Topmotors Webinar

Topmotors Webinar Nr. 08

Effiziente Luftförderung

27. März 2019, 10:00 - 11:00

Moderation: Carole Tornay, Energie Zukunft Schweiz

Referent: Heinrich Huber, Hochschule Luzern

Vorstellung Referent

Heinrich Huber

- Dozent für Gebäudetechnik an der Hochschule Luzern
- Seit 2015 Leiter der Prüfstelle Gebäudetechnik am Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)
- Engagement im Normenwesen:
  - Convenor CEN TC 110/ WG 6: Revision der EN 308
  - Mitglied der Kommission 382 Lüftungsanlagen und der Subkommission Wohnungslüftung
  - Schweizer Experte in der CEN TC 156/WG 2 Residential Ventilation
- 2006 – 2015: Institut Energie am Bau der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz (FHNW), ab 2011 Professur für Technologien des energieeffizienten Bauens

Topmotors Webinar Nr. 08:

Effiziente Luftförderung

Heinrich Huber

Hochschule Luzern, Technik & Architektur

Leiter Prüfstelle Gebäudetechnik

heinrich.huber@hslu.ch

27.03.2019

Inhalt

1. Bauformen und Funktion von Ventilatoren
2. Ventilator-Diagramm
3. Elektrische Energie für die Luftförderung
4. Beispiel: Energetische Verbesserung einer Luftförderung

Merkblatt 24

topmotors.ch
Effizienz im Antrieb

Effizienz ist wichtig

Luftförderung

in Gebäuden und bei industriellen Anlagen

Die fünf Punkte für energieeffiziente Luftförderung

- **Weniger Widerstand:** kurze, grosse, möglichst runde und dichte Luftleitungen, keine unnötigen Widerstände von Drosseln, Form- und Querschnittsänderungen, Wärmetauschern, etc.
- **Weniger Luft:** genaue Abklärung des benötigten Luftvolumenstroms, respektive Kälte/Wärme und Feuchte, bedarfsabhängiger Betrieb (Tageszeit, kein Betrieb ohne Nutzen).
- **Variabler Bedarf** erfordert variablen Volumenstrom und regelbaren Antrieb.
- **Effizienter Ventilatorbetrieb** aller Komponenten im Bereich des optimalen Wirkungsgrades.
- **Effizienter Motor** mit Direktantrieb ohne Transmission und ohne Getriebe.

Am 30. März 2011 wurde von der EU die Richtlinie 327/2011 mit Wirkungsgradanforderungen an Ventilatoren publiziert. [1] Sie legt Mindestwirkungsgrade für Ventilatoren im Leistungsbereich zwischen 0,12 kW und 500 kW fest. Relevant ist die elektrische Leistungsaufnahme des Antriebsmotors im Bestpunkt des Ventilators. Eine erste Anforderungsstufe gilt ab 1. Januar 2013 (first tier), eine zweite ab 1. Januar 2015 (second tier). Die EU-Richtlinie nennt im Anhang Bestwerte von Wirkungsgraden, welche heute schon je nach Ventilatortyp erreicht werden können (Tabelle 1).

Ventilatortyp	Messanordnung*	Wirkungsgradkategorie	Wirkungsgrad je nach Leistung 1 kW	Wirkungsgrad je nach Leistung 10 kW
Axialventilator	A, C	statisch	58,7 %	65 %
	B, D	total	68,7 %	75 %
Radialventilator mit vorwärts gekrümmten oder radial endenden Schaufeln	A, C	statisch	58,7 %	62 %
	B, D	total	68,7 %	66 %
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse	A, C	statisch	59,5 %	70 %
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln und Gehäuse	A, C	statisch	61,5 %	72 %
	B, D	total	64,5 %	75 %
Diagonalventilator (Mischform von Axial- und Radialventilator)	A, C	statisch	60,5 %	61 %
	B, D	total	54,5 %	66 %
Querstromventilator	B, D	total	29,4 %	32 %

Tabelle 1: Bestwerte für die Wirkungsgrade der verschiedenen Ventilatortypen gemäss EU-Richtlinie 327/2011.

*A: frei ansaugend, frei ausblasend
B: frei ansaugend, Kanal druckseitig
C: Kanal saugseitig, frei ausblasend
D: Kanal saugseitig, Kanal druckseitig

Schweizerische Agentur für Energieeffizienz

S·A·F·E

Merkblatt 24: Ventilatoren | November 2012 | www.topmotors.ch | info@topmotors.ch

24.1

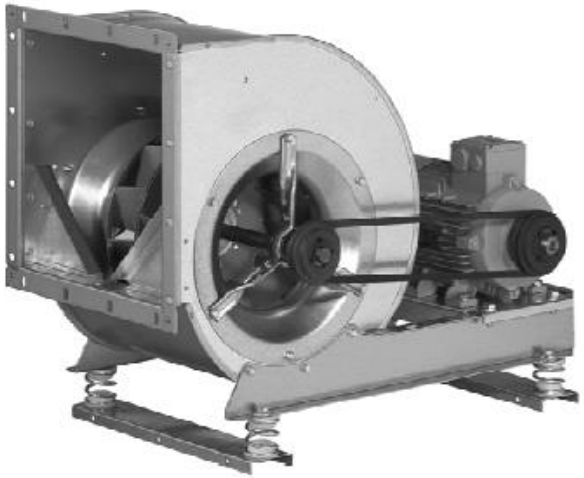
Grundlagen, Formeln und Ergänzungen finden Sie im:
Topmotors Merkblatt 24: Luftförderung

1. Bauformen und Funktion von Ventilatoren

Axial-Ventilatoren

oft für tiefe Förderdrücke
wie z. B. Rückkühler

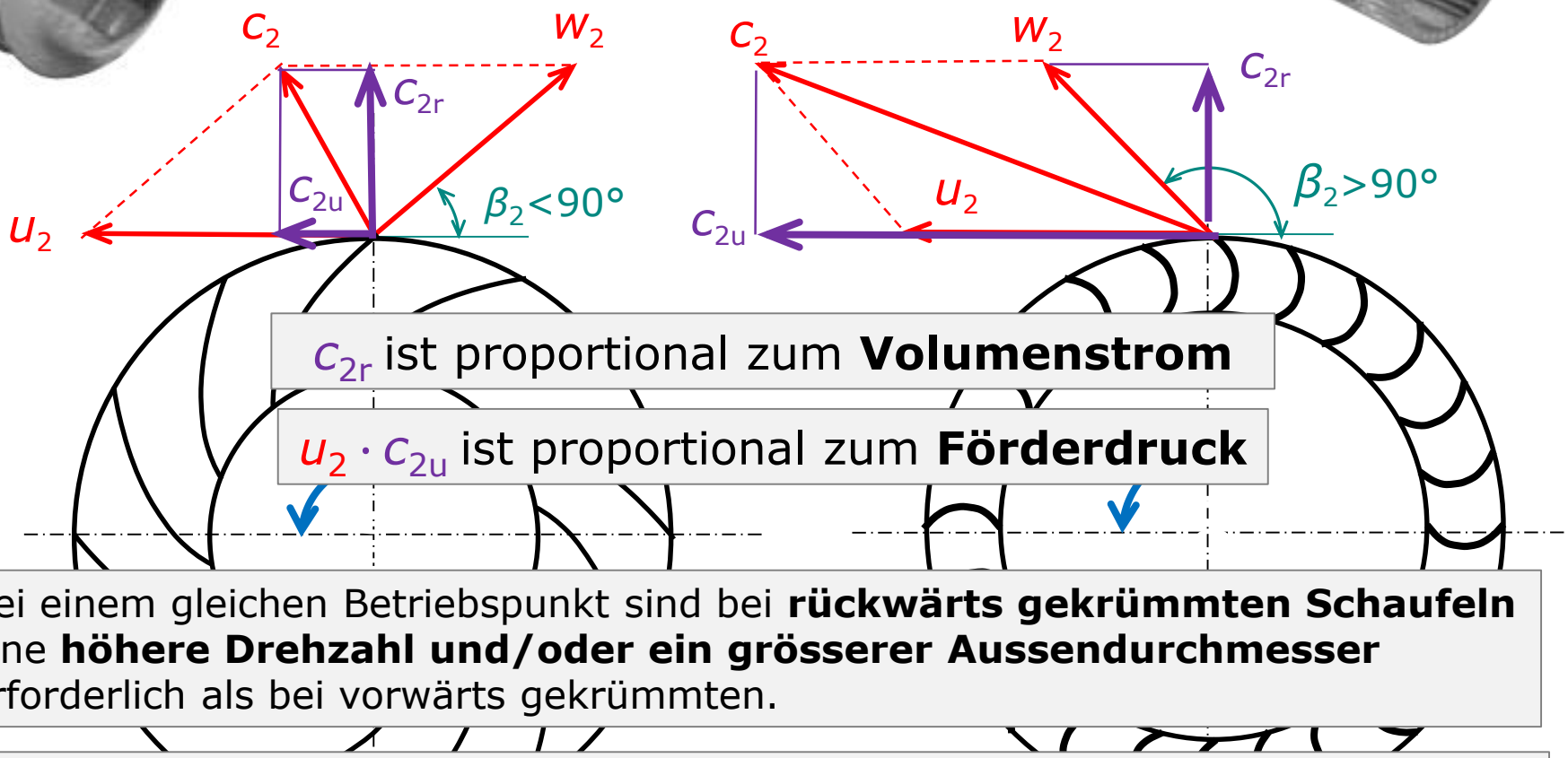
Radialventilatoren mit Spiralgehäuse



Radialventilatoren, Freiläufer mit Direktantrieb

rückwärts
gekrümmte Schaufeln

vorwärts
gekrümmte Schaufeln



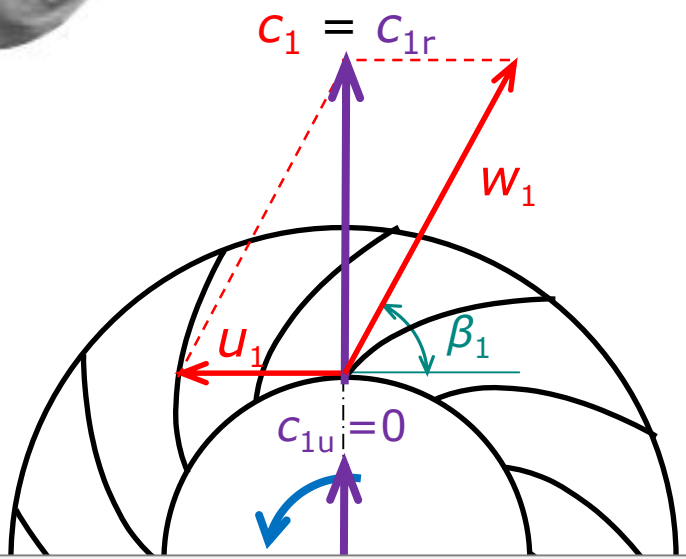
c_{2r} ist proportional zum **Volumenstrom**

