

Gebläse für Belebungsanlagen

17. Nachbarschaftstag der Sonder-Nachbarschaft Großkläranlagen 31. Mai und 1. Juni 2012

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
www.aabfrey.com

Klagenfurt, 31.5. und 1.6.2012

INHALT



- ⇒ Begriffe
 - Ventilator – Gebläse – Verdichter - Kompressor
- ⇒ Typen von Druckluftherzeugern
 - Schiebekolbenverdichter
 - Seitenkanalgebläse
 - Drehkolbengebläse (zwei-, dreiflügelig)
 - Drehkolbenverdichter (Delta Hybridgebläse)
 - Schraubenverdichter
 - Turbogebälse (mit und ohne Leitapparat, „langsam“ und schnelllaufend)
- ⇒ Grundlagen der Verdichtung von Gasen
 - Isentrope Verdichterarbeit, systembedingte Unterschiede der Maschinen

INHALT (2)

- ⇒ Grundsätzliche Unterschiede der Verdichtung
 - Zahlenwerte
- ⇒ Kennwerte zur Beurteilung der Gebläse und des Gesamtsystems
- ⇒ Einfluss der Ansaugzustände
 - Druck (Aufstellungsort)
 - Feuchte
 - Temperatur
- ⇒ Analyse des Betriebszustandes
- ⇒ Einfluss Betriebsbereich, Abstufung der Gebläse
- ⇒ Ergänzende Hinweise - Betriebliche Probleme

Einteilung gängiger Druckluftherzeuger (1)

- ⇒ nach dem Druckverhältnis:
 - Ventilatoren p_2/p_1 bis **1,1** (1,3)
 - **Gebläse** p_2/p_1 ca. 1,1 bis **3,0**
 - Verdichter p_2/p_1 ca. 3 bis 50 bar
 - Hochdruckverdichter (Kompressor)
 p_2/p_1 größer 50

Einteilung gängiger Druckluftherzeuger (2)

⇒ nach der Wirkungsweise:

- **Drehkolbengebläse**, schieben ein Luftvolumen von der Saug- zur Druckseite. Die Drucksteigerung erfolgt durch Rückströmen der Luft von der Druckseite.
- **Schraubenverdichter**, Druckerhöhung durch Verringerung des Arbeitsraumes.
- **Turboverdichter**, erzeugen kinetische Energie und wandeln sie dann in Druckenergie um.

Gebälse und Verdichter (1)

⇒ **Drehkolbengebläse** mit geraden Kolbenflanken in 2 und 3-flügeliger Ausführung

- $\Delta p_{\max} = 1,0 \text{ bar}$, typisch bis $Q_{\text{Luft}} \approx 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$

⇒ **Drehkolbengebläse** mit verschraubten Kolbenflanken (Delta-Hybrid)

- $\Delta p_{\max} = 1,5 \text{ bar}$, typisch bis $Q_{\text{Luft}} \approx 4.000 \text{ m}^3/\text{h}$

⇒ **Schraubenverdichter**

- $\Delta p_{\max} \approx 3,5 \text{ bar}$, typisch bis $Q_{\text{Luft}} \approx 8.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Gebälse und Verdichter (2)

⇒ **Strömungsverdichter** (Turboverdichter einstufig) mit konstanter Drehzahl, Vorleitgitter und Diffusor

- $\Delta p_{\max} \approx 2,0$ bar, typisch bis $Q_{\text{Luft}} \approx 30.000$ m³/h
- Drehzahl ≈ 17.000 1/min

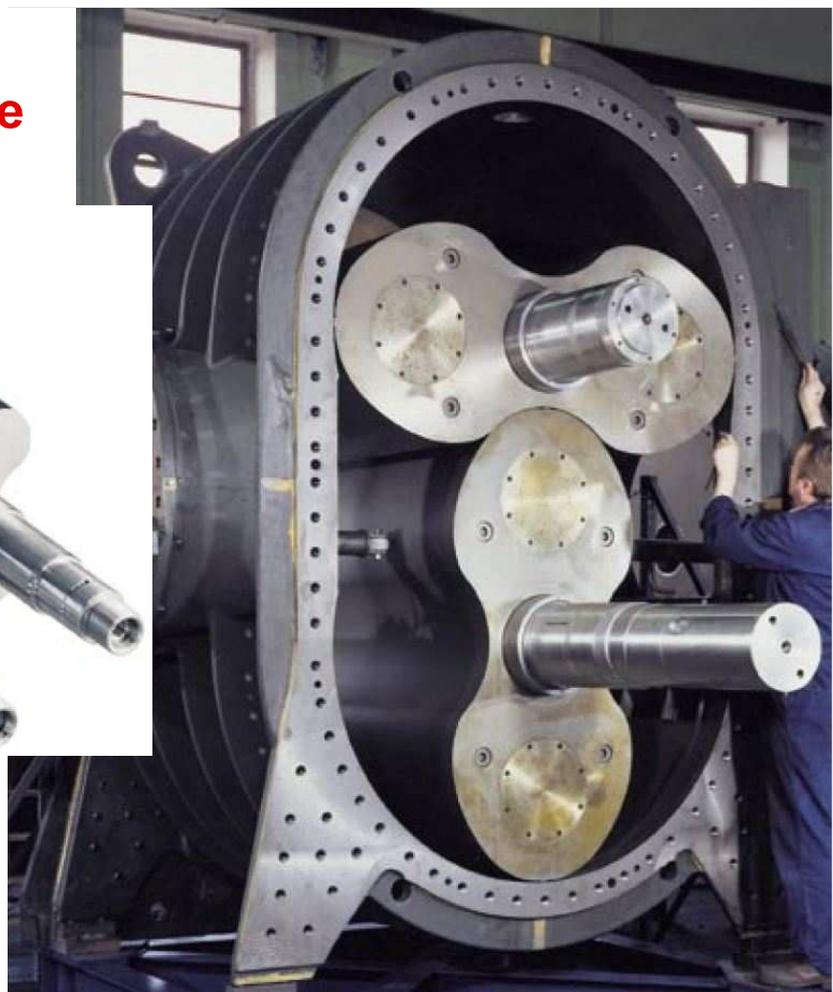
⇒ **Strömungsverdichter** (Turboverdichter einstufig) mit variabler Drehzahl (FU), ohne Vorleitgitter und Diffusor

