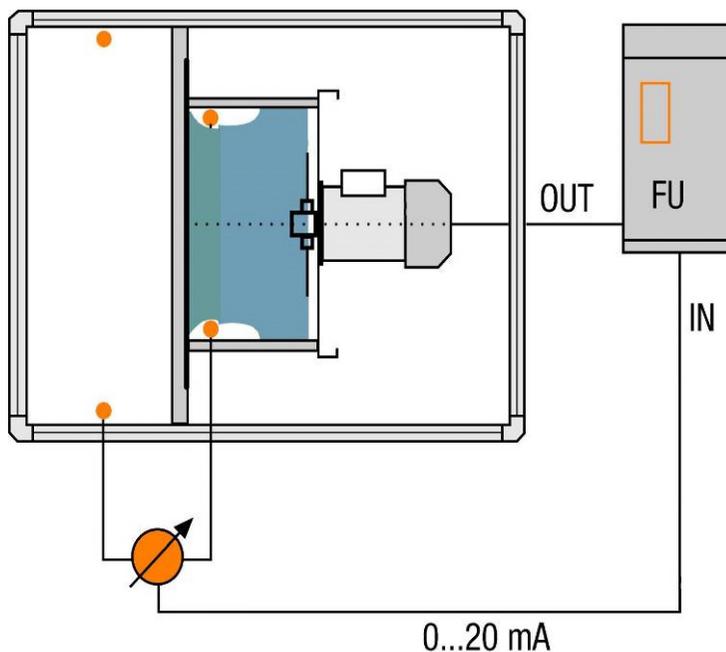
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^3 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Energieeffizienz

$q_v \downarrow$

Volumenstrom-Messeinrichtung

Ausstattung mit Wirkdruckmessung zur Volumenstromregelung



$$q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p_{\text{wirk}}}$$

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_{\text{wirk}}}$$

k = Düsenbeiwert

Δp_{wirk} = Wirkdruck an der Einlaufdüse

Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2$$

Δp Differenzdruck der Anlage [Pa]

ξ Strömungsbeiwert [-]

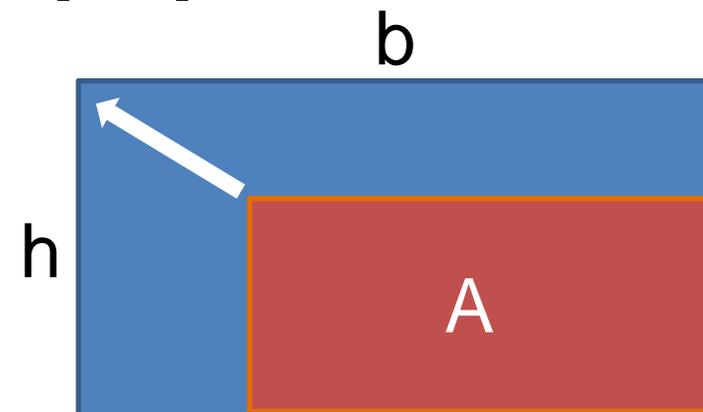
ρ Luftdichte [kg/m³]

w Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

$$w = q_v / A$$

q_v Volumenstrom [m³/s]

A Querschnittsfläche [m²]



Klassifizierung Luftgeschwindigkeiten



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

DIN EN 13053: 2019

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

Anforderung Luftgeschwindigkeiten

VDI 3803-1: 2020

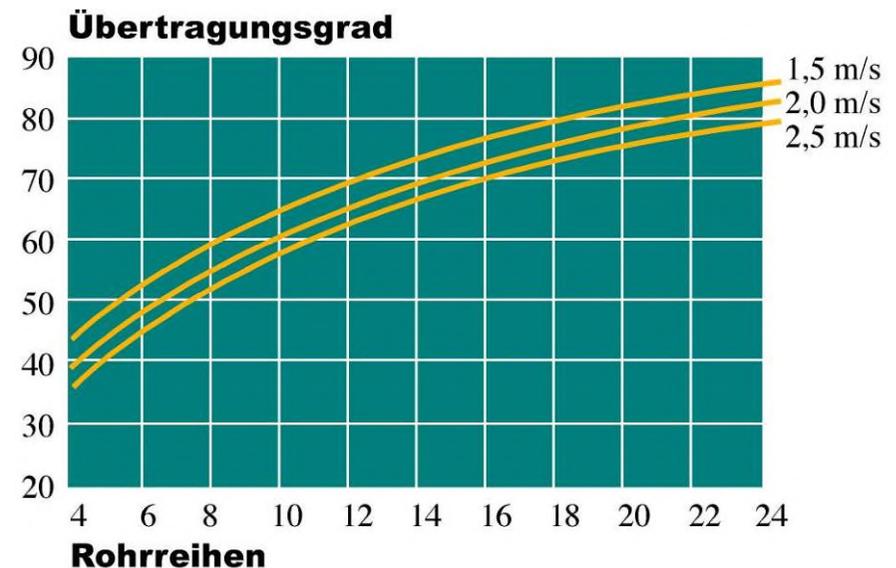
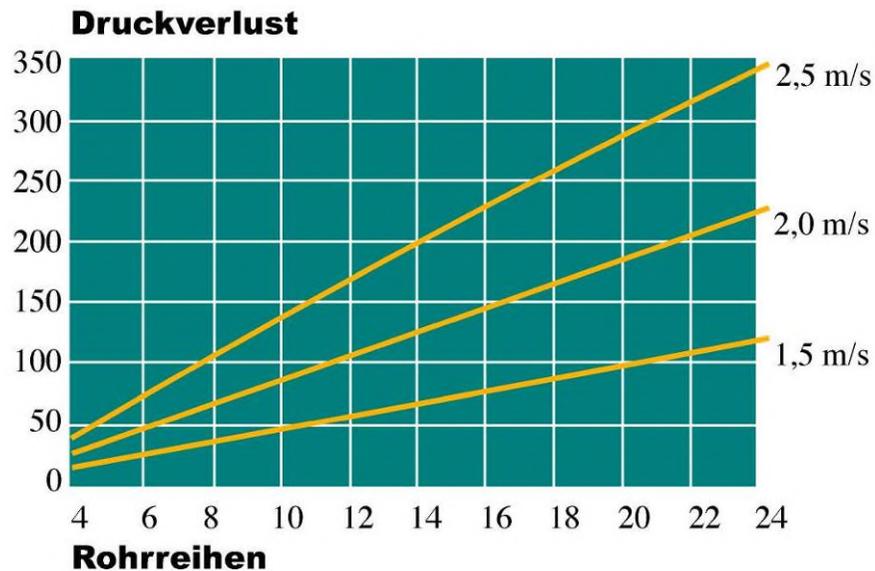


Gerät	Empfehlung	Mindestanforderung
Ohne thermodynamische Luftbehandlung	Klasse V4 (max. 2,2 m/s)	Klasse V5 (max. 2,5 m/s)
Mit Lufterwärmung	Klasse V3 (max. 2,0 m/s)	Klasse V4 (max. 2,2 m/s)
Mit weiteren Luftbehandlungsfunktionen	Klasse V2 (max. 1,8 m/s)	Klasse V3 (max. 2,0 m/s)

Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

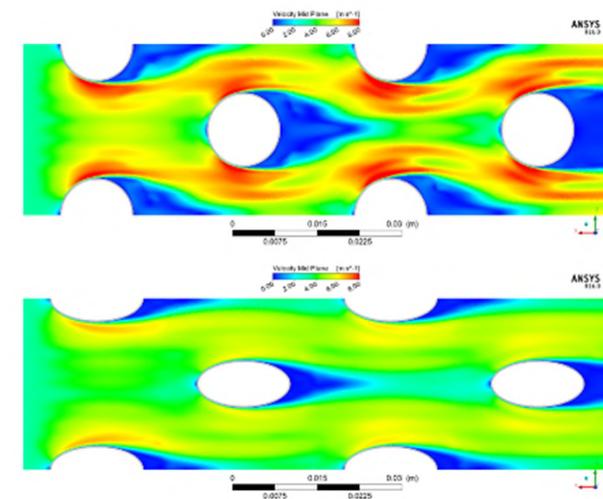
Anströmgeschwindigkeiten (Beispiel WRG - KVS)



Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

Verwendung strömungsoptimierter Komponenten
(ξ reduzieren)



Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

Entfall von Komponenten (z. B. TA, Erhitzer, Kühler)

