

Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute
Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux
Associazione Svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque
Swiss Water
Pollution Control
Association



Luftförderung / Komprimierung mit Gebläseeinheiten

Gerhard Seibert-Erling, setacon GmbH

**Funktionsprinzip der Luftverdichter, Typenwahl,
optimaler Einsatz und Regulierung,
zentrale / dezentrale Stationen,
Wirkungsgrade,
Überhitzung bei kleinen Drehzahlen**

Emmetten, 27.05.2015

Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute
Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux
Associazione Svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque
Swiss Water
Pollution Control
Association



**Funktionsprinzip der Luftverdichter, Typenwahl
optimaler Einsatz und Regelung
zentrale/dezentrale Stationen, Wirkungsgrade**

Emmetten, 27.05.2015

Zur Person



Dr.-Ing. G. Seibert-Erling (1958)

Maschinenbauingenieur (1985)

Promotion in Mess- und Regelungstechnik (1992)

Abt.-Ltr., NL-Leiter bei Ing.-Büros

Geschäftsführer der setacon GmbH (2010)

Beratungsleistungen Umwelt, Verfahren, Energie

Persönliches Mitglied in VDI und DWA (>25 J.)

Mitglied in folgenden Gremiender DWA

- | | |
|-------------------|--|
| - DWA FA KEK-10 | Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft
"Energierichts-Feuerwehr" |
| - DWA AG KEK-10.2 | Abwasserwärmenutzung |
| - DWA AG 6.5 | Belüftung und Durchmischung "" |

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 3

Inhalt und Gliederung



(1) Funktionsweise von Verdichtern

Druckerhöhung, Verstellung der Menge

(2) Leistungsangaben, Werksabnahmen, Betrieb

Normen, Kenngrößen, Vergleichbarkeit, einfache Überprüfungen

(3) Maschinentechnische Auslegung (bisher)

(schlechtes) Beispiel, Maschinentechnische Kenngrößen

(4) Energieeffiziente Auslegung

Kennlinien, Staffelung, kombinierter Betrieb, Kühlung

(5) Inbetriebnahme, Regelung, Optimierung

Praxisbeispiel Köln-Stammheim

(6) Zusammenfassung

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 4

(1) Funktionsweise von Verdichtern

Drucklufterzeugung - Funktionsweise

Verdrängermaschinen

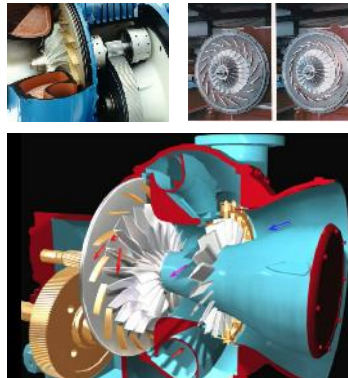
Strömungsmaschinen

Drehkolben-gebläse

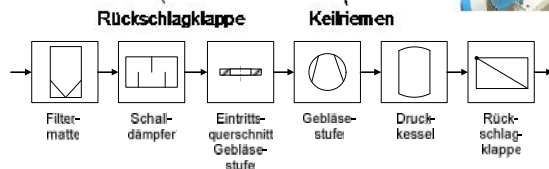
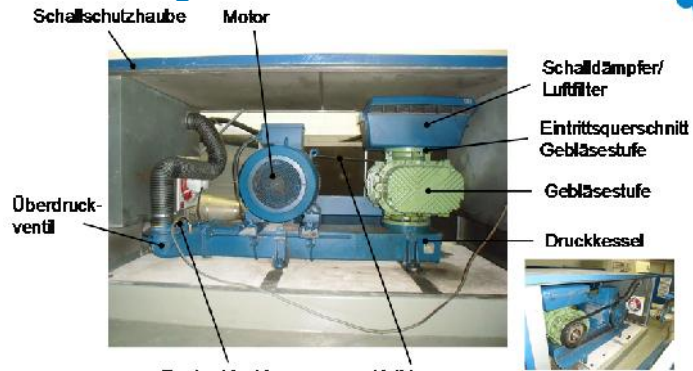
Schrauben-verdichter

Turboverdichter mit Leitapparaten

Turboverdichter mit Drehzahlverstellung



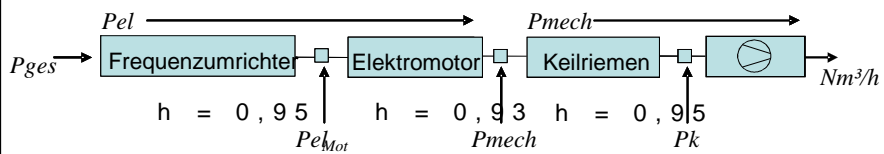
Drehkolbengebläse - Druckverhältnisse



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 7

Drehkolbengebläse



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 8

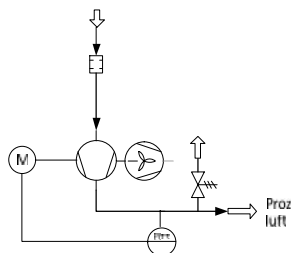
Leistung der Gebläsestufe und des Elektromotors