- $\Delta p_{\max} \approx 1,2$ bar, typisch bis $Q_{\text{Luft}} \approx 10.000$ m³/h
- Drehzahl ≈ 40.000 1/min

Drehkolbengebläse



Quelle: Aerzen



Gebrauchseigenschaften Drehkolbengebläse

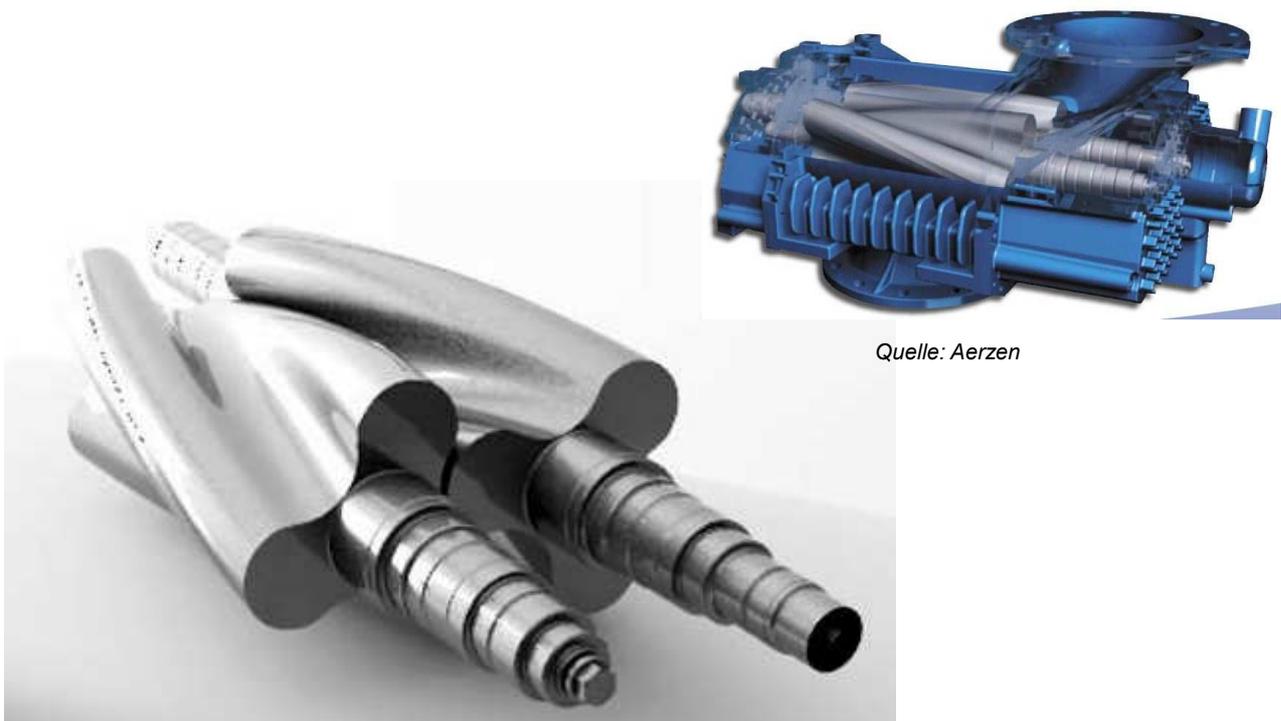


- ⇒ Nicht einsetzbar für große Wassertiefen
- ⇒ Kleine bis mittlere Luftmengen
- ⇒ Der volumetrische Wirkungsgrad sinkt
 - mit steigender Druckerhöhung
 - mit sinkendem Ansaugluftdruck



- ⇒ Gut geeignet für die üblichen Einblastiefen
- ⇒ Günstiger Anschaffungspreis
- ⇒ Regelbarkeit über Drehzahländerung
- ⇒ Gute Wirkungsgrade bei niedriger Druckerhöhung und großer Drehzahl

Drehkolbengebläse (Drehkolbenverdichter; Delta-Hybrid)



Quelle: Aerzen

Gebrauchseigenschaften Drehkolbengebläse (Delta-Hybrid) mit verschraubten Flanken



- ⇒ Teurer als Drehkolbengebläse mit geraden Flanken
- ⇒ Kleine bis mittlere Luftmengen verfügbar (IFAT 2012 – 9000 m³/h)



- ⇒ Gut geeignet auch für größere Einblas-tiefen
- ⇒ Regelbarkeit über Drehzahländerung
- ⇒ Geringere Betriebskosten