Bypässe in Komponenten

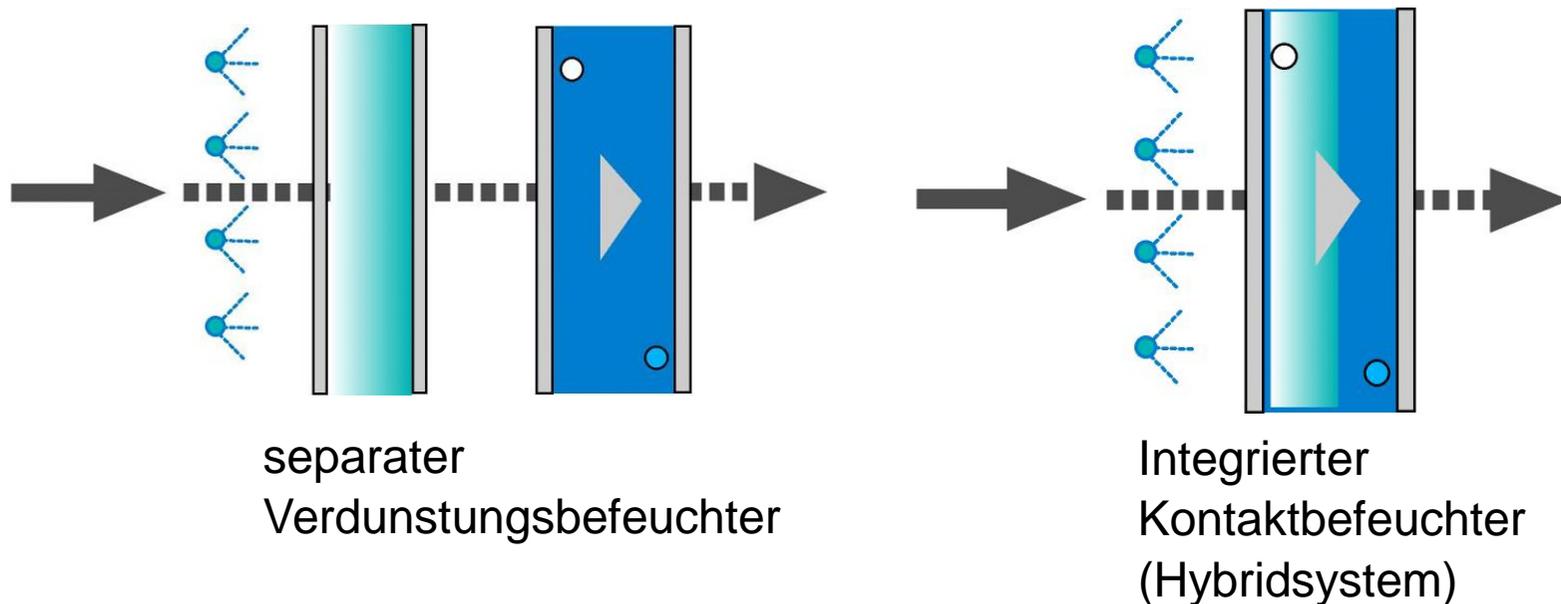
Hybridkomponenten (Befeuchtung)



Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

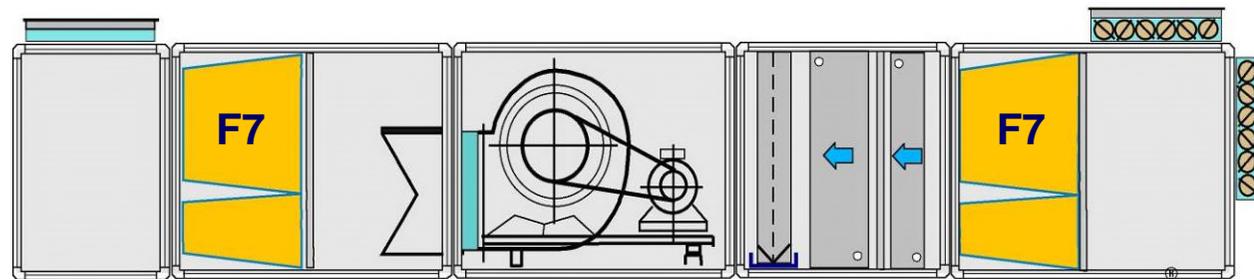
Hybridkomponenten (Befeuchtung)



Energieeffizienz

$\Delta p \downarrow$

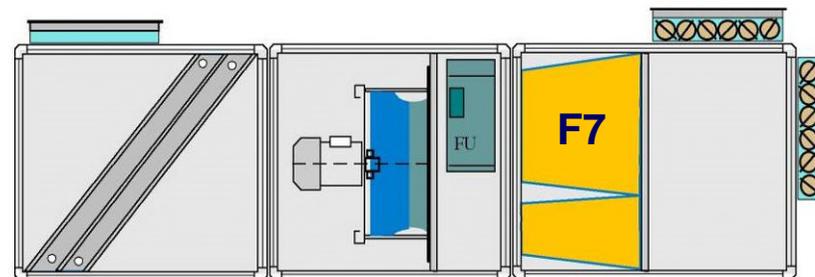
Auswahl und Anordnung der Komponenten
Notwendigkeit von Komponenten



Filterklassifizierung

EN 779: F7

ISO 16890: ISO ePM1 $\geq 60\%$



Energieeffizienz

VDI 3803-1: 2020



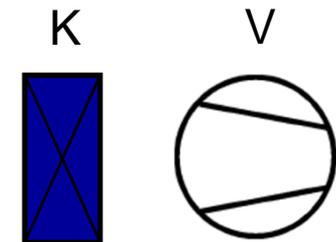
Mehrfachfunktionale Nutzung von Komponenten der WRG (z. B. Vorerwärmer, Nacherwärmer, Kühler, indirekte Verdunstungskühlung, Rückkühlwerk, freie Kühlung)

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

Anordnung Kühler

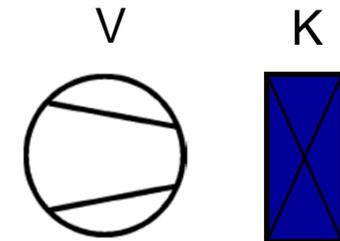
Saugseitig vom Ventilator

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



Druckseitig vom Ventilator

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



„Ventilatorwärme“

Elektrische Leistung → Erwärmung der Luft

$$P_m = \dot{Q}$$

$$P_m = q_v \cdot \Delta p / \eta_s$$

$$\dot{Q} = q_m \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T$$

$$q_v \cdot \Delta p / \eta_s = q_m \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = q_v \cdot \Delta p / \eta_s / q_m / c_{p,L}$$

$$\Delta T = \Delta p / \eta_s / \rho_L / c_{p,L}$$

$$\Delta T = P_m / q_m / c_{p,L}$$

„Ventilatorwärme“

Beispiel

$$q_v = 10.000 \text{ m}^3/\text{h} , \Delta p = 800 \text{ Pa} , \eta_s = 0,65$$

$$P_m = q_v \cdot \Delta p / \eta_s$$

$$P_m = 10.000 / 3600 \cdot 800 / 0,65 = \underline{\underline{3.419 \text{ W}}}$$

$$\Delta T = P_m / q_m / c_{p,L}$$

$$\Delta T = 3.419 / (10.000 / 3600 \cdot 1,2) / 1.006 = \underline{\underline{1 \text{ K}}}$$

„Ventilatorwärme“

Beispiel

$$q_v = 10.000 \text{ m}^3/\text{h} , \Delta p = 800 \text{ Pa} , \eta_s = 0,65$$

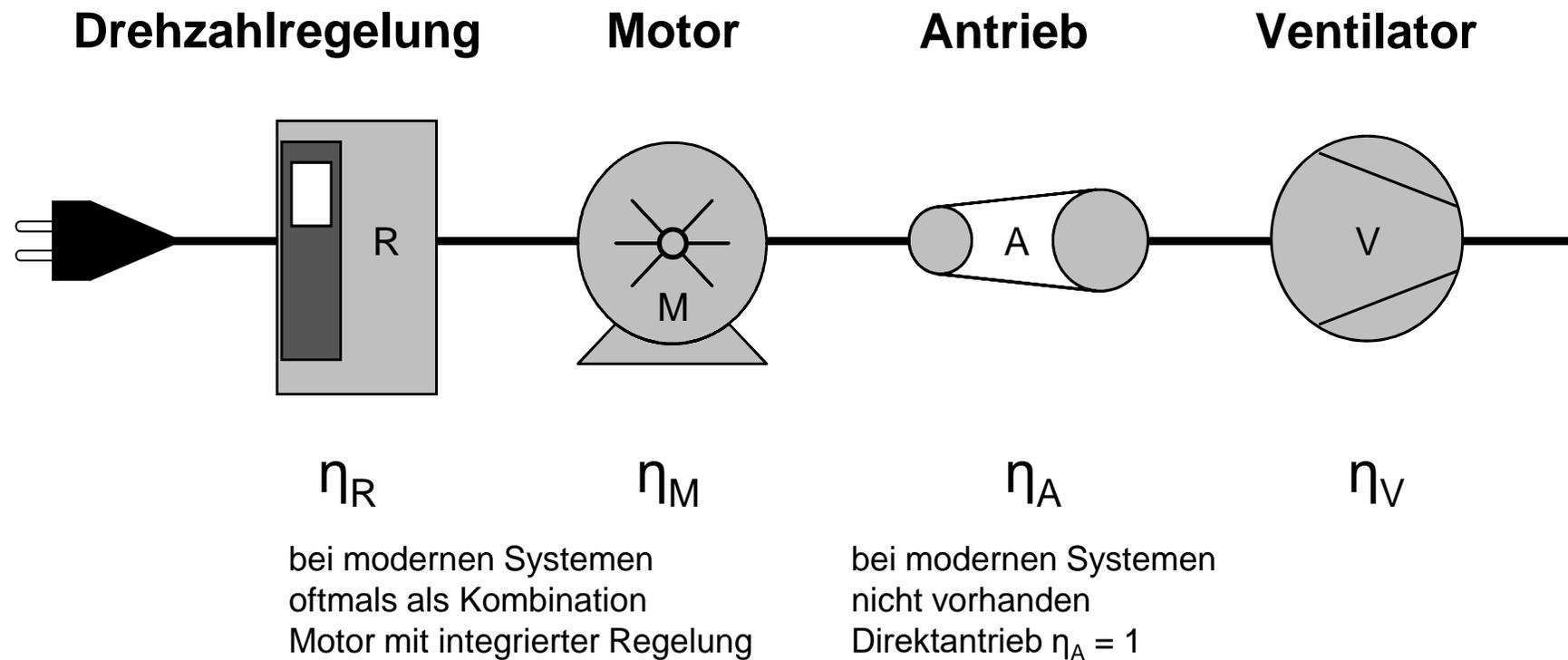
$$\Delta T = \Delta p / \eta_s / \rho_L / c_{p,L}$$

$$\Delta T = 800 / 0,65 / 1,2 / 1.006 = \underline{\underline{1 \text{ K}}}$$

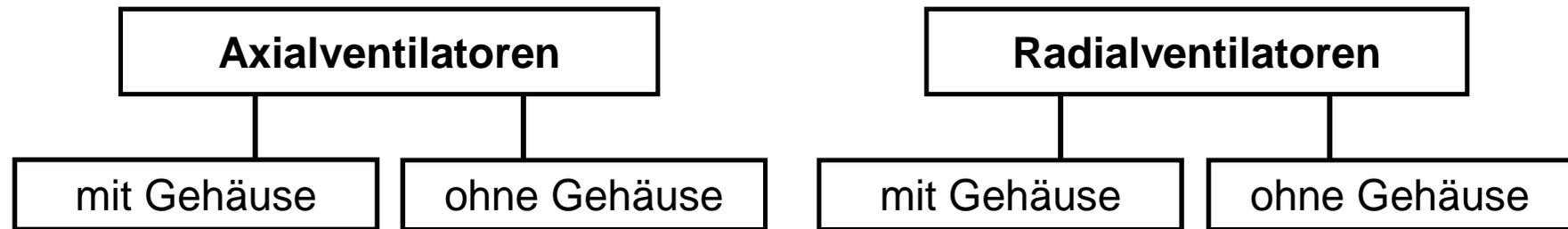
Effizienz des Antriebssystems ist auch thermodynamisch relevant