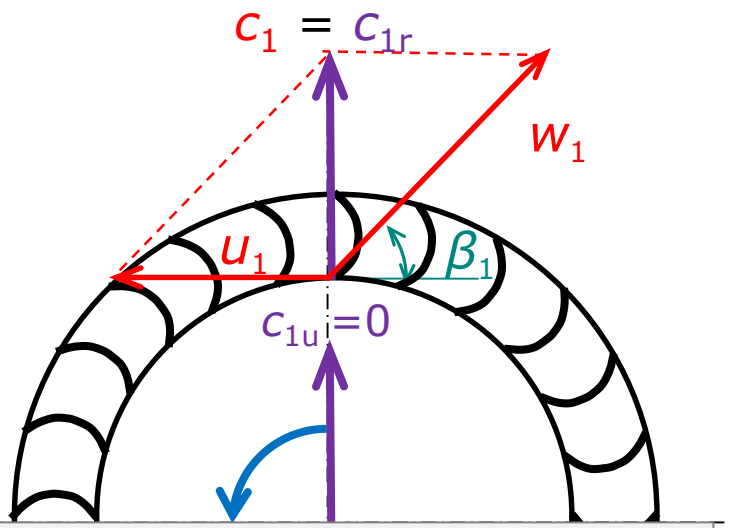
$u_2 \cdot c_{2u}$ ist proportional zum **Förderdruck**

Bei einem gleichen Betriebspunkt sind bei **rückwärts gekrümmten Schaufeln** eine **höhere Drehzahl und/oder ein grösserer Aussendurchmesser** erforderlich als bei vorwärts gekrümmten.

Die **Umwandlung der Austrittsgeschwindigkeit** (spez. c_{2u}) in einen statischen Förderdruck **verursacht Verluste**. Bei rückwärts gekrümmten Schaufeln sind diese Verluste geringer als bei vorwärts gekrümmten

Optimaler Betriebspunkt





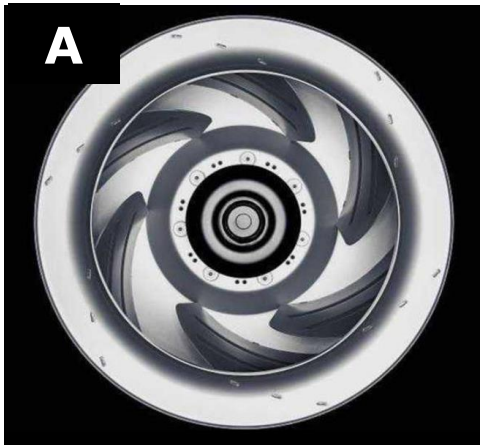
Bei einem **drallfreien Lufteintritt** (üblicher Fall) strömt die Luft radial in das Laufrad ein.

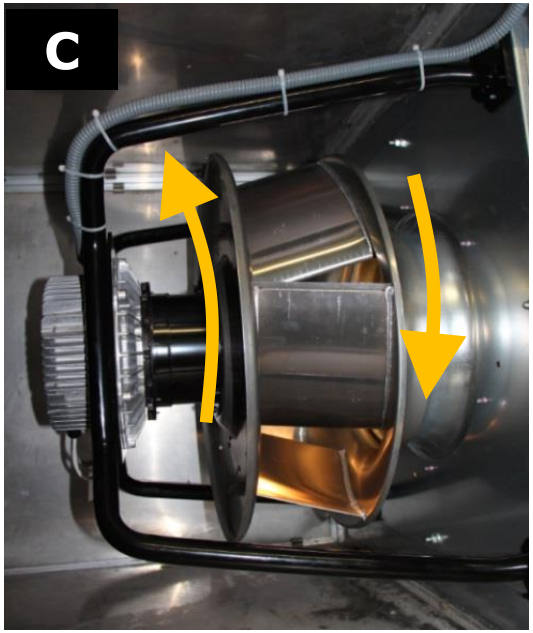
Im optimalen Betriebspunkt wird die **eintretende Luft** durch die Eintrittskante der Schaufel **nicht abgelenkt**. Dazu muss ein bestimmtes Verhältnis von Drehzahl und Volumenstrom eingehalten werden (Eintrittswinkel β_1).

Jeder Ventilator hat eine **Kennlinie mit einem optimalen Wirkungsgrad** (die auf einer bestimmten Anlagenkennlinie liegt).

Übung Drehrichtung

Wie ist die Drehrichtungen dieser Laufräder?





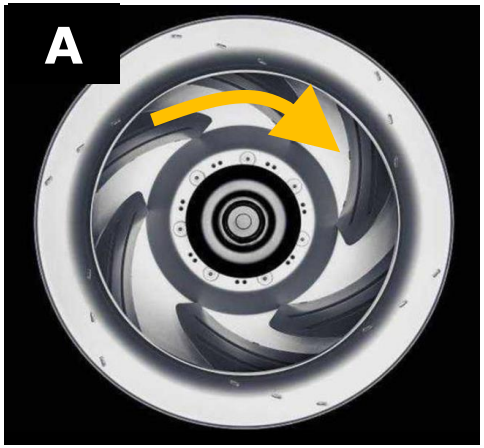
- ☐ Uhrzeigersinn
- ☐ Gegenuhrzeigersinn

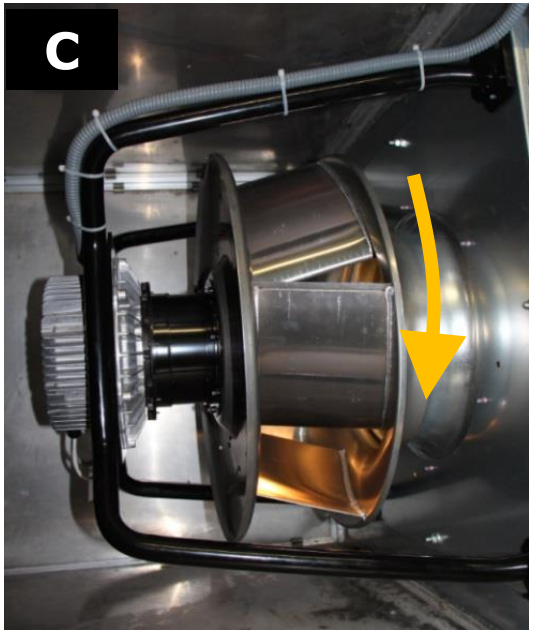
- ☐ Uhrzeigersinn
- ☐ Gegenuhrzeigersinn

- ☐ «abwärts»
- ☐ «aufwärts»

Übung Drehrichtung Lösung

Wie ist die Drehrichtungen dieser Laufräder?





- [x] Uhrzeigersinn
- [ ] Gegenuhrzeigersinn

- [ ] Uhrzeigersinn
- [x] Gegenuhrzeigersinn

- [x] «abwärts»
- [ ] «aufwärts»

Übung Drehrichtung

Was passiert bei verkehrter Drehrichtung?

a) Die Richtung der Luftströmung kehrt um.

b) Die Förderleistung und der Wirkungsgrad sinken stark.

c) Der Ventilator wird zur Turbine.

d) Der Ventilator geht auf Störung.

Übung Drehrichtung

Lösung

Was passiert bei verkehrter Drehrichtung?

~~a) Die Richtung der Luftströmung kehrt um.~~

b) Die Förderleistung und der Wirkungsgrad sinken stark.

~~c) Der Ventilator wird zur Turbine.~~

~~d) Der Ventilator geht auf Störung.~~

2. Ventilator-Diagramm

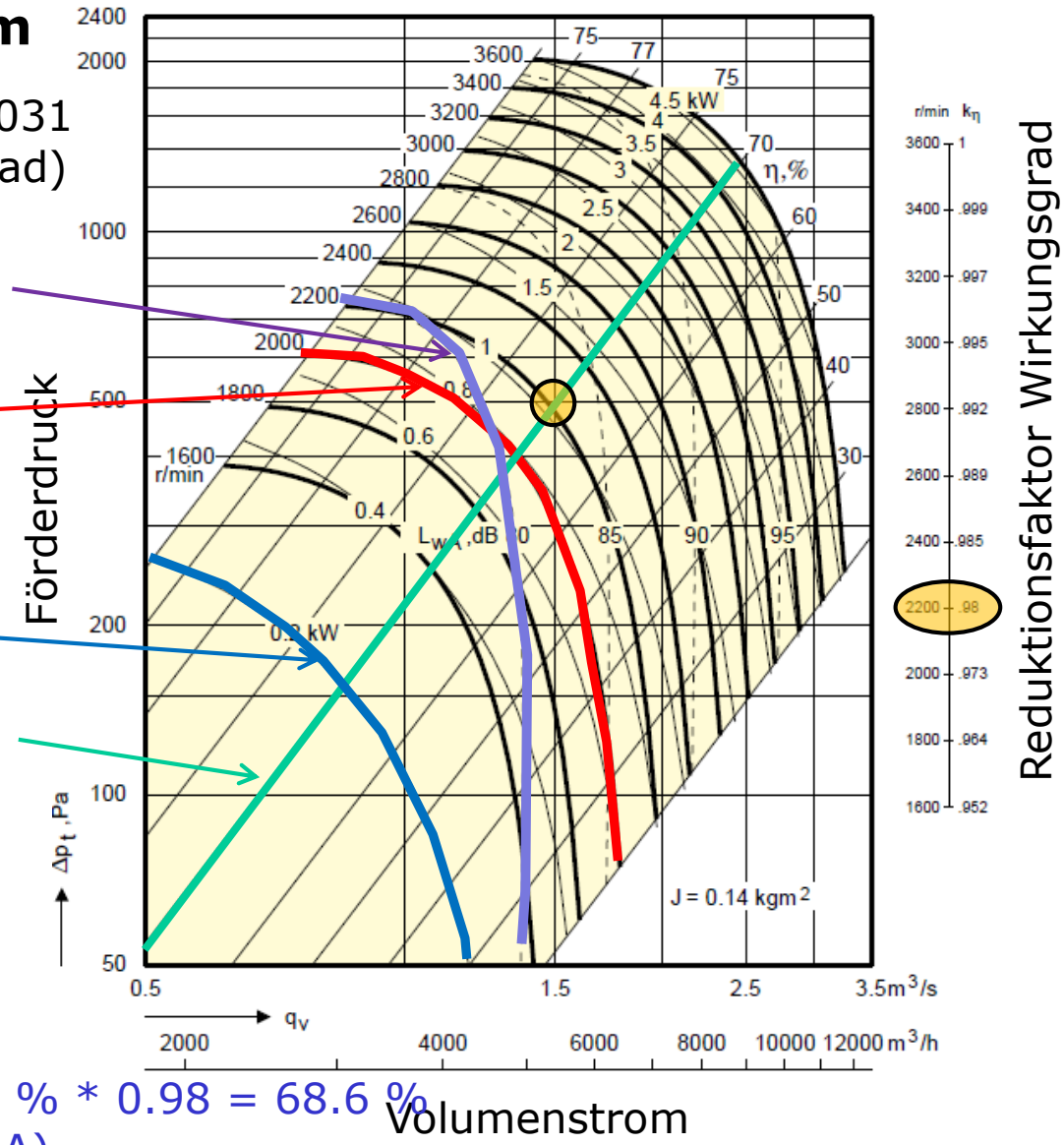
Beispiel Fläkt Woods GXLB-5-031
(rückwärts gekrümmtes Laufrad)