Schraubenverdichter



Quelle: Aerzen



Gebrauchseigenschaften Schraubenverdichter

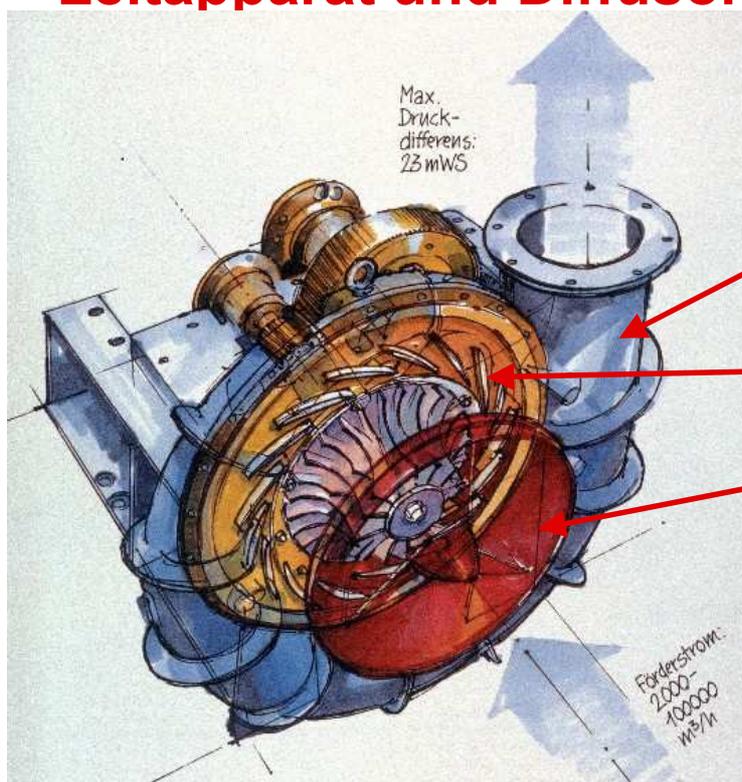


- ⇒ Hohe Anschaffungskosten
- ⇒ Mittlere bis große Luftmengen verfügbar



- ⇒ Gut geeignet für große Einblastiefen
- ⇒ Geringe Betriebskosten
- ⇒ Regelbarkeit über Drehzahländerung

Turboverdichter mit Leitapparat und Diffusor

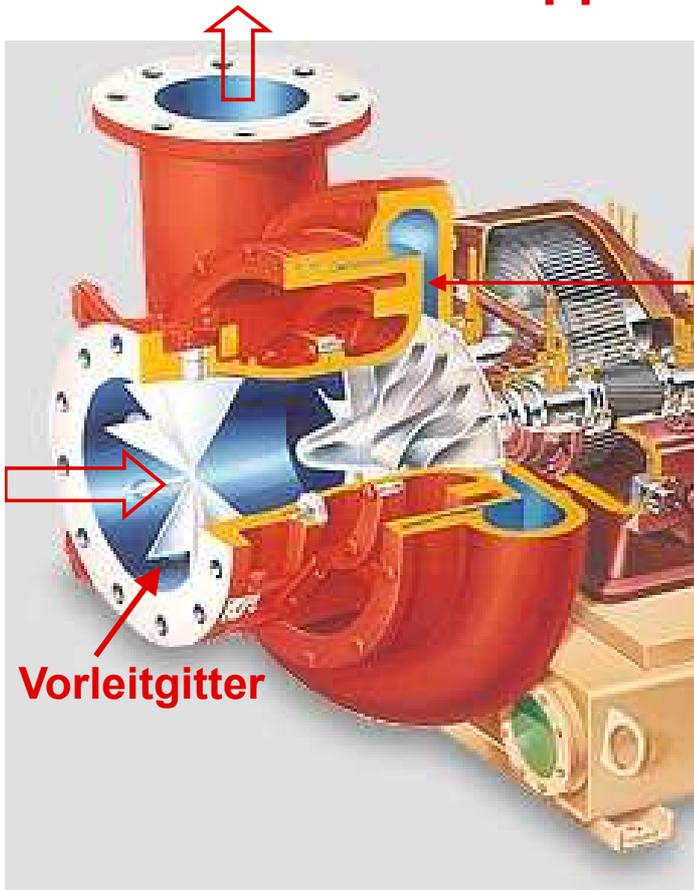


Spiralgehäuse

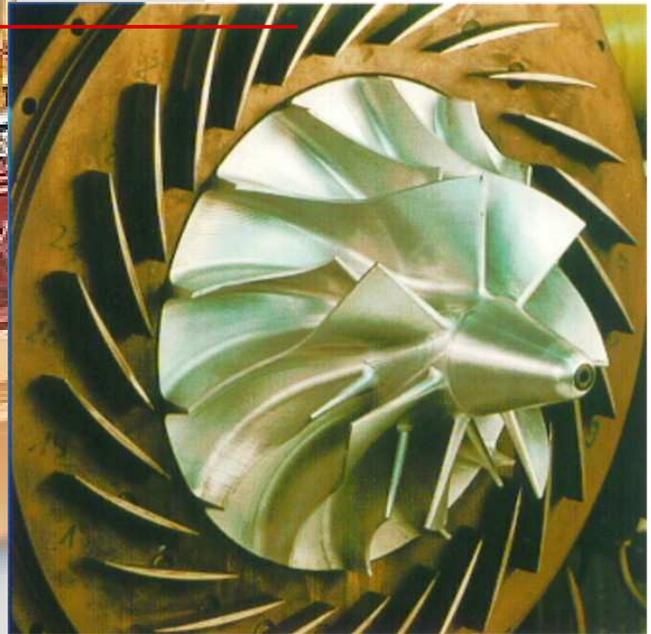
Nachleitgitter
(Diffusor)

Vorleitgitter

Vor- und Nachleitapparat



Nachleitgitter
(Diffusor)