Gesamtsystem - Komponenten

$\eta_s \uparrow$



Ventilatorbauformen

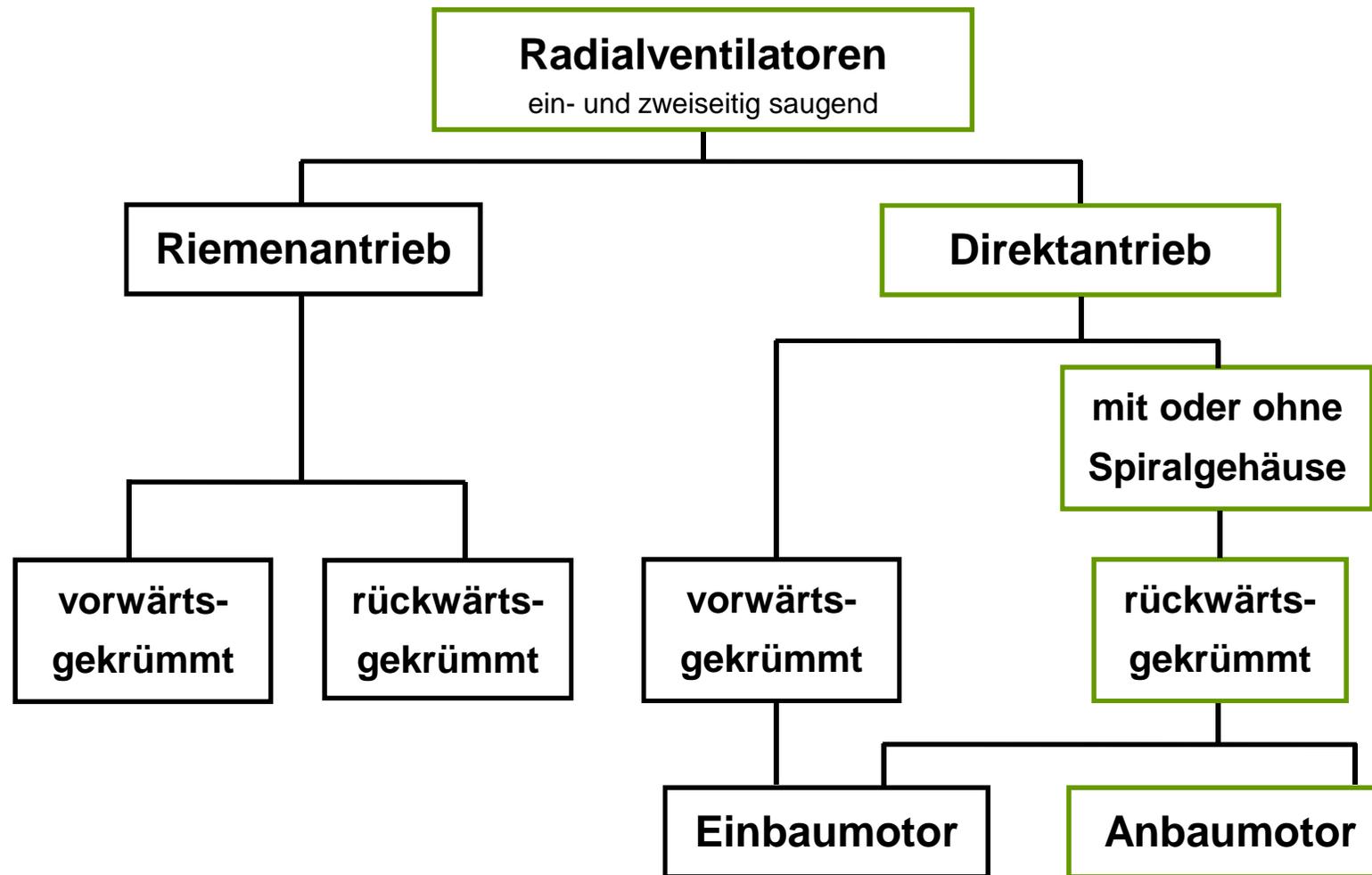


Einsatz z. B. in Wärmepumpen



Einsatz in RLT-Geräten

Ventilatorbauformen



Radialventilator



Direktantrieb, rückwärtsgekrümmt

Wirkungsgrade η_v im Bestpunkt

Baugröße	7 Schaufeln profiliert	6 Schaufeln hohlprofiliert	5 Schaufeln 3D - profiliert
250	71 %	73 %	73 %
315	72 %	76 %	75 %
400	73 %	76 %	77 %
500	73 %	77 %	77 %
710	73 %	77 %	79 %
900	73 %	77 %	79 %
1000	73 %	77 %	79 %