Überdruckventil



Ansaugluft



- Maßgebende Auslegungsgrößen: Luftmenge, Druck
- Sicherheiten beim Druck: Einblastiefe + Rohrleitungsverluste + Öffnungsdruck Belüfter + erwarteter Druckanstieg + pauschaler Sicherheitsaufschlag + Hysterese Überdruckventil
- Berechnung der Motorgröße auf der Grundlage des maximalen Druckwertes,...der jedoch faktisch nie auftreten kann.
- **Die übliche Auslegungspraxis ergibt viel zu große Motoren!**
- Überdruckventil schützt nicht das Gebläse!
- Motorleistung reicht nicht aus, um Gebläse zu zerstören.
- Überdruckventil ist der (mechanische) Überlastschalter für den Elektromotor.

... diese Aufgabe lässt sich eleganter lösen!

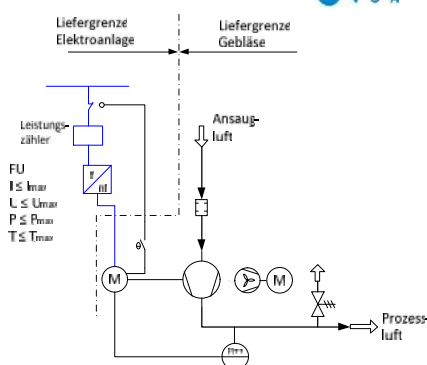
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 9

Auslegung und Schutz des Antriebsmotors



- (+) Effizienter Betrieb des Motors bei 70 – 100% der Nennleistung (geringe Verluste, wenig Wärme)
- (-) Hohe Belastung entsteht im niedrigen Teillastbereich und durch Ein- und Ausschaltvorgänge (Wärmestau!)
- (+) Dauerbetrieb im Bereich der Nennlast ist für den Elektromotor ein angenehmer Zustand!
- (-) Antriebsmotoren werden nicht auf den Betriebsdruck, sondern auf den faktisch unerreichbaren Sicherheitswert ausgelegt.
- (+) Ein Schutz des Motors ist jedoch auf elektrischem Wege bzw. mit MSR-Mitteln viel wirkungsvoller umzusetzen.
- (+) Diese Schutzfunktionen sind heute bei FU-Antrieben Standard, sie werden aber nicht genutzt!



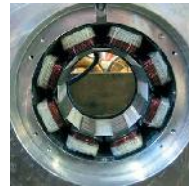
Die Alternative: elektronisch abregeln!



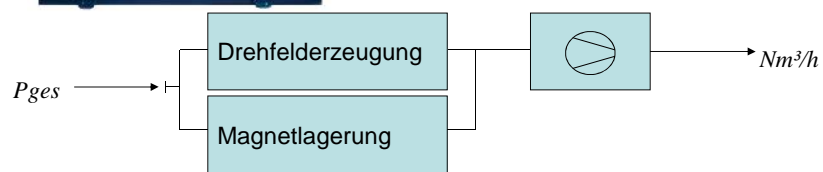
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 10

Magnetgelagerter Turboverdichter



Magnetlagerung
100% ölfrei, berührungsfrei, vibrationsfrei



$$h = 0,95 \text{ ?}$$

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 11



(2) Leistungsangaben, Werksabnahmen, Betrieb

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 12

Werkseitige Prüfbedingungen für Verdichter



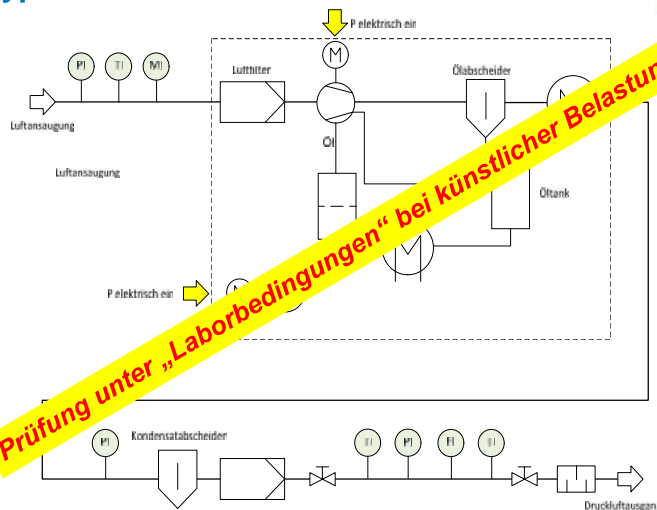
- Bestimmung des **Leistungsbedarfs durch thermodynamische Bilanzierung** (DIN 1945, ISO 5389)
- Bestimmung der **mechanischen Leistungsaufnahme** unter definierten Betriebsbedingungen bei **geforderten Werten für Luftmenge und Druck** (ISO 1217)