Linie mit konstantem Schallleistungspegel

Linie mit konstanter Drehzahl

Linie mit konstanter Aufnahmeleistung (an der Welle)

Linie mit konstantem Wirkungsgrad



Beispiel:

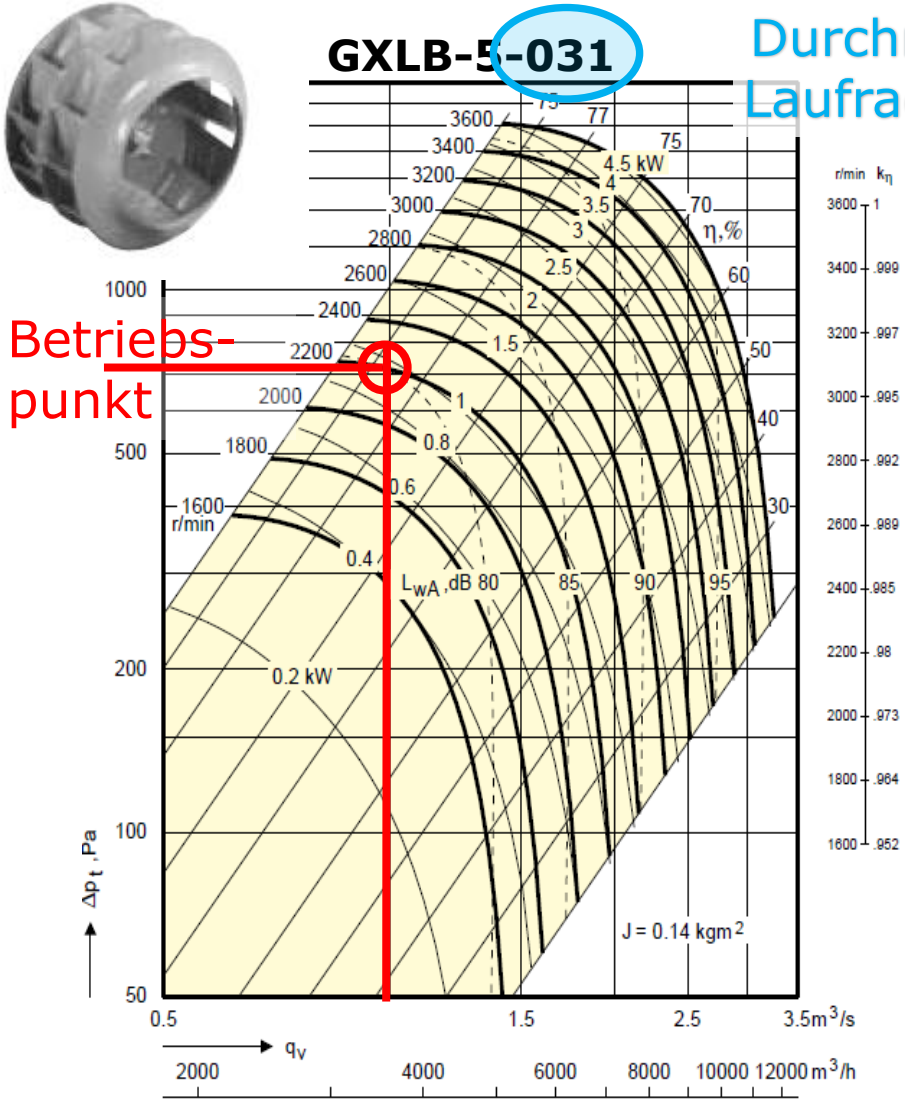
- Volumenstrom 1.5 m³/s
- Förderdruck 500 Pa
- Drehzahl 2200 U/min
- Ventilator-Wirkungsgrad 70 % * 0.98 = 68.6 %
- Schallleistungspegel 83 dB(A)

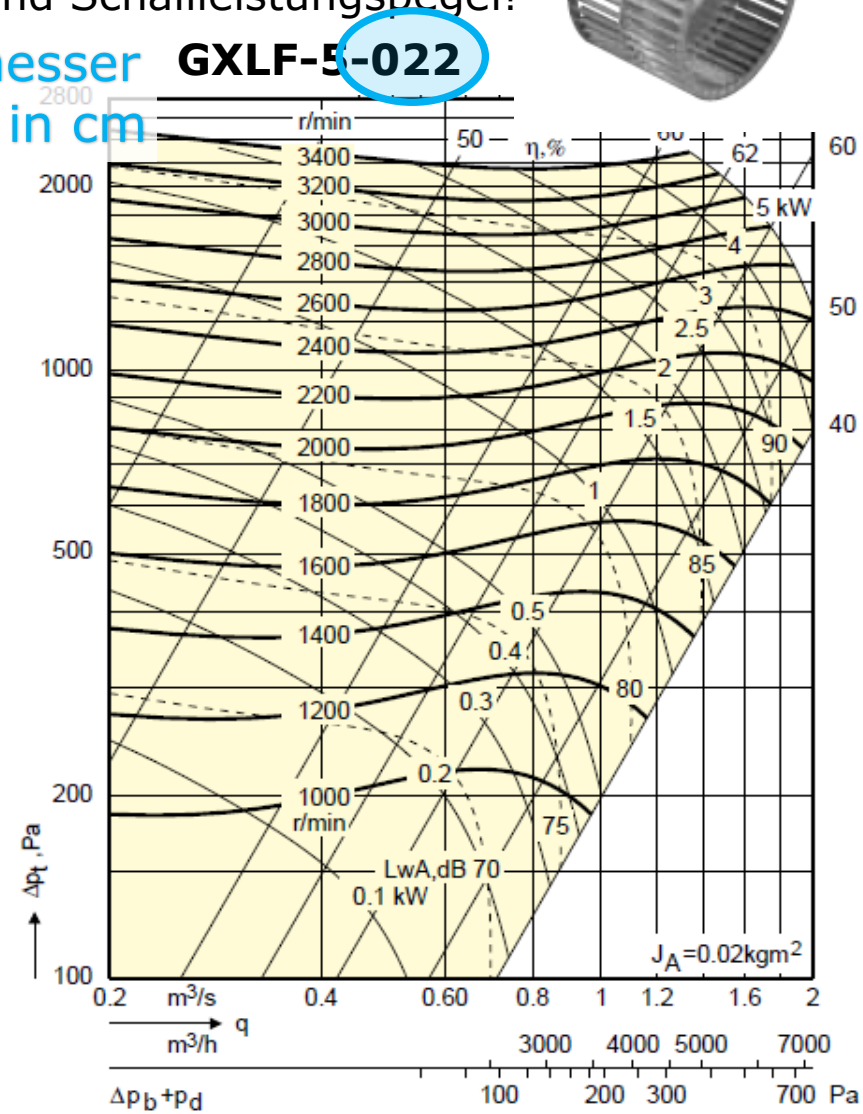
Vergleich rückwärts und vorwärts gekrümmte Schaufeln

Luftvolumenstrom 3600 m³/h (1 m³/s), Förderdruck 800 Pa

Bestimmen Sie Drehzahl, Wirkungsgrad und Schallleistungspegel!

Durchmesser Laufrad in cm





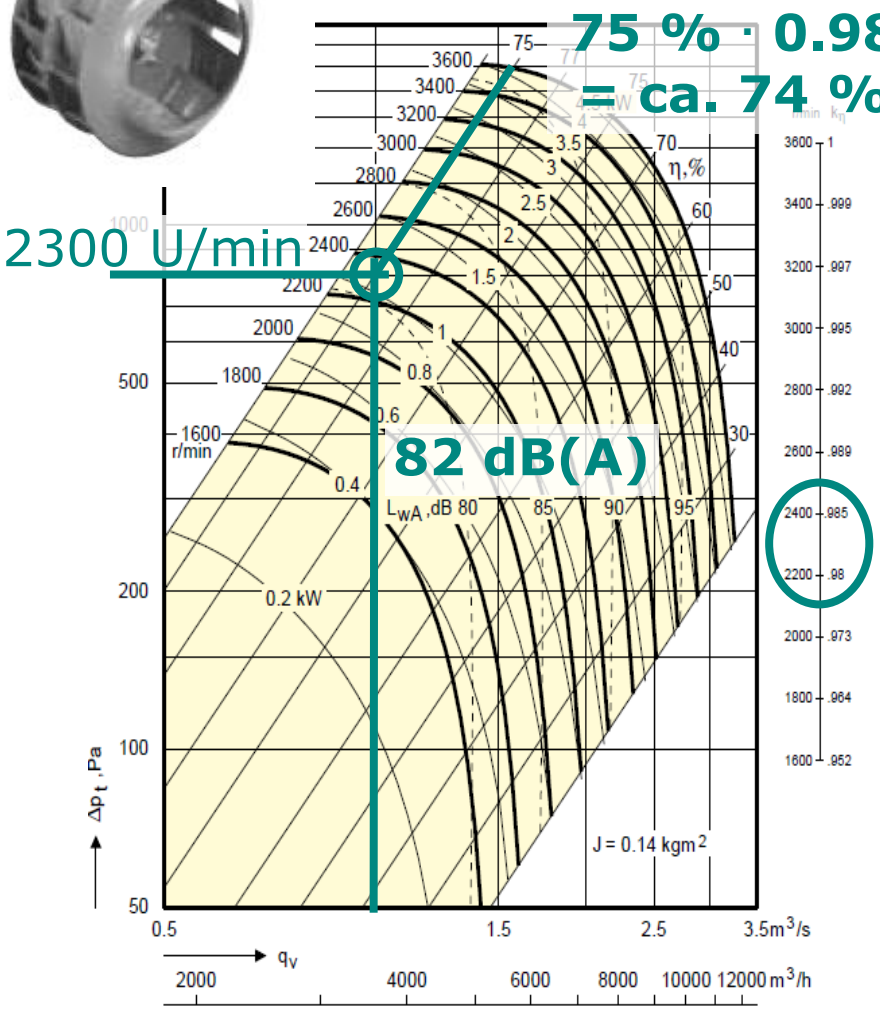
Vergleich rückwärts und vorwärts gekrümmte Schaufeln