Auslegung

Ventilator – Kennfeld

Betriebspunkt

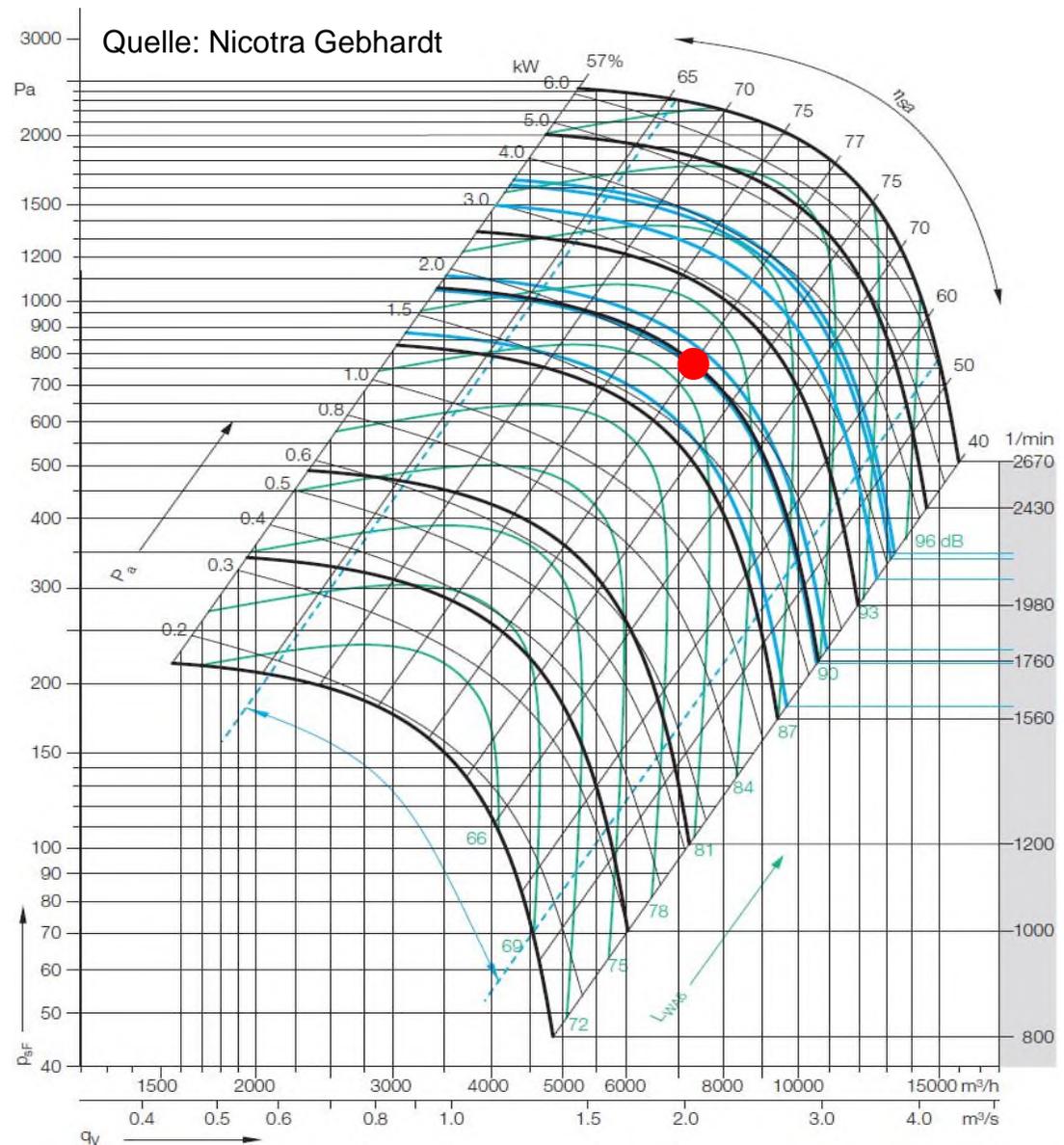
$q_V, \Delta p$

Ergebnis

n_V, P_N, L_w

Motorauswahl

n_N, P_N

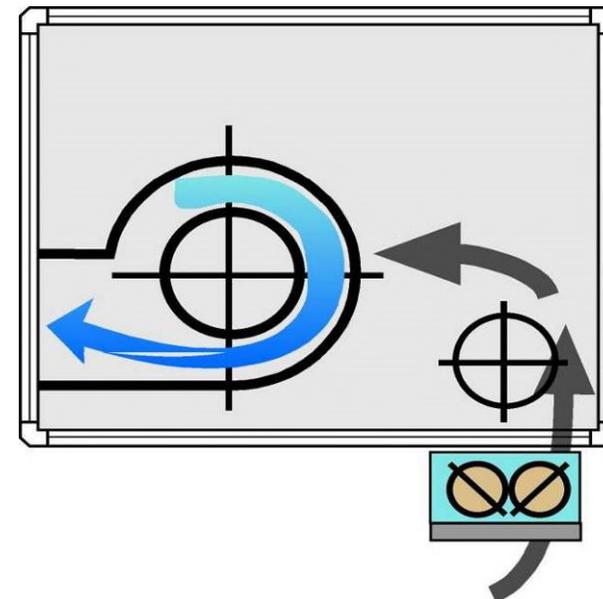
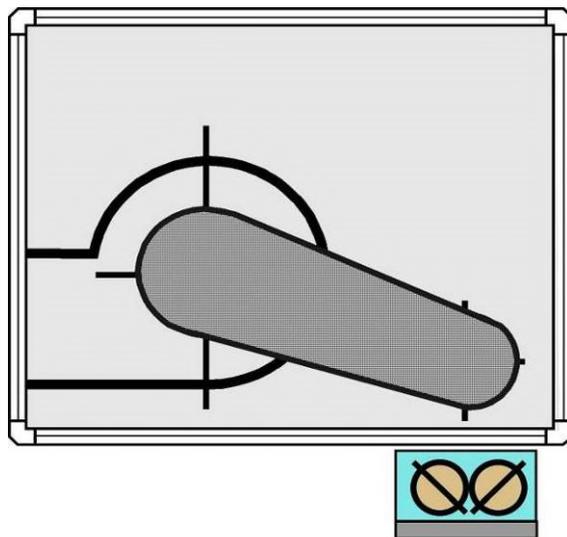


Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Einbaudruckverlust

Ventilator mit Spiralgehäuse

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

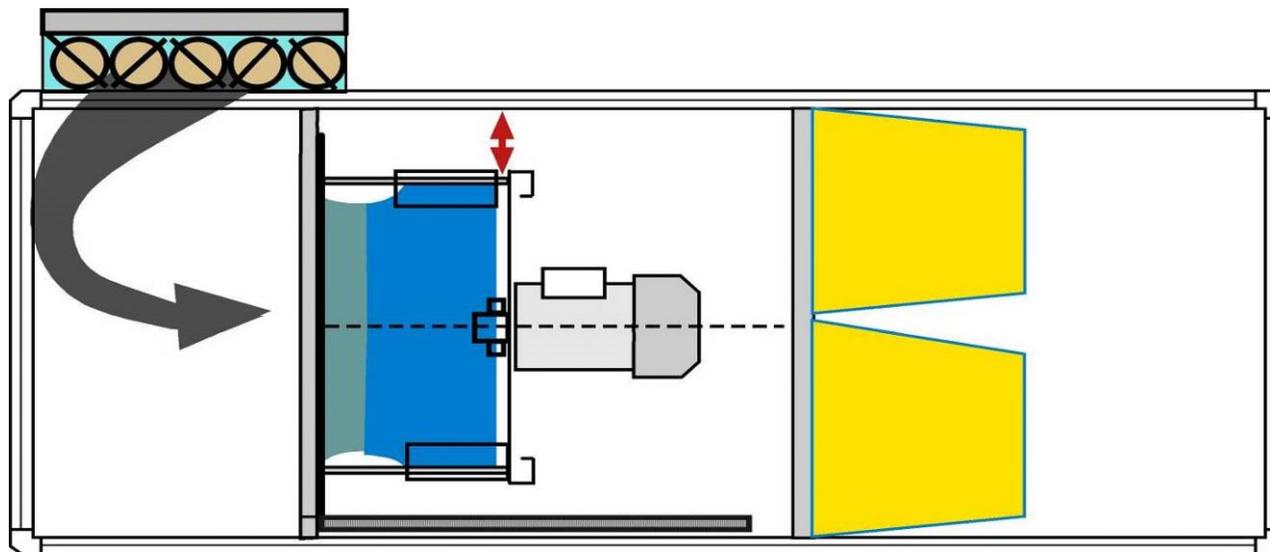


Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Einbaudruckverlust

Ventilator ohne Gehäuse – freilaufendes Rad

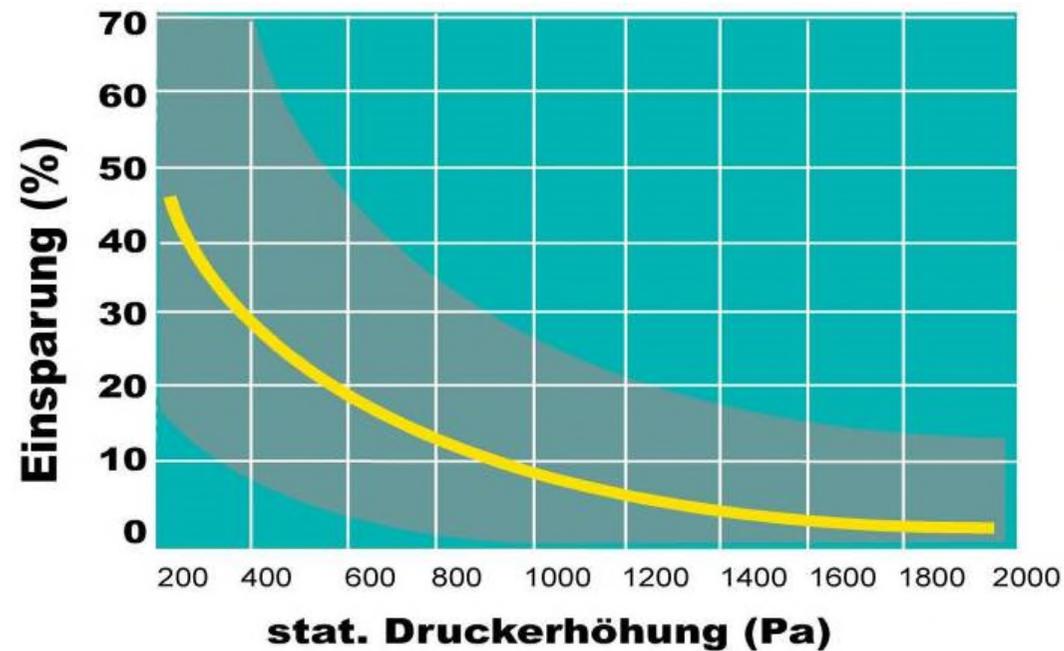
$$\sum \Delta p_{EV} = 0,5 - 1,5 \cdot p_{dyn}$$



Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Ventilatorbauform

Einsparpotential freilaufendes Rad im Vergleich zum Gehäuseventilator





Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Berechnung Einbaudruckverlust

a) Direktgetriebene freilaufende Ventilatoren

Ansaugsituation:

- Ansaug normal (bei $a < 0,5 \cdot d_{\text{nenn}}$) \Rightarrow nicht zulässig
Ansaug normal (bei $a \geq 0,5 \cdot d_{\text{nenn}}$) \Rightarrow kein Einfluss
Ansaugschutz $\Rightarrow k_1 = 0,5 \cdot \Delta p_{\text{dyn}}$

Ausblassituation:

- $a \geq 0,6 \cdot d_{\text{nenn}}$ $\Rightarrow k_2 = 0,1 \cdot \Delta p_{\text{dyn}}$
 $a \geq 0,3 \cdot d_{\text{nenn}}$ $\Rightarrow k_2 = \left(-6,8 \cdot \left(\frac{a}{d_{\text{nenn}}} \right)^3 + 16,9 \cdot \left(\frac{a}{d_{\text{nenn}}} \right)^2 - 13,9 \cdot \left(\frac{a}{d_{\text{nenn}}} \right) + 3,82 \right) \cdot \Delta p_{\text{dyn}}$
 $a < 0,3 \cdot d_{\text{nenn}}$ \Rightarrow nicht zulässig

$$\text{Einbauverluste} = k_1 + k_2$$



Energieeffizienz

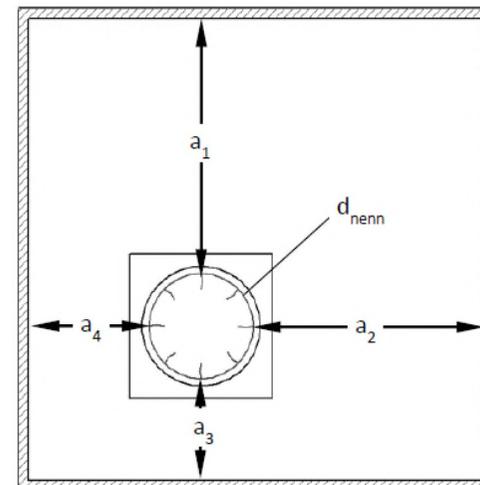
Interne Druckverluste – Berechnung Einbaudruckverlust