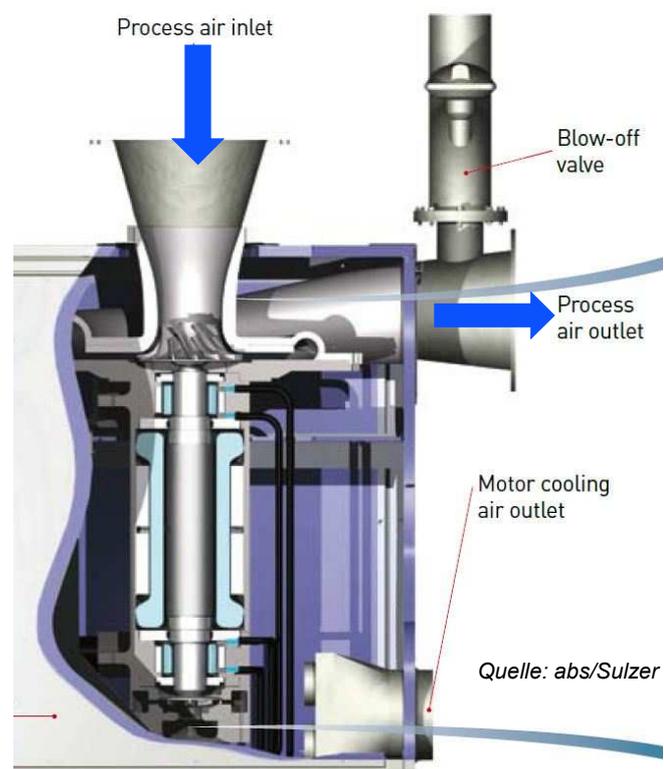
KK&K Turbo HKA Wien



Regelung des Luftdurchsatzes bei Turbogebläsen

- ⇒ **Klassischer Turbo:** Läuft mit konstanter Drehzahl. Kombinierte Vorleitgitter – Nachleitgitter (Diffusor) Regelung. Im Wesentlichen wird mit dem Diffusor der Luftvolumenstrom eingestellt. Mit dem Vorleitgitter wird der angesaugten Luft ein Vordrall gegeben, wodurch der Wirkungsgrad optimiert wird.
- ⇒ **High-Speed-Turbo:** Die Anpassung des Luftvolumenstromes erfolgt durch Drehzahländerung über einen Frequenzumrichter.
 - Es gibt auch Produkte die zur Verbesserung des Wirkungsgrades zusätzlich über eine Vorleitgitter verfügen.

High – Speed – Turbo



Gebrauchseigenschaften Turbogebläse



- ⇒ (Sehr) Hohe Anschaffungskosten
- ⇒ Exakte Auslegung erforderlich
- ⇒ Bei Schäden – teure Reparatur



- ⇒ Gut geeignet für mittlere und große Einblastiefen
- ⇒ Sehr große Luftmengen verfügbar
- ⇒ (Sehr) geringe Betriebskosten

Gebrauchseigenschaften

Klassischer Turbo

- ⇒ Sehr große Luftmengen verfügbar
- ⇒ Aufwändige Regelung (Optimierungsrechner)
- ⇒ Regelbereich 40-100%
- ⇒ (Sehr) guter Wirkungsgrad auch im Teillastbetrieb
- ⇒ Größere Drücke möglich

High Speed Turbo

- ⇒ Auch kleinere Luftvolumenströme verfügbar
- ⇒ Regelbereich 20-100%
- ⇒ Luftlager (möglichst wenig Startvorgänge)
- ⇒ Magnetlager teuer
- ⇒ Frequenzumrichter – Lebensdauer - Kosten

Grundlagen der Verdichtung (klassisches) Drehkolbengebläse

Es gilt die Formel:

$$P_D = \frac{Q_1 \cdot \Delta p}{\eta_{vol}} + P_v$$

Legende:

P_D Leistung Drehkolbengebläse

P_v Verlustleistung

Q_1 Luftvolumenstrom

Δp Differenzdruck

η_{vol} volumetrischer Wirkungsgrad

Grundlagen der Verdichtung Strömungsverdichter

Es gilt die Formel:

$$P_T = Q_1 \cdot p_1 \cdot 3,5 \cdot \left[\left(\frac{p_1 + \Delta p}{p_1} \right)^{0,2857} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{is}} + P_v$$

Legende:

P_T Leistung Turbogebläse

P_v Verlustleistung

Q_1 Luftvolumenstrom

P_1 Ansaugluftdruck

Δp Differenzdruck

η_{is} isentroper Wirkungsgrad

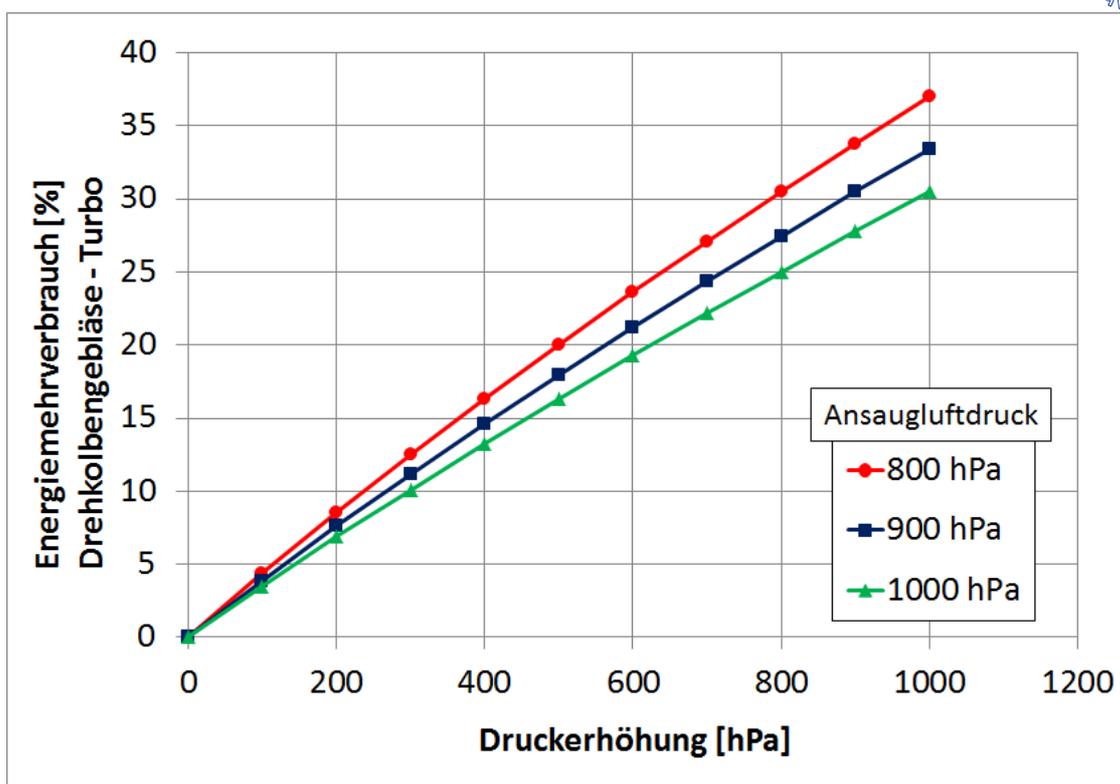
Vergleich der Verdichtungs Vorgänge

⇒ Unter der Annahme, dass alle Wirkungsgrade 100 % sind und die Verlustleistung Null ist gilt:

$$\frac{P_D}{P_T} = \frac{Q_1 \cdot \Delta p}{Q_1 \cdot p_1 \cdot 3,5 \cdot \left[\left(\frac{p_1 + \Delta p}{p_1} \right)^{0,2857} - 1 \right]}$$

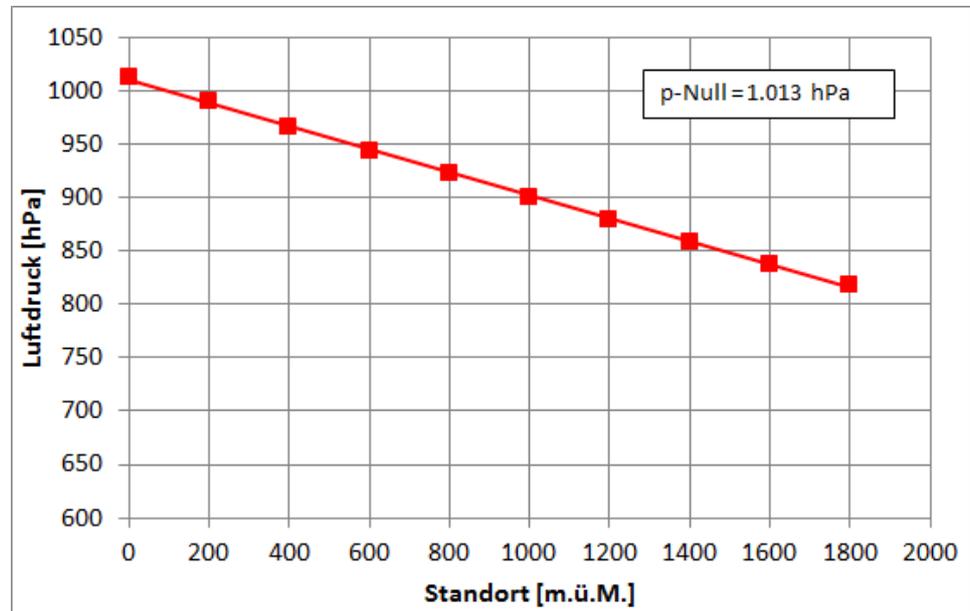
- Die Auswertung der Formel zeigt, dass Drehkolbenverdichter, **systembedingt**, eine größere Leistungsaufnahme als Strömungsmaschinen haben.

Theoretischer Energiemehrbedarf von Drehkolbengebläsen (1)



Theoretischer Energiemehrbedarf von Drehkolbengebläsen (2)

- ⇒ Der Aufstellungsort und die Luftdruckschwankungen (normales Wettergeschehen ± 20 hPa) haben Einfluss auf den Ansaugluftdruck.



Klagenfurt, 31.5. und 1.6.2012

Theoretischer Energiemehrbedarf von Drehkolbengebläsen (3)

- ⇒ Der theoretische Energiemehrbedarf
- Steigt mit größer werdendem Differenzdruck, d.h. er steigt mit steigender Einblastiefe
 - Steigt mit sinkendem Ansaugluftdruck, d.h. er sinkt mit größer werdender Ortshöhe

Drehkolbengebläse

Kennwerte zur Beurteilung

- ⇒ Gesamtsituation (Gebläse, Rohrleitung, Einbauten, Belüfterelemente): spezifische Einblasenergie bezogen auf die Einblastiefe [Wh/(m³·m), berechnet mit Ansaugluftvolumenstrom
- ⇒ Gebläsestufe: spezifische Einblasenergie bezogen auf die Druckerhöhung im Gebläse [J/(m³·Pa)]
 - ⇒ Einheit 1, d.h. dimensionslose Kennzahl, berechnet mit Ansaugluftvolumenstrom