Luftvolumenstrom 3600 m³/h (1 m³/s), Förderdruck 800 Pa

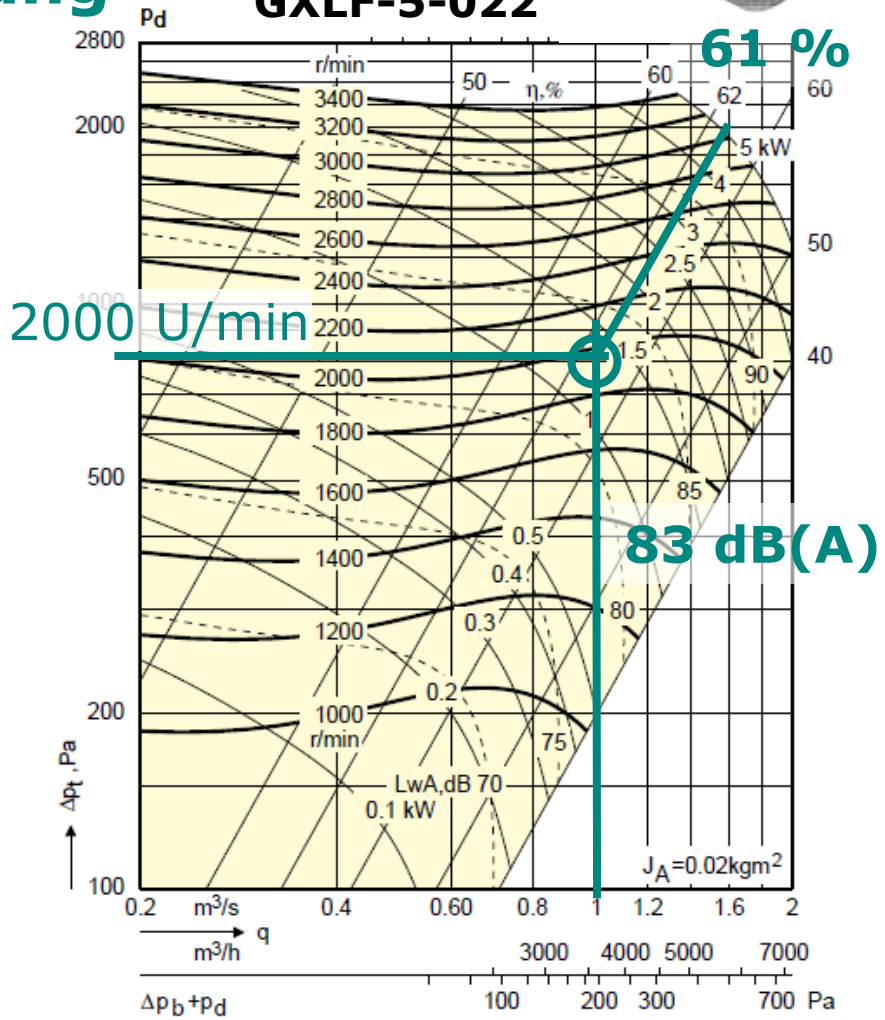
Bestimmen Sie Drehzahl, Wirkungsgrad und Schallleistungspegel!

Lösung

GXLB-5-031



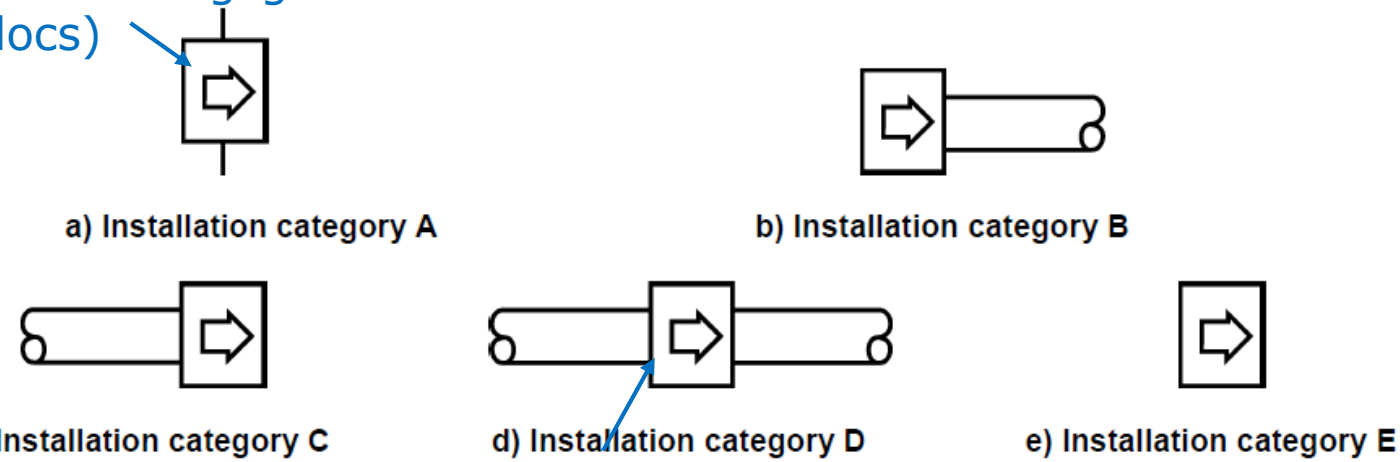
GXLF-5-022



Definition des Förderdrucks und des Wirkungsgrades

Installations-Kategorien nach ISO/DIS 13349, die in der Prüfnorm ISO/DIS 5801 verwendet werden (Zitat):

Typisch in Lüftungsgeräten (Monoblocs)



Einbau in einem Kanal oder einer Leitung

Key

A free inlet, free outlet
B free inlet, ducted outlet
C ducted inlet, free outlet
D ducted inlet, ducted outlet
E free inlet and free outlet without a partition

Je nach Installations-Kategorie resultiert eine anderer Förderdruck (z. B. statisch oder gesamt) und eine anderer Wirkungsgrad.

3. Elektrizitätsverbrauch für die Luftförderung

$$E = \frac{q_v \cdot \Delta p \cdot t}{\eta_v \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_m \cdot \eta_r}$$

E Elektrischer Energiebedarf der Luftförderung in Wh

q_v Luftvolumenstrom in m^3/s

Δp Druckverlust in Pa

t Betriebszeit in h

η_v Wirkungsgrad Ventilator

η_{tr} Wirkungsgrad Transmission (Riemenantrieb)

η_m Wirkungsgrad des Motors

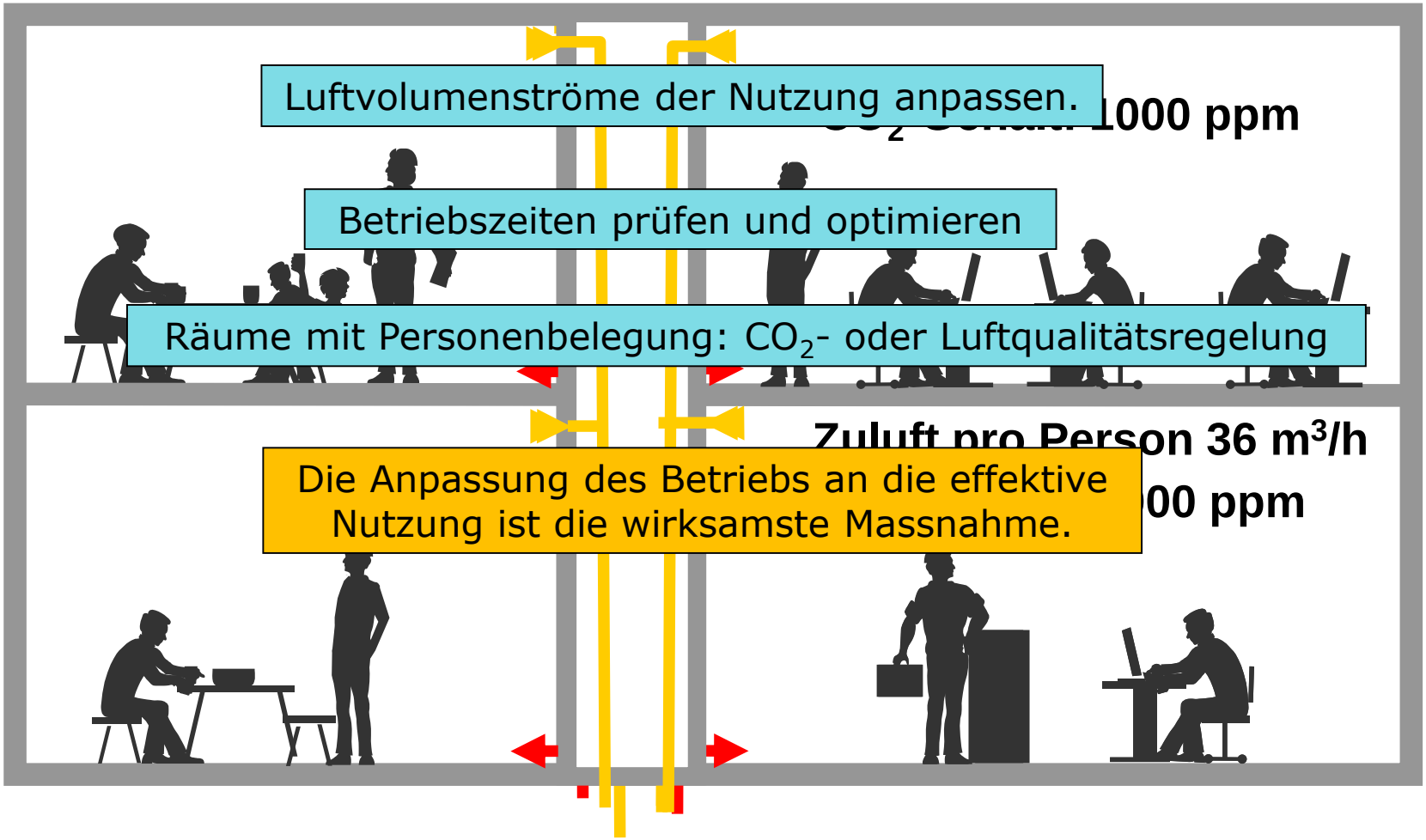
η_r Wirkungsgrad der Steuerung/Regelung (FU)