Lafraddurchmesser d_{nenn}

Beispiel Baugröße 500 $\rightarrow d_{\text{nenn}} = 500 \text{ mm}$

mittlerer Wandabstand a

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4}$$





Energieeffizienz

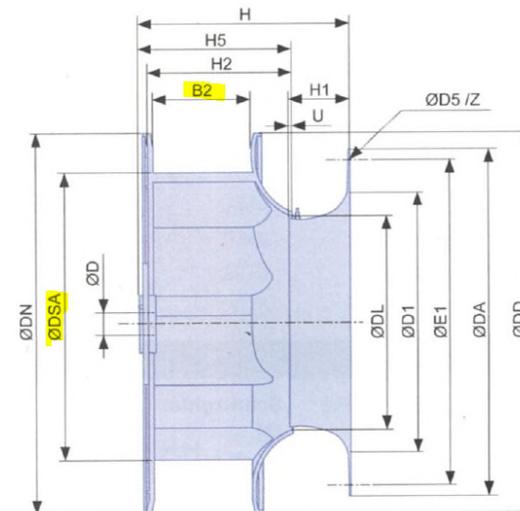
Interne Druckverluste – Berechnung Einbaudruckverlust

Dynamischer Druck Δp_{dyn}

Bezug: abströmseitige Austrittsfläche des Ventilators

$$\Delta p_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2$$

$$\Delta p_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (q_v / A)^2$$



Quelle: Ziehl Abegg

Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Leitapparat bei axialer Zuströmung



Wirkungsgrad ▲ Turbulenz ▼

Energieeffizienz

Interne Druckverluste – Leitapparat / Vorleitgitter
optimiert für entsprechende Ventilatoreinlaufdüse



Quelle: EBM Papst



Quelle: Ziehl Abegg

Turbulenz ▼ Geräusch ▼

Motorbauformen

AC-Motor

Asynchron

Drehstrommotor



Drehfeld:

asynchron

Drehzahlregelung:

Frequenzumrichter

EC-Motor

Elektrisch kommutiert



Drehfeld:

synchron

Drehzahlregelung:

integrierte Kommutierung

PM-Motor

Permanent Magnet



Drehfeld:

synchron

Regelung über

spezieller Frequenzumrichter

Asynchronmotor



$\eta_s \uparrow$

4 polig (n = 1500 1/min)

Nennwirkungsgrade η_M (Vollast)

Nennleistung	IE2	IE3	IE4
1,1 kW	81,4 %	84,1 %	-
2,2 kW	84,3 %	86,7 %	89,5 %
4,0 kW	86,6 %	88,6 %	90,4 %
7,5 kW	88,7 %	90,4 %	92,6 %
15,0 kW	90,6 %	92,1 %	93,9 %
30,0 kW	92,3 %	93,6 %	94,9 %
55,0 kW	93,5 %	95,1 %	95,7 %

Wirkungsgradklassen Asynchronmotoren

IEC 60034-30-1:2014

Klasse	Bezeichnung
IE1	Standard Efficiency
IE2	High Efficiency
IE3	Premium Efficiency
IE4	Super Premium Efficiency
IE5	Ultra Premium Efficiency

IE = International Efficiency

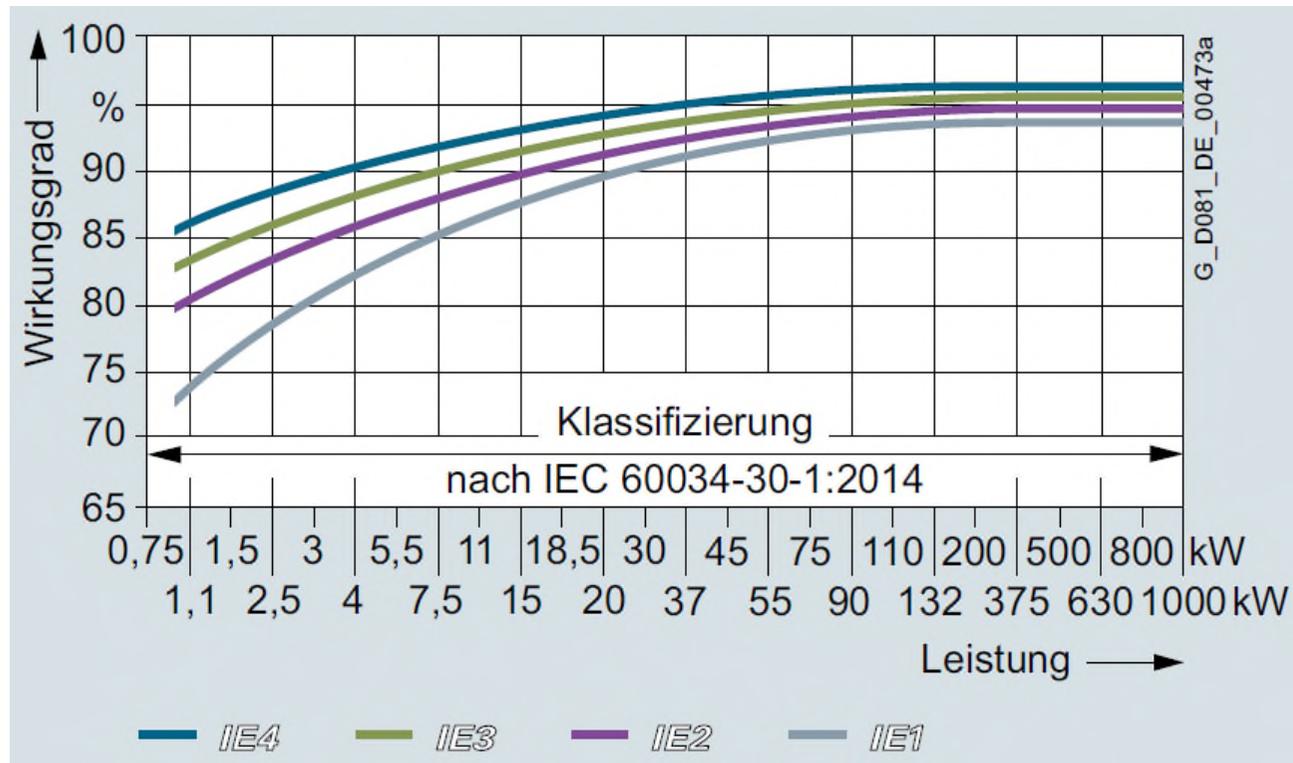
Geltungsbereich der IEC 60034-30-1 Wirkungsgrad-Regelung

- Leistungsbereich: 0,12 - 1.000 kW
- Spannungsbereich: Niederspannungsmotoren bis 1.000 V
- Netzfrequenz: 50 und 60 Hz
- Polanzahl: 2, 4, 6, 8
- Schutzart: alle
- Betriebsart: S1 (Dauerlast) sowie Elektromotoren, die auf andere Betriebsarten ausgelegt sind, aber dennoch bei Bemessungsleistung im Dauerbetrieb betrieben werden können
- Motoren mit zwei umschaltbaren Bemessungsspannungen (solange der magnetische Fluss bei beiden Spannungen gleich ist)
- Temperaturbereich: -20°C bis +60°C
- Aufstellhöhe: Bis 4.000 m ü.NN