Drehkolbengebläse - Kennwerte

Typische Werte

- ⇒ spezifische Einblasenergie - Einblastiefe [Wh/(m³·m)] - Gesamtsituation

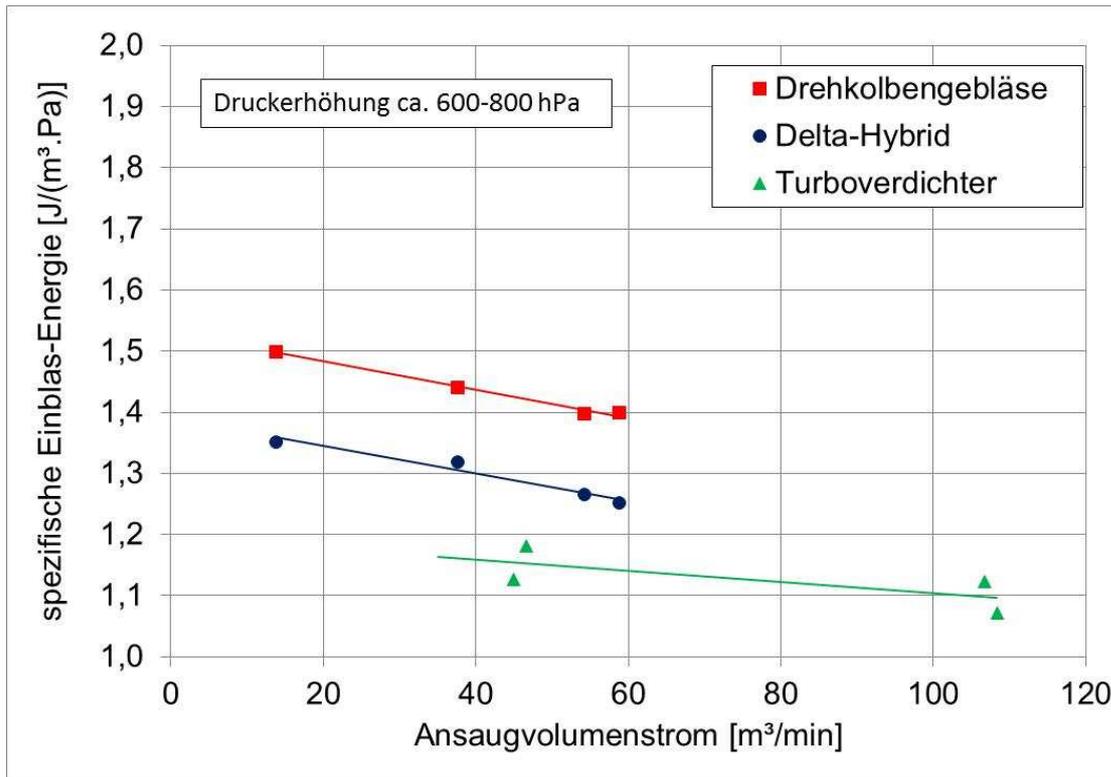
$$\text{spez. } W_h = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft, ansaug}} \cdot h_e} \approx 4,8 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}} \right]$$

- ⇒ spezifische Einblasenergie - Druckerhöhung [J/(m³·Pa)]

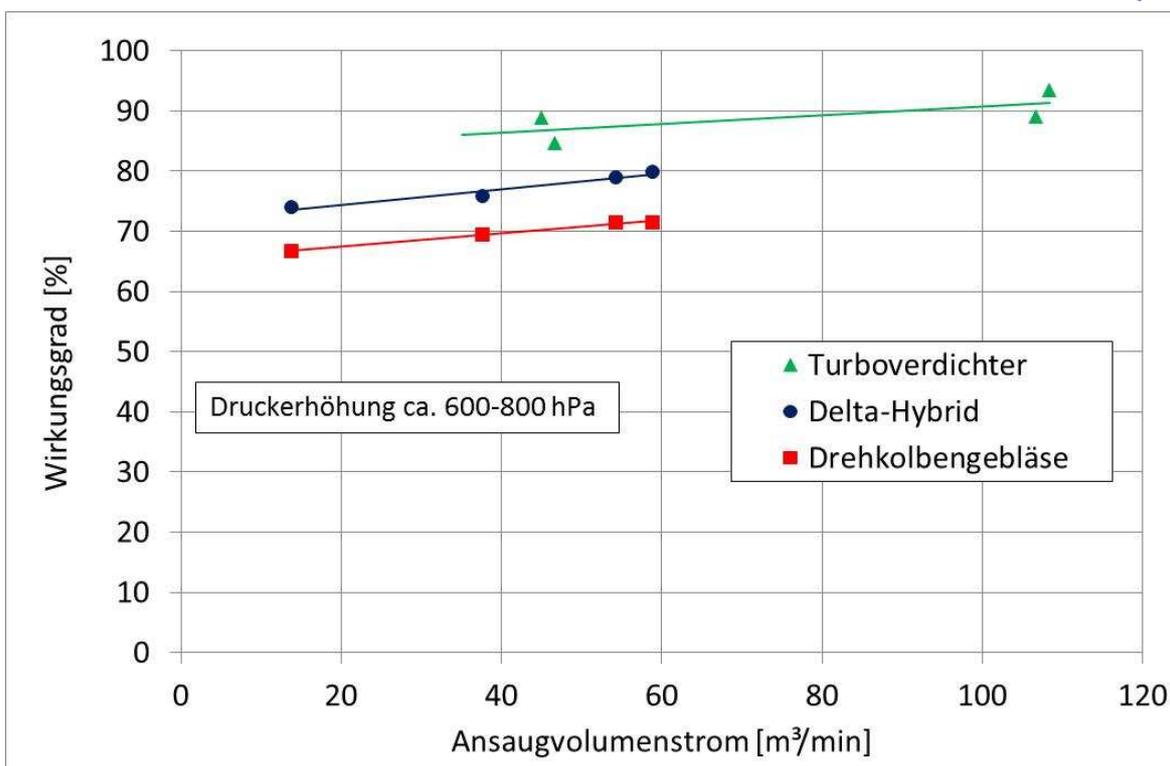
$$\text{spez. } W_p = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft, ansaug}} \cdot \Delta p_{\text{Gebläse}}} \approx 1,5 \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}} \right]$$

- ⇒ Der Kehrwert (1/spez.W_p) ist der Wirkungsgrad der Gebläseeinrichtung: typischer Wert ca. 70%.