Zu beachten:

- Der Energiebedarf wird meistens in kWh berechnet (durch 1000 dividieren)
- Der Luftvolumenstrom wird oft in m^3/h angegeben (durch 3600 dividieren)
- Wirkungsgrade nicht in % einsetzen (d.h. nicht 60 %, sondern 0,6)

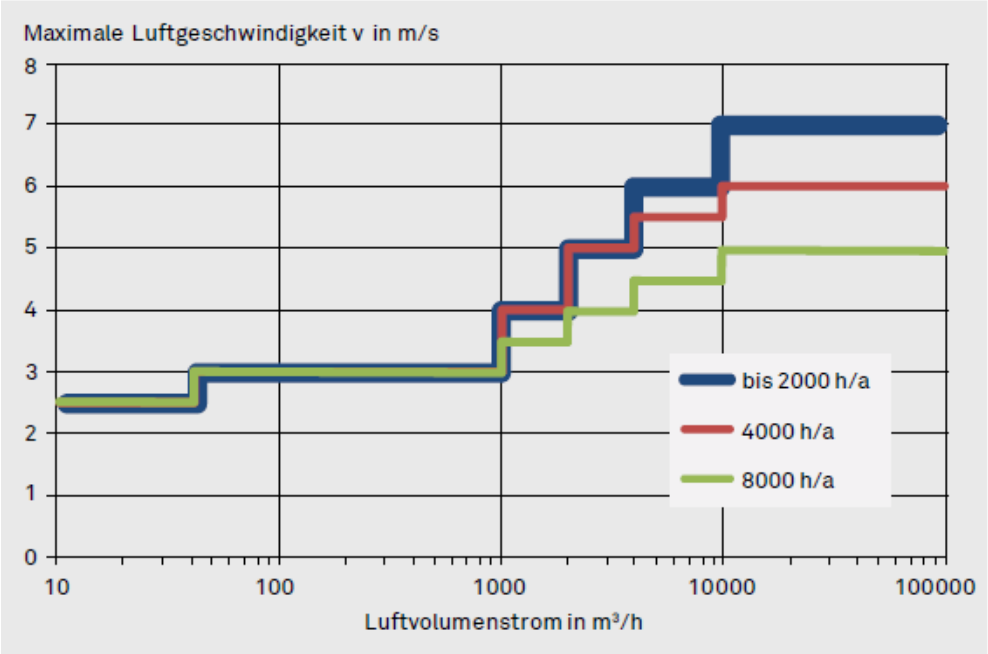
q_v t

Luftvolumenstrom und Betriebszeit



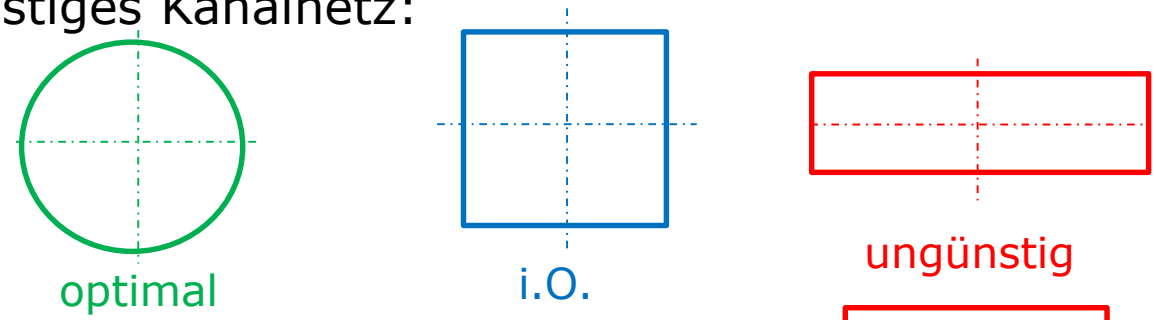
Δp Druckverlust

Bei langen Betriebszeiten tiefe Luftgeschwindigkeiten anstreben (die blaue Linie entspricht den Energie-vorschirften der Kantone)

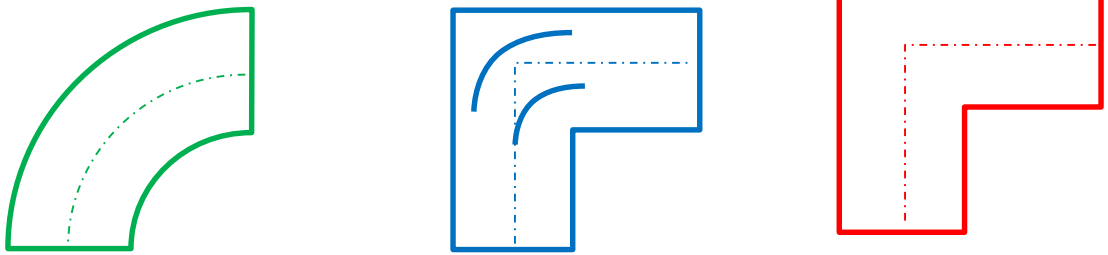


Strömungstechnisch günstiges Kanalnetz:

Kanal-Querschnitte



Formstücke



η_r η_m η_{tr} η_v

Wirkungsgrad der Luftförderung

Elektronik, FU

Motor

Transmission

Ventilator

Bilder: EUP Lot 11

70 … 98%

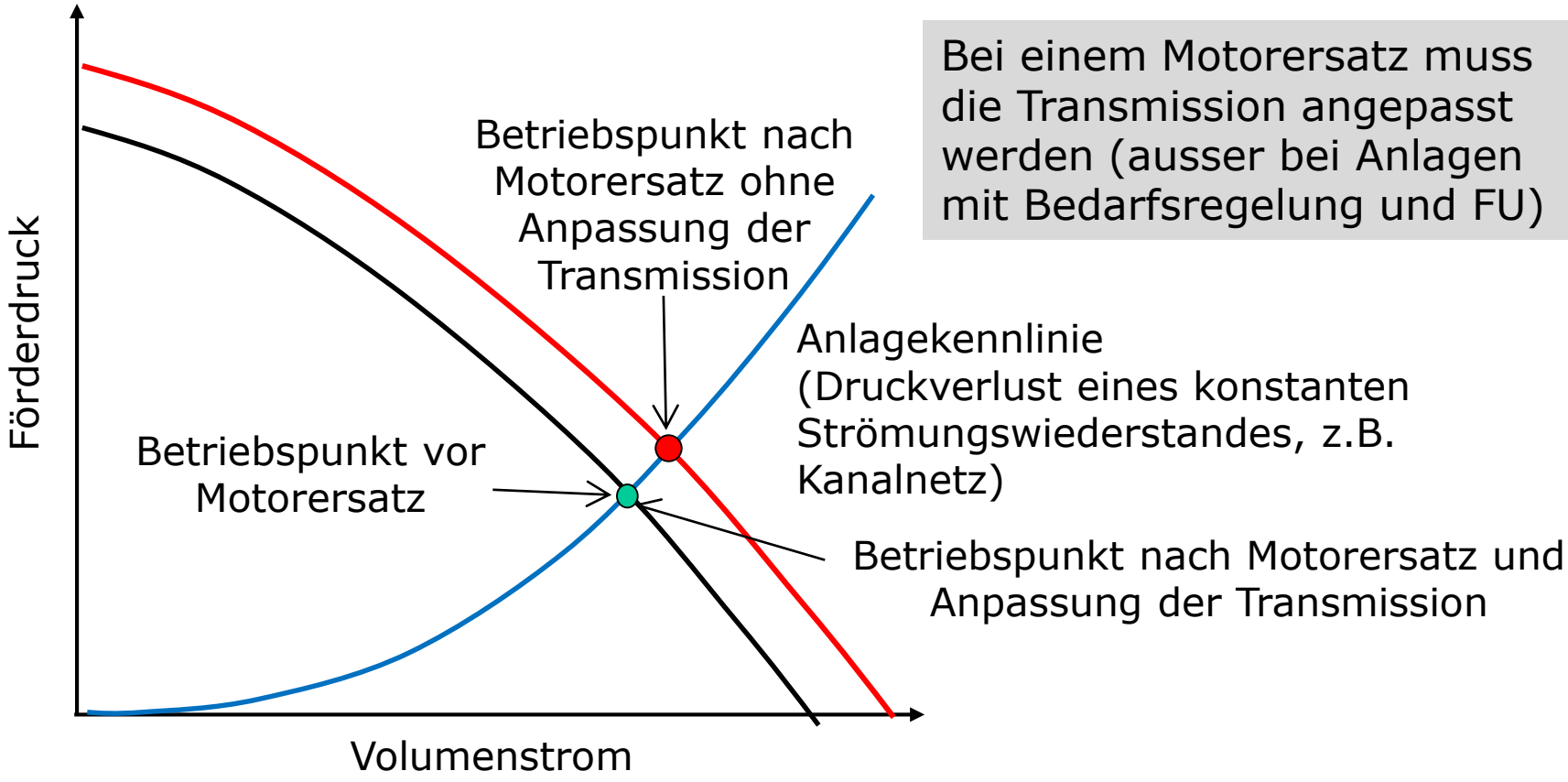
50 … 98%

80 … 100%

20 … 80%

η_m Wirkungsgrad des Motors

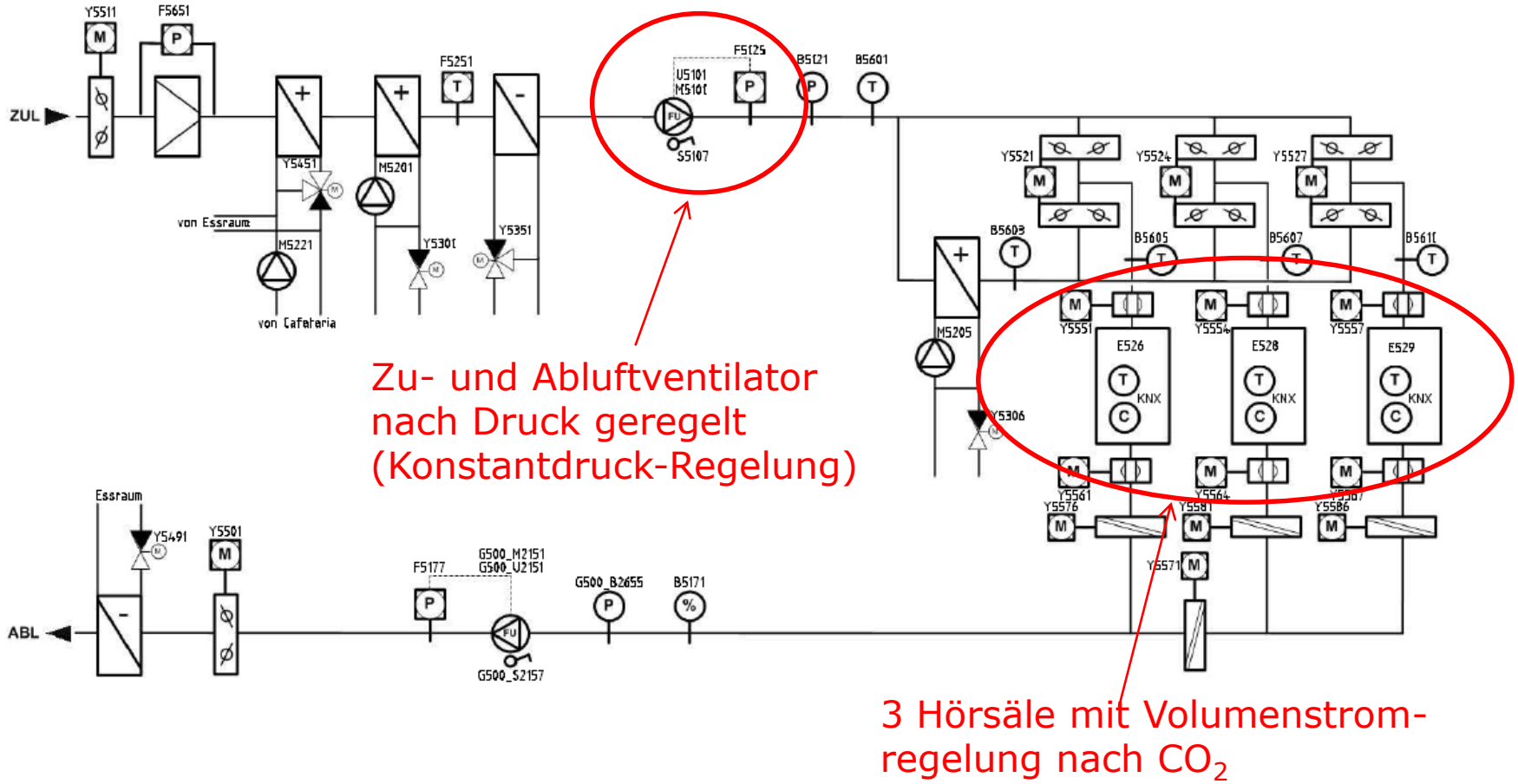
Achtung: Die Drehzahl von effizienten Motoren (IE3 und IE4) ist 1% bis 5% höher als von alten Motoren (IE1 und IE2)



Bei einem Motorersatz muss die Transmission angepasst werden (ausser bei Anlagen mit Bedarfsregelung und FU)

5. Beispiel: Energetische Verbesserung der Luftförderung einer Klimaanlage

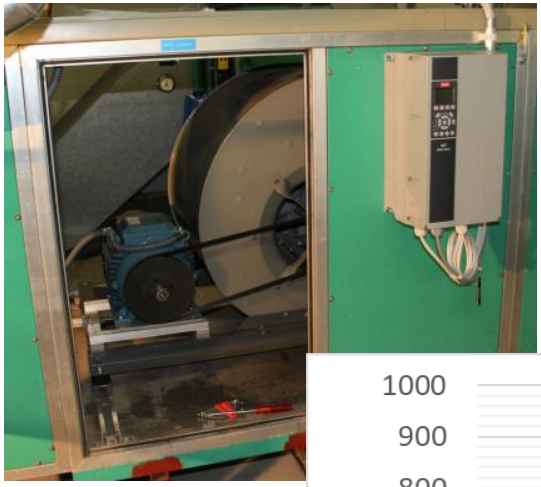
aus dem BFE-Projekt EFFILUFT der Hochschule Luzern



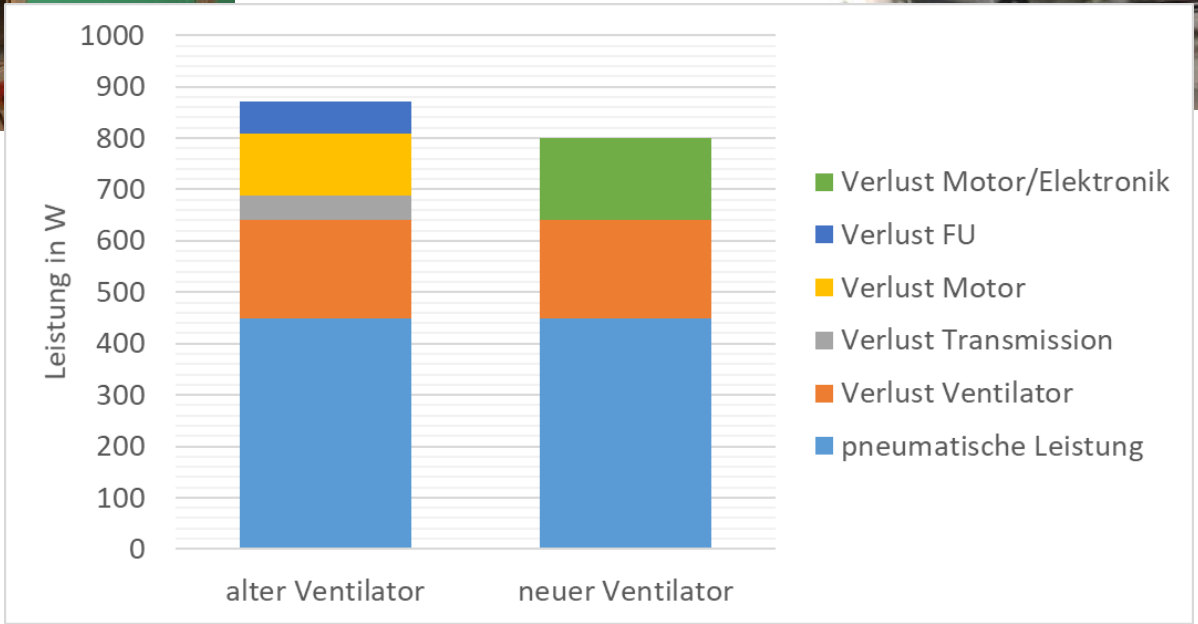
Massnahme Ventilatorersatz

Alt: 30-jähriger Ventilator mit Keilriemen-antrieb, Drehzahlregelung über FU.
Der Motor wurde vor 5 Jahren ersetzt (IE3)

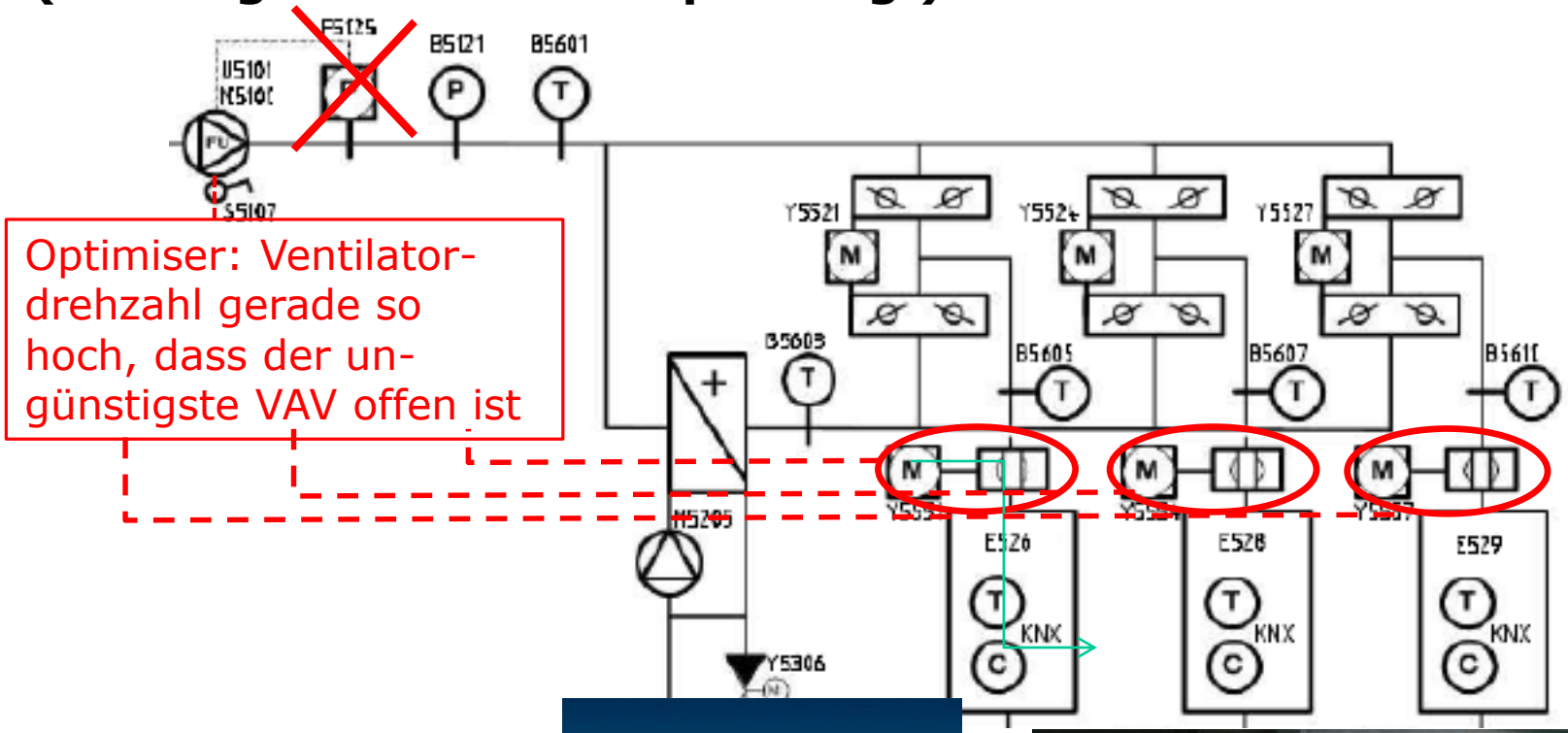
Neu: Moderner Freiläufer mit Direktantrieb IE4



Reduktion elektrische Leistungsaufnahme 7%

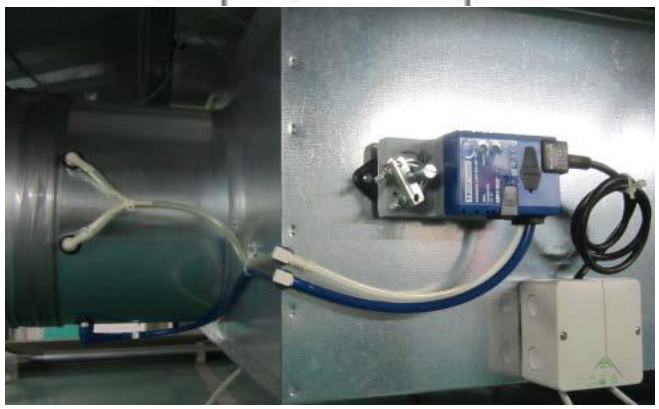


Massnahme Optimierung der Regelung (vorwiegend Softwareanpassung!)