Quelle: Menzel

Mindestwirkungsgrade Asynchronmotoren

IEC 60034-30-1:2014



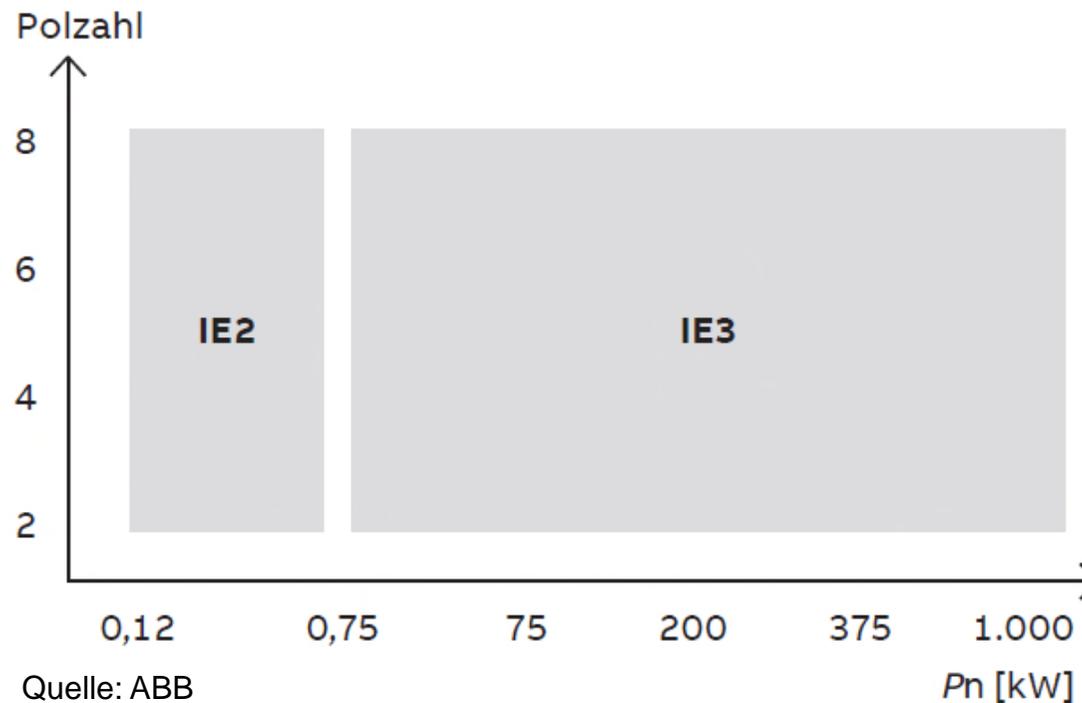
Quelle: Siemens

4 polig / 50 Hz

Anforderungen Asynchronmotoren

EU 2019/1781

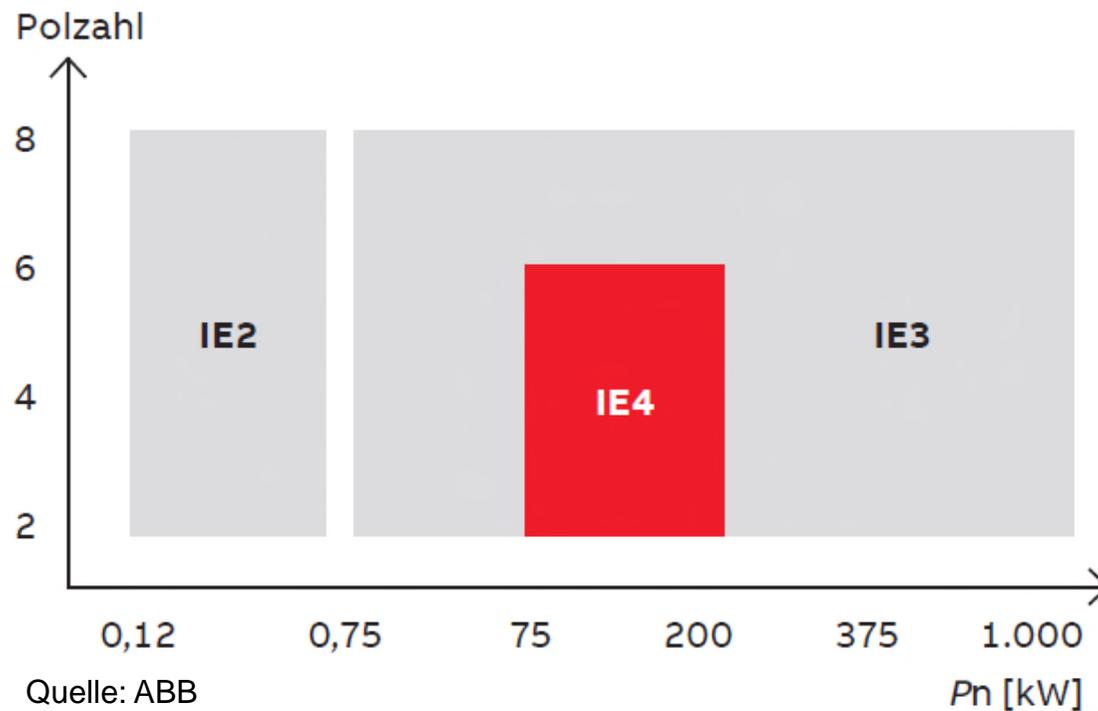
ab 01.07.2021 für Standardmotoren



Anforderungen Asynchronmotoren

EU 2019/1781

ab 01.07.2023 für Standardmotoren

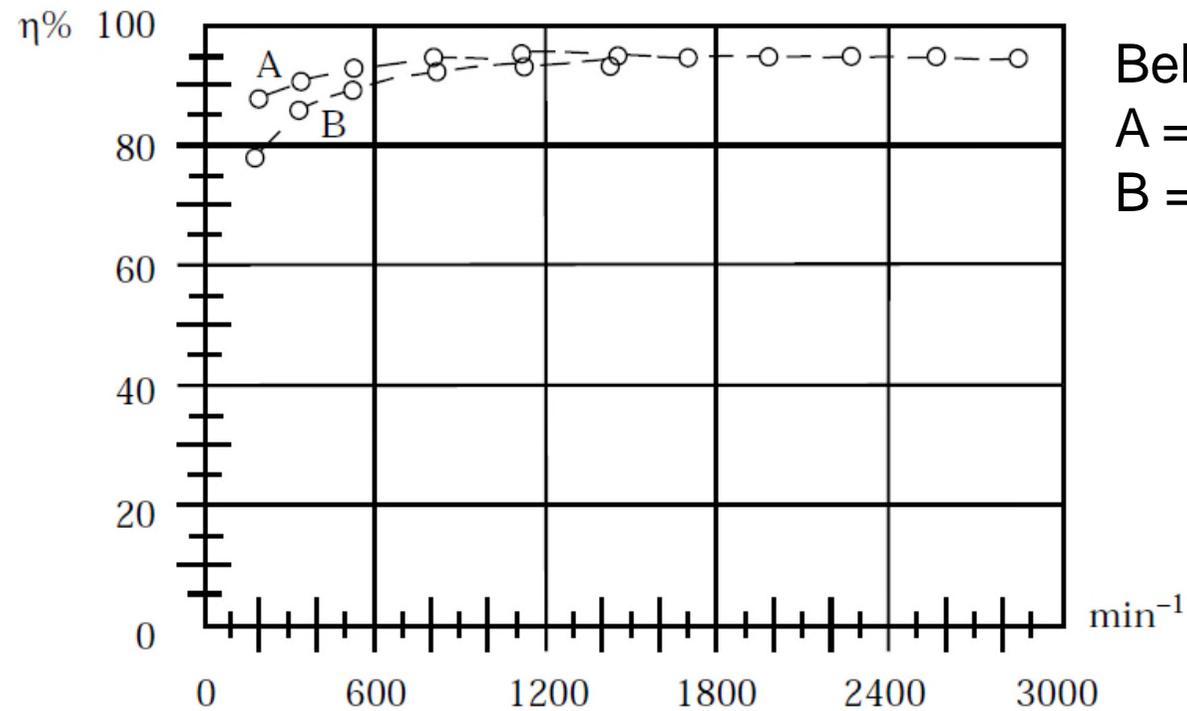


Energieeffizienz

Drehzahlregelung – Frequenzumrichter



$\eta_s \uparrow$



Belastung
A = 100 %
B = 25 %

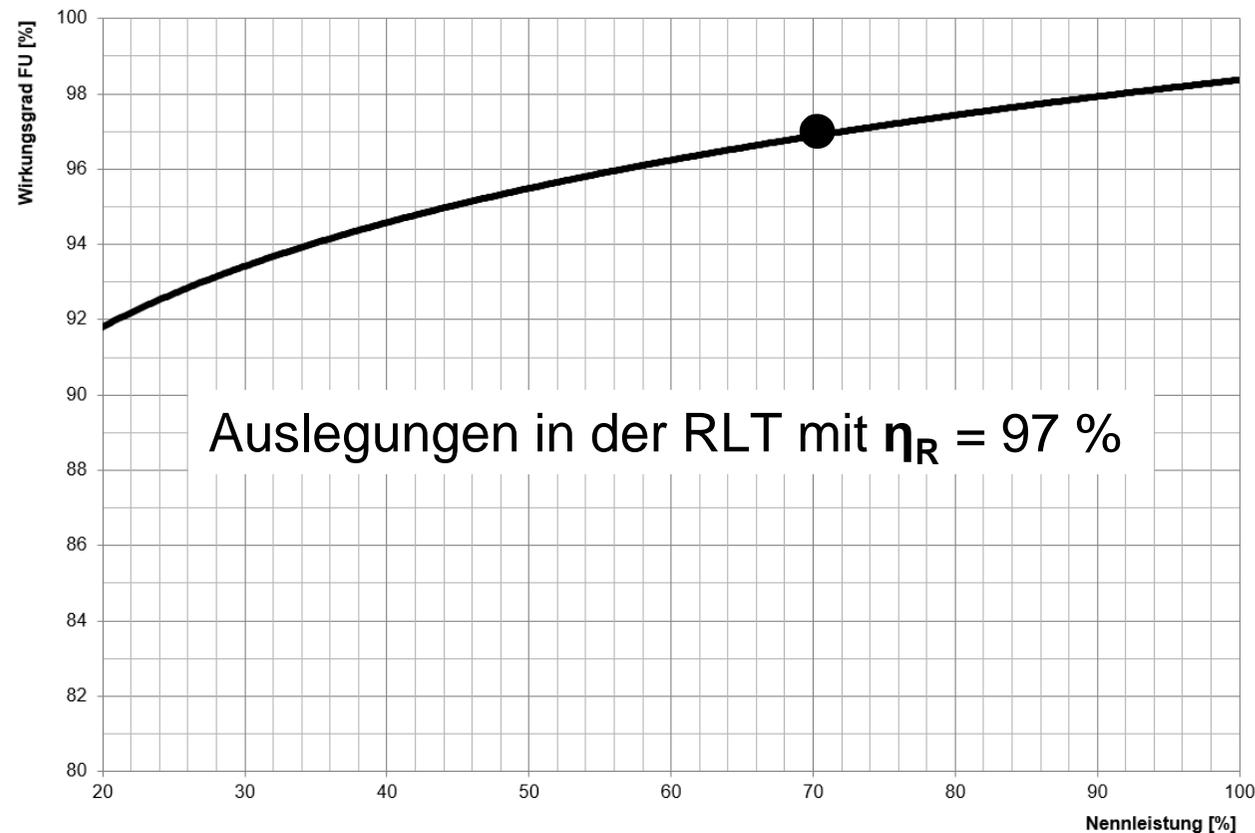
Quelle: Danfoss

Energieeffizienz



$\eta_s \uparrow$

Drehzahlregelung – Frequenzumrichter



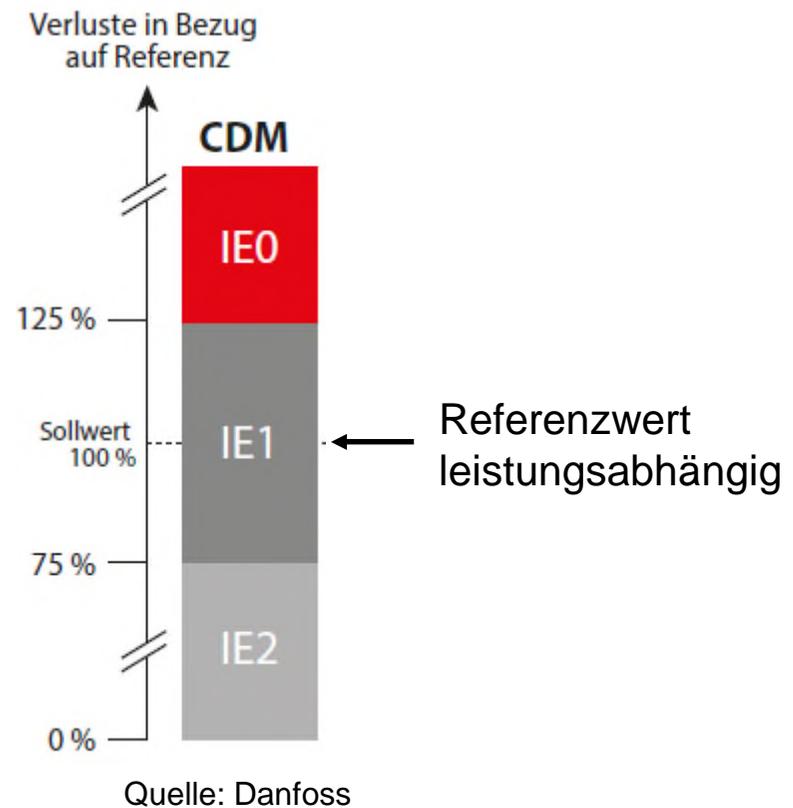
Messung HOWATHERM
Nennleistung 4,0 KW

Wirkungsgradklassen Frequenzumrichter

IEC 61800-9-2

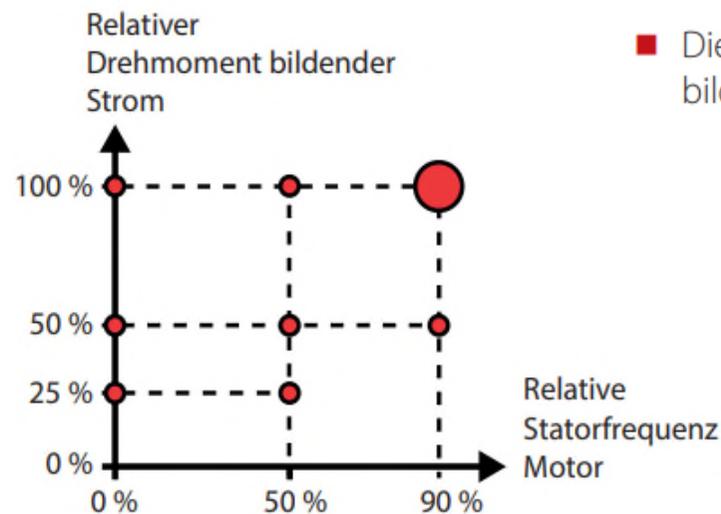
Klasse	Einordnung
IE0	ab 25 % höhere Verluste
IE1	Referenzverluste
IE2	ab 25 % niedrigere Verluste

IE = International Efficiency



Wirkungsgradklassen Frequenzumrichter

IEC 61800-9-2



■ Die IE-Klasse ist bei 90% Frequenz und 100% des Drehmoment bildenden Stroms definiert

- = Referenzpunkt, an dem die IE-Klasse definiert ist
- = Teillastpunkte gemäß Standard

Quelle: Danfoss

Mindestwirkungsgrad Frequenzumrichter

IEC 61800-9-2 und EU 2019/1781

Klasse	Max. Verlustleistung / Referenzverlust		Min. η_R
IE0	25 % höhere Verluste	0,726 kW	91,4 %
IE1	Referenzverluste	0,581 kW	93,1 %
IE2	25 % niedrigere Verluste	0,436 kW	94,8 %

Beispiel:

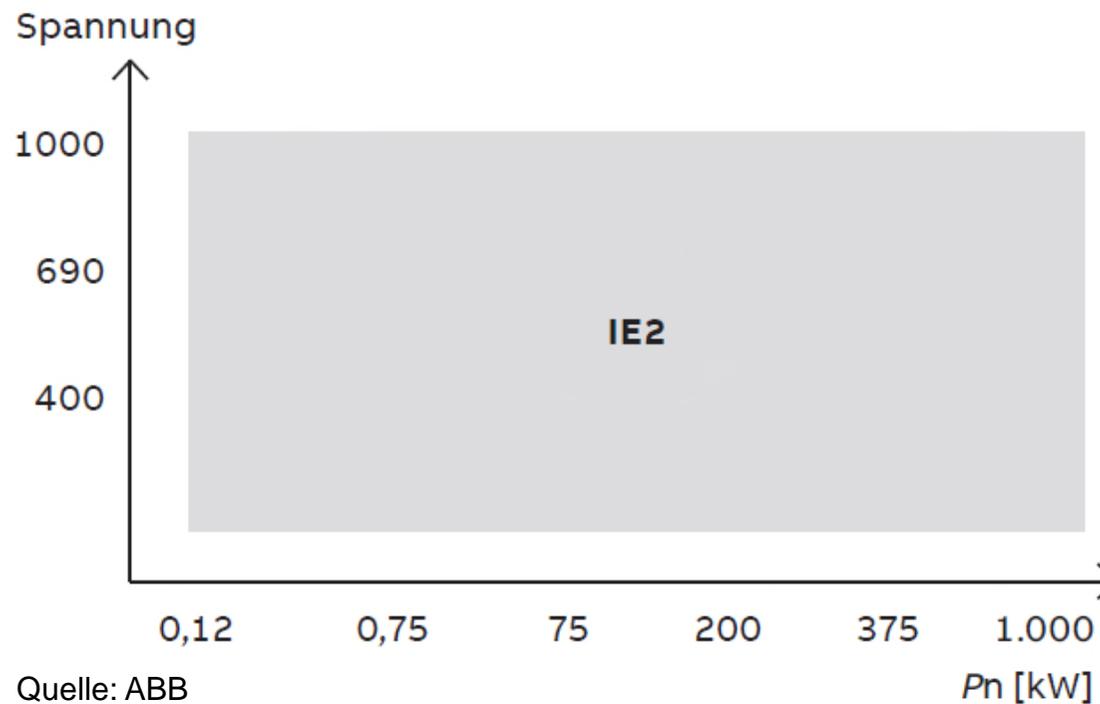
Motornennleistung = **7,5 kW** bzw. elektrische Wirkleistungsabgabe FU = 8,46 kW

Zuordnung zur EU 2019/1781: Scheinausgangsleistung FU = **9,95 kVA** (cosPhi = **0,85**)

Anforderungen Drehzahlregelung