Spezifische Einblasenergie Vergleich ausgewählter Anlagen



Wirkungsgrad Vergleich ausgewählter Anlagen



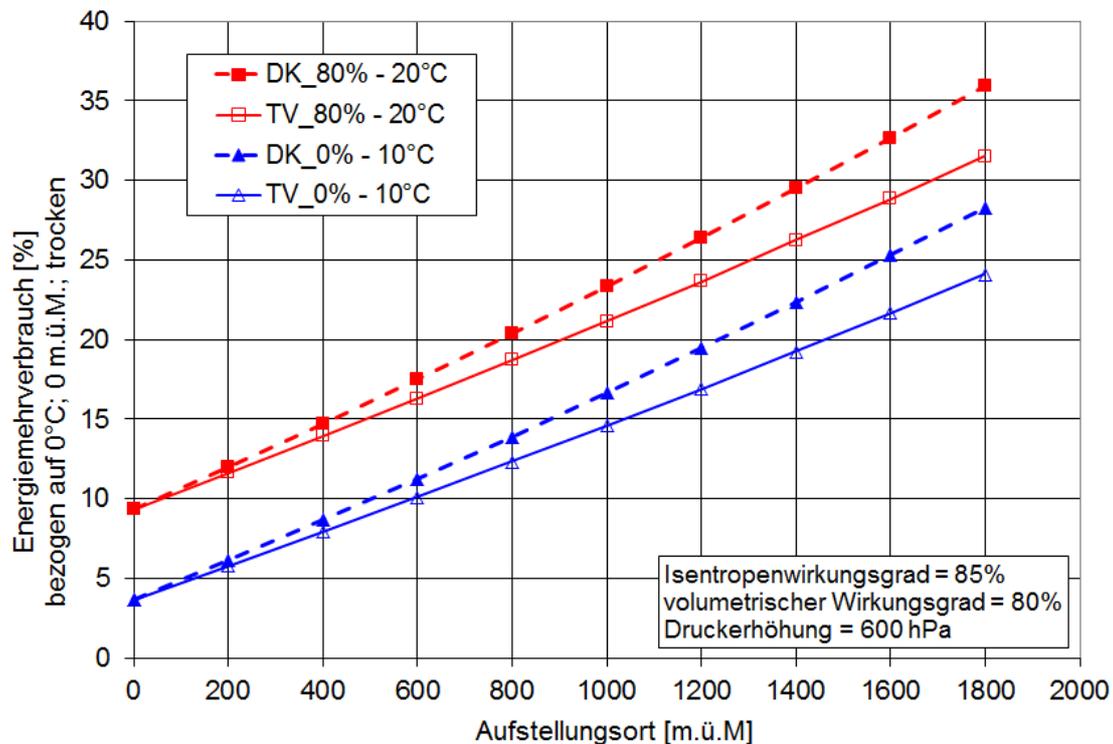
Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystems

- ⇒ Für die Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystems sind NICHT nur die Qualität und die Gebrauchseigenschaften der einzelnen Komponenten ausschlaggebend!
- ⇒ Es sind nicht an jedem Aufstellungsort die gleichen (guten) Werte erreichbar. So hat das selbe System bei größerer Ortshöhe, hoher Luftfeuchte und höherer Ansaugtemperatur jedenfalls eine geringere Wirtschaftlichkeit als bei niedriger Höhe über dem Meeresspiegel, geringer Luftfeuchte und ggf. geringerer Ansaugtemperatur.
- ⇒ Der tatsächliche Energiebedarf eines Belüftungssystems ist immer nur an der ausgeführten Anlage messbar. Die gemessenen Werte sind nicht unmittelbar vergleichbar.

Einflussgrößen durch den Ansaugzustand der Luft

- ⇒ Für die Sauerstoffzufuhr in ein Belebungsbecken ist der Massenstrom an eingeblasener (trockener) Luft und damit dem Massenstrom an Sauerstoff entscheidend.
- ⇒ Mit sinkendem **Druck**, steigender **Luftfeuchte** und steigender **Temperatur** nimmt der Massenstrom an Sauerstoff pro Kubikmeter Ansaugluft deutlich ab.
- ⇒ Um die gleiche Masse an Sauerstoff in das Becken einzublasen muss der Ansaugvolumenstrom vergrößert werden.
- ⇒ Zum Einblasen eines größeren Volumenstroms wird mehr Leistung benötigt.
- ⇒ Das Diagramm zeigt den theoretischen Leistungsmehrbedarf in Abhängigkeit des Ansaugzustandes für Turboverdichter (TV) und Drehkolbengebläse (DK). Der 100 % Wert ist die Leistungsaufnahme des jeweiligen Aggregates bei 0°C, trockener Luft (relative Feuchte = 0%) und 1013 hPa.

Energiemehrverbrauch durch variable Zustandsgrößen der Ansaugluft (Druck, Temperatur, Feuchte)



Klagenfurt, 3

33/39

Einfluss der Druckerhöhung

⇒ Die Druckerhöhung, und damit die Leistung, ist vom Wasserdruck und den **Druckverlusten** auf der **Saug- und Druckseite** bestimmt.