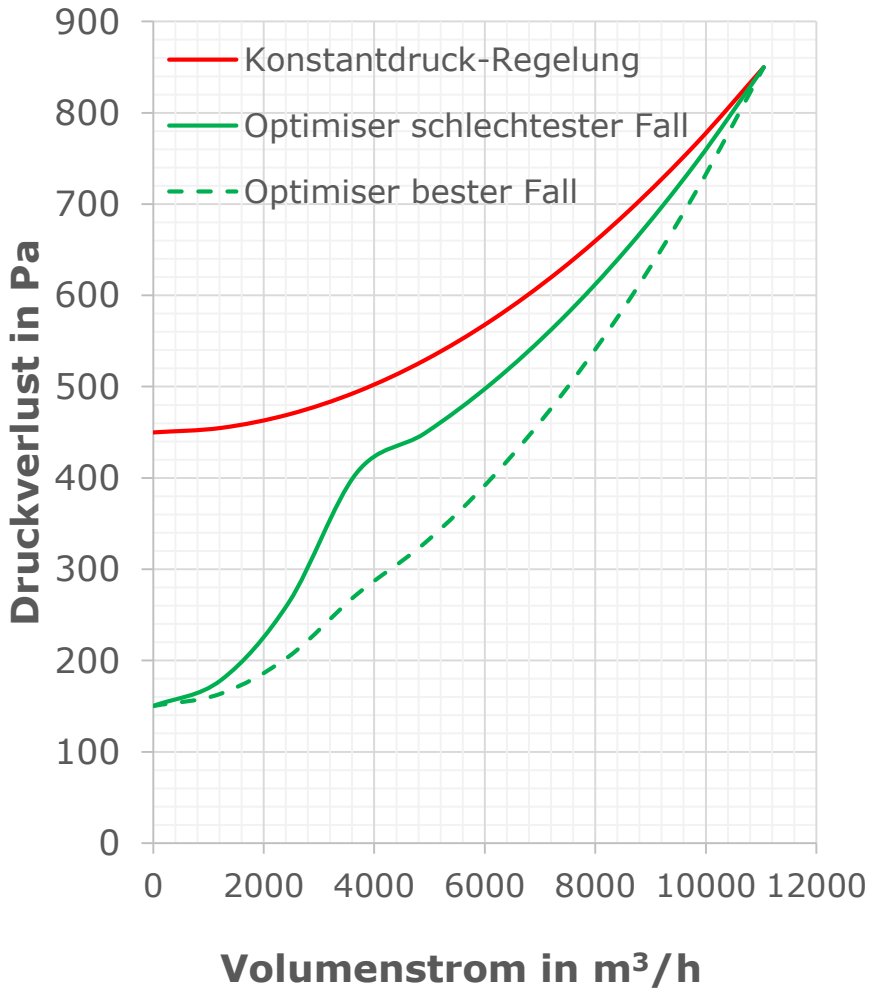


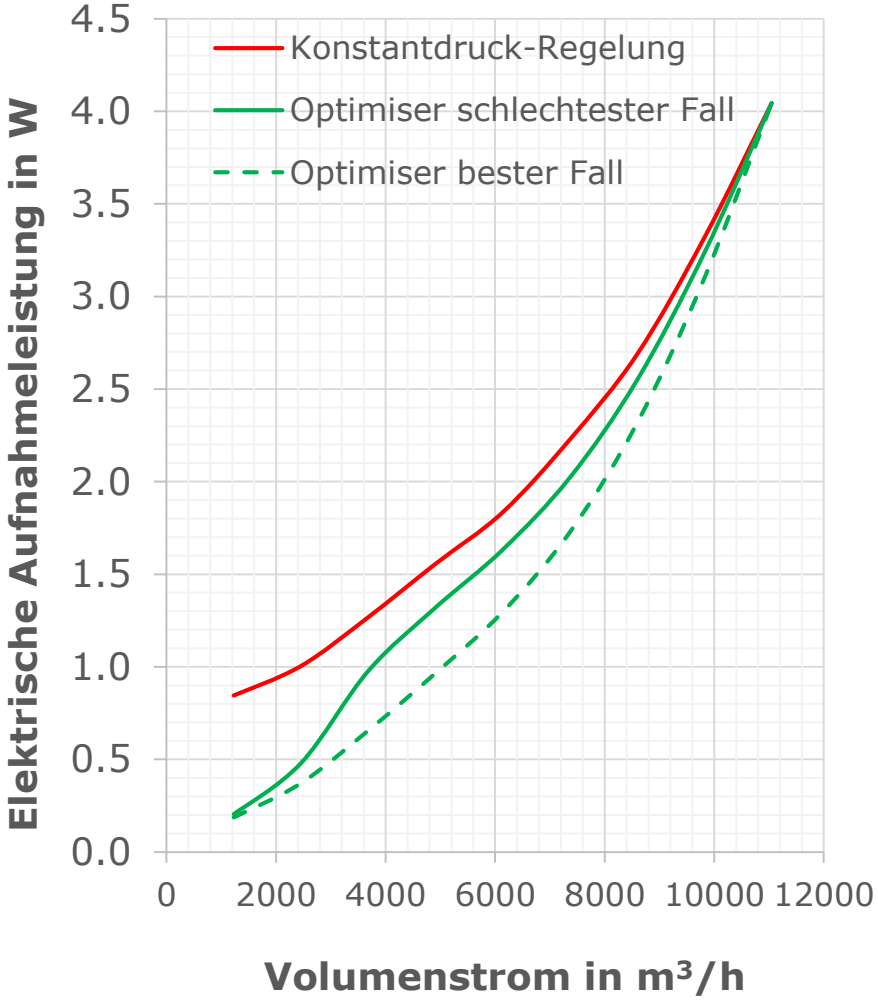
Optimiser: Ventilator-drehzahl gerade so hoch, dass der un-günstigste VAV offen ist

Variabel-Volumen-stromregler (VAV)

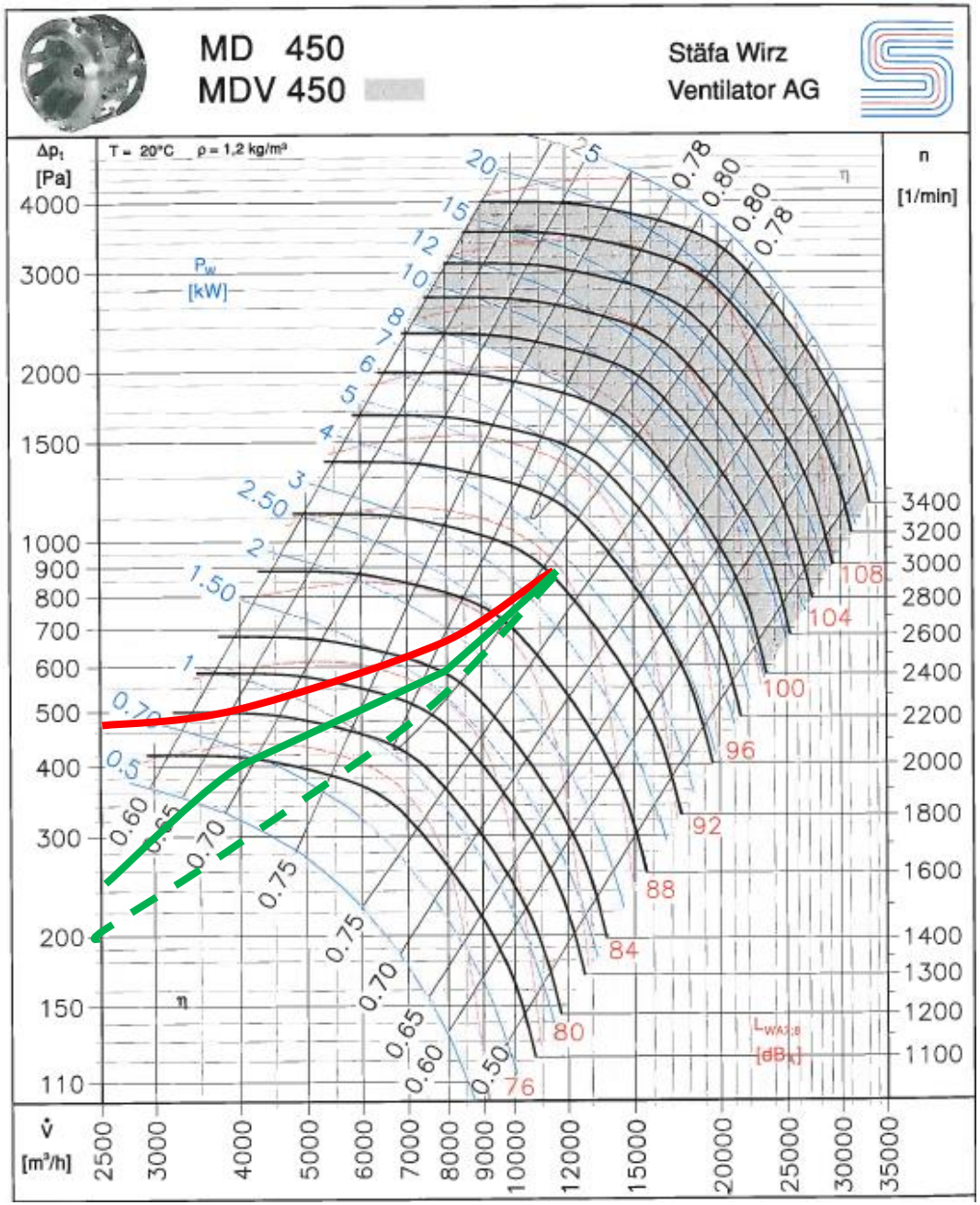


Druckverlust und elektrische Aufnahmeleistung bei Konstantdruck-Regelung und Druckoptimierter Regelung