EU 2019/1781

ab 01.07.2021 für Frequenzumrichter





Gesamtsystem – Wirkungsgrade

Teillastabwertung

Asynchronmaschinen

$$\eta_S = \eta_V \cdot \eta_M \cdot \eta_A \cdot \eta_R \cdot f_{TL}$$

$$f_{TL} = - 0,00004 \cdot (LB)^2 + 0,008 \cdot (LB) + 0,6$$

$$LB = P_N / P_{N \text{ Motor}}$$

f_{TL} Teillastwirkungsgrad

LB Lastbereich [%]

Klassifizierung Leistungsaufnahme



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

DIN EN 13053: 2019

$$P_{m,ref} = (\Delta p / 450)^{0,925} \cdot (q_v + 0,08)^{0,95}$$

$$P_m = q_v \cdot \Delta p \cdot 1 / \eta_s$$

P_m	Elektrische Leistungsaufnahme [W]
$P_{m,ref}$	Bezugswert der elektrischen Leistung [W]
q_v	Volumenstrom [m ³ /s]
Δp	statische Gesamtdruckerhöhung [Pa]

Klassifizierung Leistungsaufnahme

DIN EN 13053: 2019

Klasse	P_m maximal in kW
P1	$\leq 0,85 * P_{m,ref}$
P2	$\leq 0,90 * P_{m,ref}$
P3	$\leq 0,95 * P_{m,ref}$
P4	$\leq 1,00 * P_{m,ref}$
P5	$\leq 1,06 * P_{m,ref}$
P6	$\leq 1,12 * P_{m,ref}$
P7	$> 1,12 * P_{m,ref}$

Spezifische Ventilatorleistung SFP

DIN EN 16798-3: 2017

SFP = Specific Fan Power

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

P_{SFP} Spezifische Ventilatorleistung [Ws/m³]

P elektrische Leistungsaufnahme [W]

q_v Auslegungsluftvolumenstrom [m³/s]

Δp_{stat} statische Gesamtdruckdifferenz [Pa]

η_{stat} statischer Systemwirkungsgrad Ventilatorsystem [-]

SFP – Klassifizierung

DIN EN 16798-3: 2017

SFP-Klasse	P_{SFP}
SFP 0	$< 300 \text{ Ws/m}^3$
SFP 1	$\leq 500 \text{ Ws/m}^3$
SFP 2	$\leq 750 \text{ Ws/m}^3$
SFP 3	$\leq 1.250 \text{ Ws/m}^3$
SFP 4	$\leq 2.000 \text{ Ws/m}^3$
SFP 5	$\leq 3.000 \text{ Ws/m}^3$
SFP 6	$\leq 4.500 \text{ Ws/m}^3$
SFP 7	$> 4.500 \text{ Ws/m}^3$