⇒ Saugseitige Verluste

- Zu geringe Ansaugquerschnitte (Tür zum Gebläseraum geht nicht auf)
- Ansaugfilter verschmutzt, Vereisungen im Winterbetrieb
- Mangelhafte Rohrleitungs montage bzw. Einbau von Armaturen

⇒ Druckseitige Verluste

- Verstopfte/gealterte Belüfterelemente
- Wasser in der Rohrleitung
- Verluste durch Konstantdruckregelung
- Mangelhafte Rohrleitungs montage bzw. Einbau von Armaturen
- Verluste durch Messeinrichtungen
- Fremdkörper in der Rohrleitung



Einfluss durch die Abstufung und Auswahl der Maschinen (1)

⇒ Realistische Abschätzung der Belastung und Entwicklung der Einleitorsituation



Klagenfurt, 31.5. und 1.6.2012

35/39

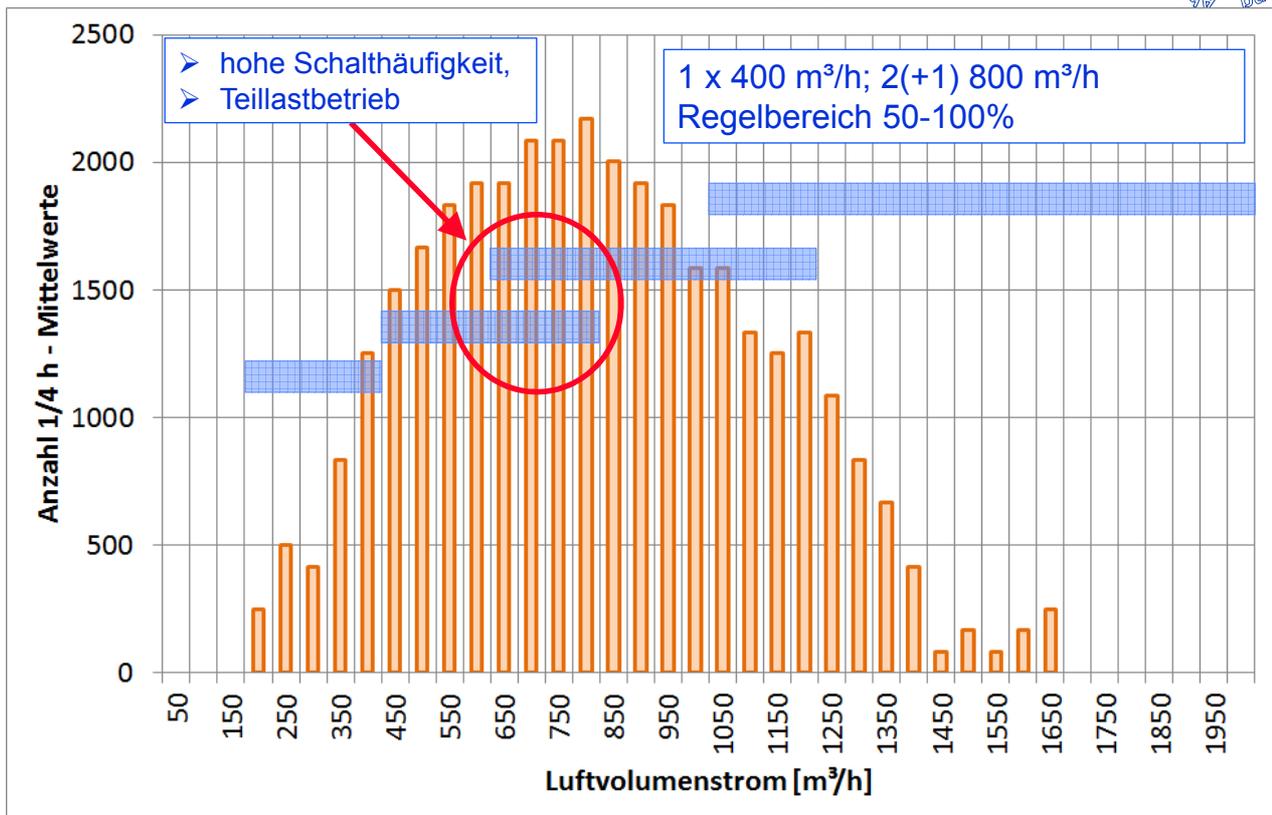
Einfluss durch die Abstufung und Auswahl der Maschinen (2)

- ⇒ Analyse der tatsächlich auftretenden Belastungszustände und erforderlichen Luftvolumenströme
- ⇒ Auswahl/Staffelung der Förderleistung einzelner Maschinen zur nahtlosen Abdeckung des Regelbereiches unter Beachtung des energetisch günstigsten Betriebspunktes der Maschinen
- Geringe Schalthäufigkeiten anstreben
 - Teillastbetrieb in oft auftretenden Betriebszuständen vermeiden

Klagenfurt, 31.5. und 1.6.2012

36/39

Einfluss durch die Abstufung und Auswahl der Maschinen (3)



39

Ergänzende Hinweise

- ⇒ Eine Maschine zur Abdeckung der **Grundlast** z.B. Turbogebälse (möglichst wenig Einschaltvorgänge) und zweite Maschine z.B. Drehkolben zur Abdeckung des Regelbereiches
- ⇒ Auch wartungs(freie)arme Aggregate brauchen Wartung (z.B. **Ansaugfilter**)
- ⇒ Auch **elektronische Bauteile halten nicht ewig**. Hohe Kosten bei speziellen Ersatzteilen z.B. Frequenzumrichter für High-Speed Turbo.
- ⇒ Bei Nach/Umrüstungen von Drehkolben auf Turbo ist auf die **Luftleitungsführung** (speziell Zuluft) zu achten! Es gibt kaum Freiheitsgrade, die Anschlüsse, Filterkästen, Schalldämpfer sind vorgegeben.
- ⇒ Probleme bei der **Nachrüstung** von bestehenden Aggregaten mit hocheffizienten Antrieben (IE3 Motoren). Restliche elektronische Bauteile, z.B. Frequenzumrichter, passen oft nicht (saubere Sinusgrößen erforderlich).



**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**

www.aabfrey.com