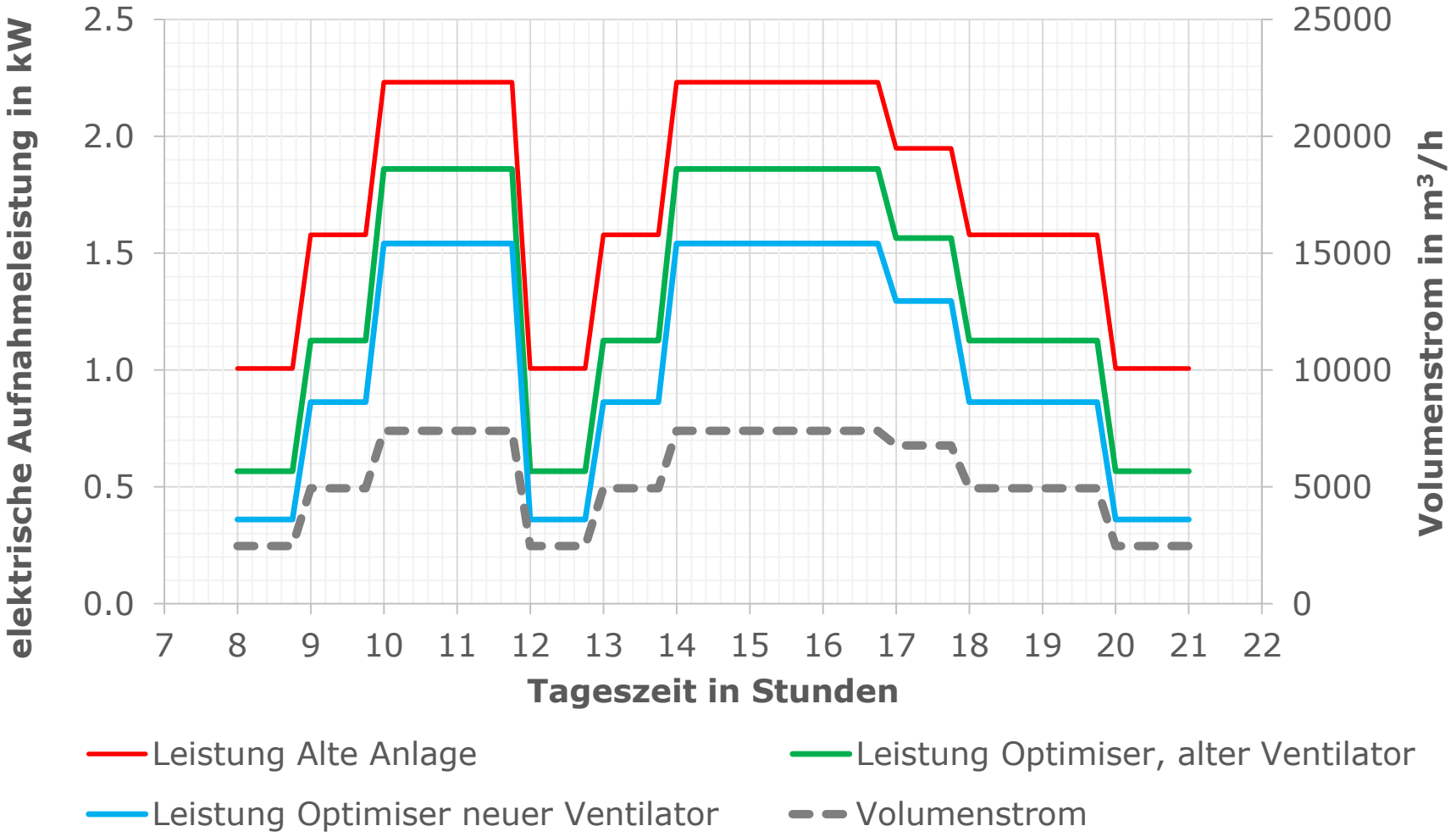


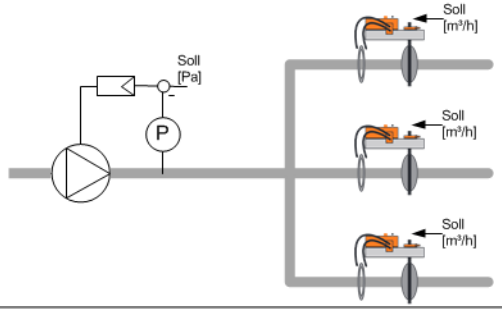
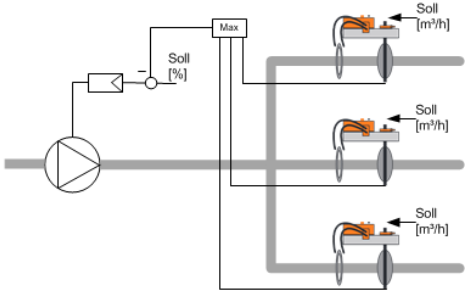
Ventilator-Diagramm (alter Ventilator) mit Konstantdruck-Regelung und Druckoptimierter Regelung

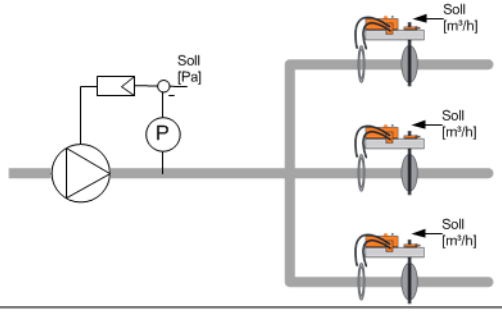
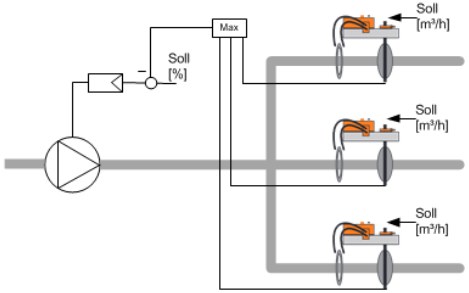


Mit der neuen Regelung arbeitet der Ventilator nicht nur mit einem tieferen Förderdruck, sondern auch noch mit besserem Wirkungsgrad

Tagesverlauf des Volumenstroms und der elektrischen Aufnahmeleistung bei Konstantdruck-Regelung und Optimiser mit altem und neuem Ventilator (Beispiel)



Vergleich der Massnahmen	alter Ventilator	neuer Ventilator
Konstantdruck-Regelung 	Energieverbrauch am Referenztag: 20.2 kWh 100 %	18.8 kWh (Einsparung 7 %)
Druckoptimierte Regelung 	**Schätzen Sie die Einsparung mit der druckoptimierten Reglung!**	

Vergleich der Massnahmen	alter Ventilator	neuer Ventilator
Konstantdruck-Regelung 	Energieverbrauch am Referenztag: 20.2 kWh 100 %	18.8 kWh (Einsparung 7 %)
Druckoptimierte Regelung 	Energieverbrauch am Referenztag: 15.5 kWh (Einsparung 23 %)	12.2 kWh (Einsparung 40 %)

Der neue Ventilator hat bei Teillast einen deutlich besser Wirkungsgrad als der alte. (IE4-Motor, keine FU, keine Transmission)

Zusammenfassung

Ventilatoren haben eine Kennlinie mit optimalem Wirkungsgrad. Der Einsatzbereich soll möglichst nahe bei dieser Linie liegen.

Die Definition des Förderdrucks und des Wirkungsgrades hängen von der Installations-Kategorie ab.

Beim Ersatz von Antriebmotoren ist zu prüfen, ob die Transmission angepasst werden muss.

Beim Ersatz von Ventilatoren ist zu prüfen, die das Kanalsystem und die Regelung angepasst werden sollen.

Der Ersatz der Antriebskette (Transmission, Motor, FU) durch einen Ventilator mit leistungsgeregeltem Direktantrieb ist besonders bei Anlagen mit variablem Volumenstrom interessant.

Danke für Ihre Teilnahme am Webinar!

Weitergehende Hinweise und Quellen:

- Topmotors Merkblatt Nr. 24: Luftförderung
- SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- EFFILUFT: Schlussbericht zum BFE-Projekt. Hochschule Luzern, ZIG, 2016

Frage- und Diskussionsrunde:

Stellen Sie jetzt Ihre Fragen an Heinrich Huber

Topmotors Webinare 2019

- **Tomotors Webinar Nr. 09**
  Donnerstag, 11. April 2019, 10:00 – 11:00
  «Motori elettrici in industrie e servizi industriali»
  Roberto Rossi e i suoi collaboratori, CSD

- **Tomotors Webinar Nr. 10**
  Dienstag, 3. September 2019, 10:00 – 11:00
  «Einfluss von Lagerströmen auf die Standfestigkeit von Motoren»
  Dr. Hanna Putzi-Plesko, ZHAW School of Engineering

- **Tomotors Webinar Nr. 11**
  Dienstag, 5. November 2019, 10:00 – 11:00
  «Zusatznutzen von Effizienzmassnahmen in der Industrie»
  Rita Werle, Topmotors

www.topmotors.ch/webinare

Topmotors Workshops 2019

- **Tomotors Workshop no. 15**

  27. Juni 2019, Nachmittag
  «Exemples pratiques de mesures d’optimisation dans l’industrie»
  Fribourg

  www.topmotors.ch/workshops

IEO 2019

Weiterbildungskurs Industrielle Energieoptimierung (IEO)

- **HSLU, Horw**

  10/11 Mai, 24/25 Mai, 28/29 Juni

- **FHNW, Basel**

  23/24 August, 6/7 September, 27/28 September

  www.topmotors.ch/IEO

Motor Summit 2019 Switzerland

- Datum: 4. Dezember 2019
- Ort: Kongresszentrum Kreuz, Bern
- Sprachen: DE/FR
- www.motorsummit.ch

ProKilowatt Förderprogramm

- **Lüftungs-Förderprogramm Optivent**

  Optivent fördert den Ersatz von alten, ineffizienten Lüftungsanlagen oder deren Komponenten.

  www.opti-vent.ch

Vielen Dank!

Haben Sie Fragen oder Anregungen?

Organisation und Moderation

Carole Tornay
Energie Zukunft Schweiz
c.tornay@ezs.ch

Programmleitung

Rolf Tieben
Impact Energy AG
rolf.tieben@impact-energy.ch