P_{SFP} – Erweiterung

DIN EN 16798-3: 2017

Komponente	P_{SFP}
Zusätzliche maschinelle Filterstufe	+ 300 Ws/m ³
HEPA Filter nach EN 1822-3	+ 1.000 Ws/m ³
Gasfilter	+ 300 Ws/m ³
WRG Klasse H2 oder H1 **	+ 300 Ws/m ³

* ab der zweiten Filterstufe gem. RLT-Richtlinie Zertifizierung

** Wirkungsgrad der WRG gem. DIN EN 13053 $\eta_{WRG} \geq 70\%$

Richtwerte SFP

VDI 3803-1: 2020



Luftvolumenstrom in m ³ /h	Anlagen ohne thermodynamische Luftbehandlung	Anlagen mit Lufterwärmung	Anlagen mit weiteren Luftbehandlungs- funktionen
2.000 bis 4.000	SFP 5	SFP 5	SFP 5
4.000 bis 25.000	SFP 4	SFP 4	SFP 4
25.000 bis 50.000	SFP 3	SFP 4	SFP 4
größer als 50.000	SFP 3	SFP 3	SFP 3

Energieeffizienz

VDI 3803-1: 2020



Empfehlungen zum Elektroenergiebedarf

Empfehlung max. SFP Werte

Empfehlung max. Luftgeschwindigkeiten im RLT-Gerät

Empfehlung max. Luftgeschwindigkeiten im Kanal (5 m/s)

Empfehlung zum Einsatz effizienter Motoren (IE3 und IE4)

Empfehlung zum Einsatz freilaufender Ventilatoren

Empfehlung zur einstufigen Filterung

Anforderungen Ventilatoren

EU 327/2011

ab 01.01.2013 für Radialventilatoren freilaufend

Ventilortyp	Messkategorie (A-D)	Effizienz-kategorie (statischer oder totaler Wirkungsgrad)	Leistungsintervall P in kW	Zielenergieeffizienz	Effizienzgrad (N)
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{Ziel} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{Ziel} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	

Mindestanforderung: $(\eta_{V,opt} \cdot \eta_M) \geq \eta_{Ziel}$

Anforderungen Ventilatoren

EU 327/2011

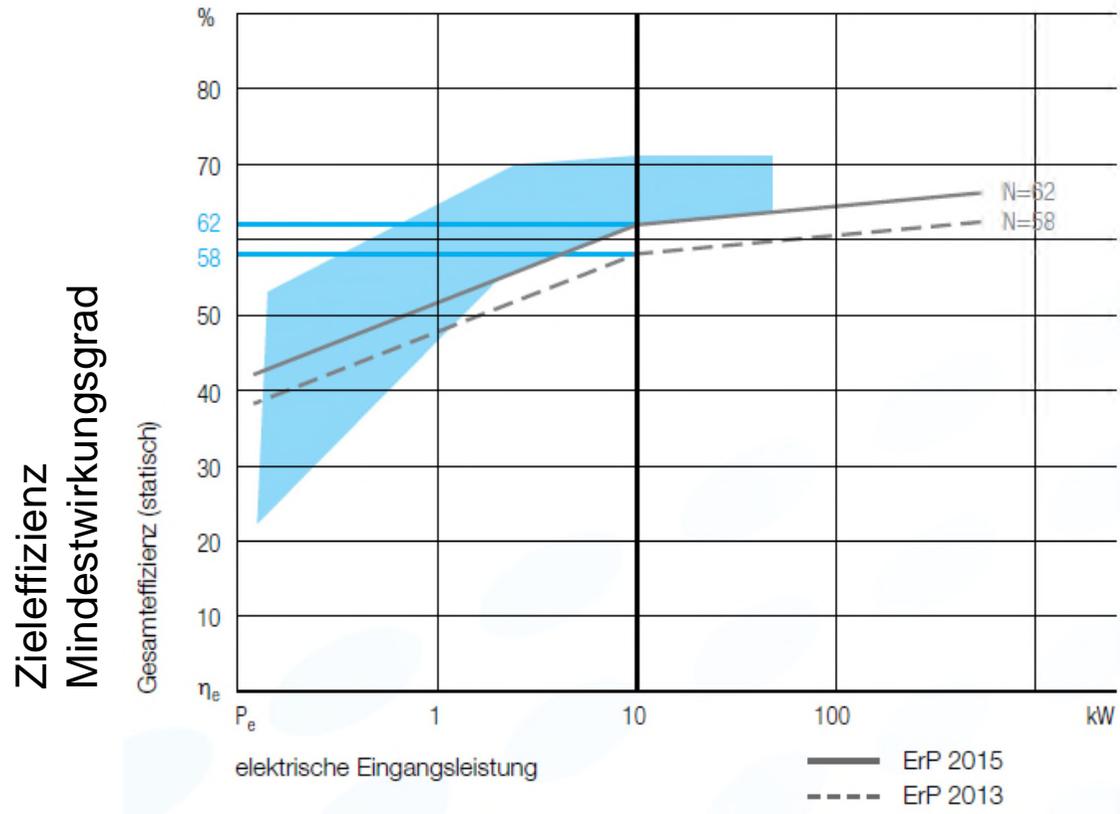
ab 01.01.2015 für Radialventilatoren freilaufend

Ventilortyp	Messkategorie (A-D)	Effizienz-kategorie (statischer oder totaler Wirkungsgrad)	Leistungsintervall P in kW	Zielenergieeffizienz	Effizienzgrad (N)
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{Ziel} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{Ziel} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	

Mindestanforderung: $(\eta_{V,opt} \cdot \eta_M) \geq \eta_{Ziel}$

Anforderungen Ventilatoren

EU 327/2011 Radialventilatoren freilaufend

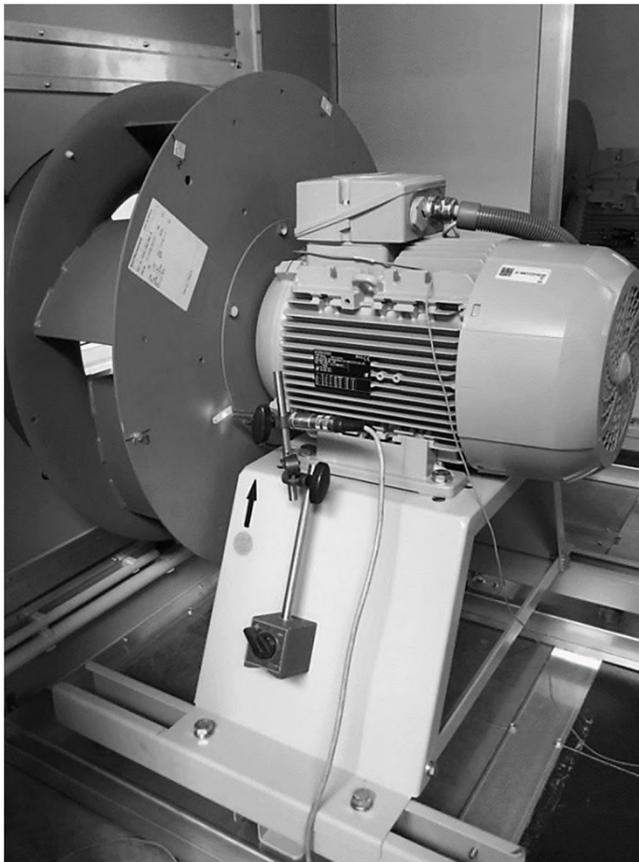


Drehzahlregelungen können zusätzlich über Kompensationsfaktoren C berücksichtigt werden

$$P = q_{v,opt} \cdot \Delta p_{opt} / \eta_{V,opt} / \eta_M$$

Motoreingangsleistung im Effizienzoptimum

Ventilatoren im Einbauzustand

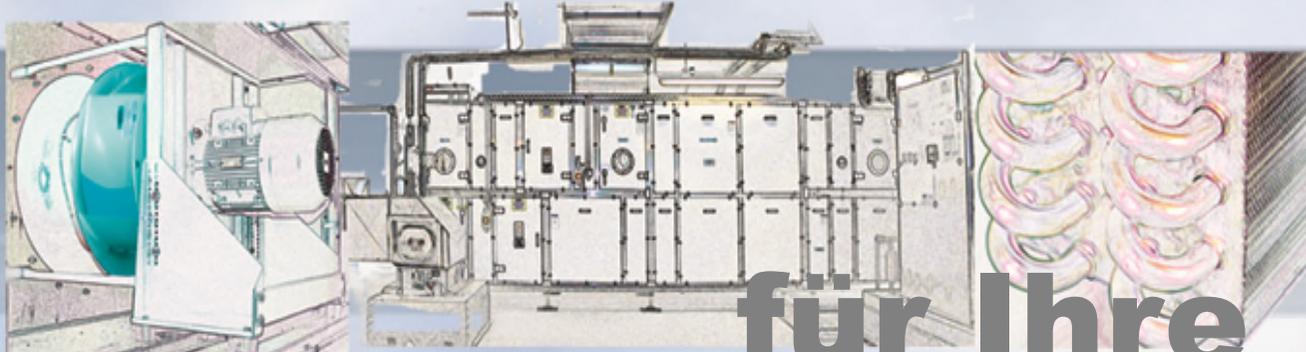


Radialventilator mit Asynchronmotor
Drehzahlregelung über externen Frequenzumrichter



Radialventilator mit EC-Motor (Kompletteinheit)
Drehzahlregelung über integrierte Kommutierung

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik Antriebe

Wärmerückgewinnung und energieeffiziente
Raumlufttechnik

Boris Wollscheid (B. Eng.)
boris.wollscheid@howatherm.de

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



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R