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 13

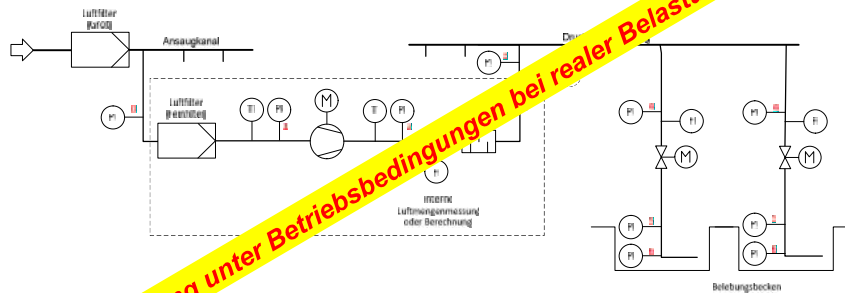
Typischer Prüfstand für Verdichter



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 14

Verdichter im Einsatz auf einer Kläranlage



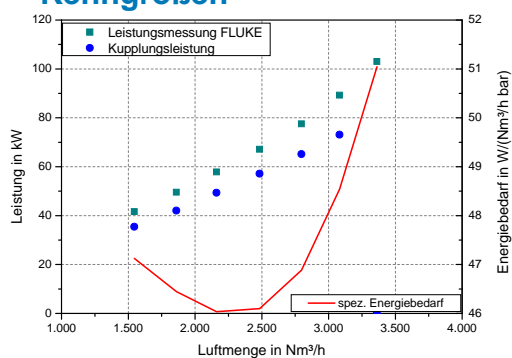
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 15

Betriebswerte und energetische Kenngrößen



Messtechnische Überprüfung



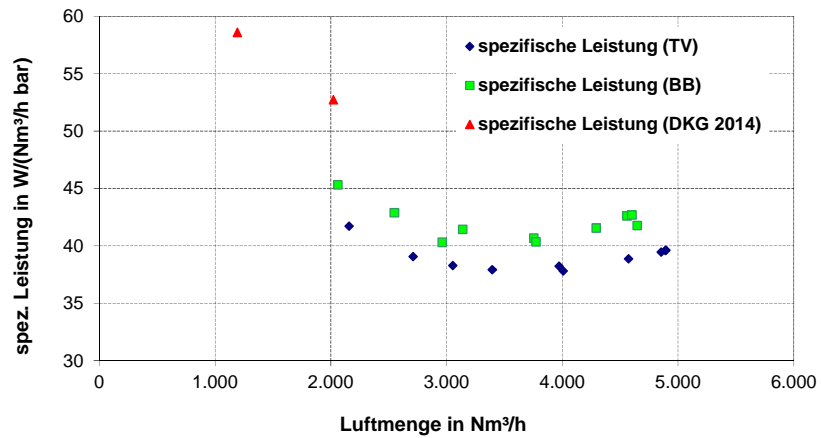
Bekannte energetische Kenngrößen

- **spezifischer Leistungsbedarf = elektrische Leistung / (erzeugte Luftmenge x Druck)**
- Einheit: W / (Nm³/h bar)
- gute Werte: 30 – 40, Mittelfeld: 40 – 50, schlecht: > 50
- typische Werte aus der Praxis liegen heute bei 45 – 65 W/(Nm³ bar)

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 16

Überprüfung eines TV mit Magnetlagerung



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 17

Turboverdichter im Betrieb



$$V_1 = V_N \cdot \frac{T_1}{T_N} \cdot \frac{p_N}{p_1 - \varphi \cdot p_0(T_1)} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

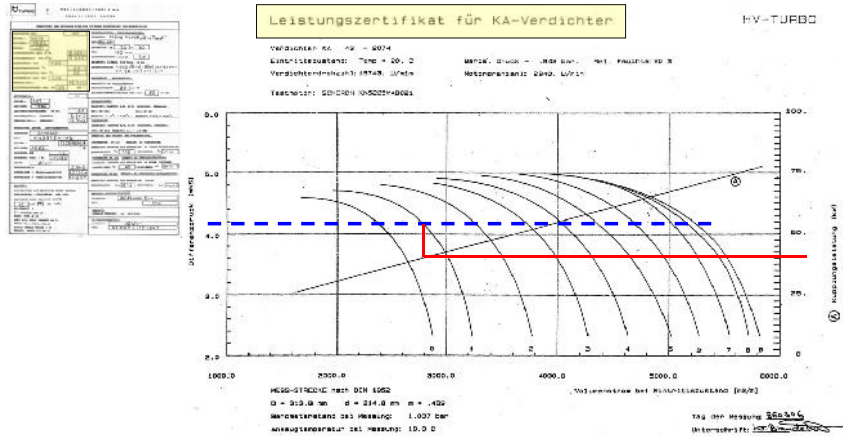
$$y_w = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad [\text{J/kg}]$$

$$p_{\text{Kup}} = \frac{\rho_1 \cdot V_1 \cdot y_w}{\eta_{\text{is}} \cdot \eta_{\text{moch}} \cdot 3600} \quad [\text{W}]$$

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 18

TV Kennfeld und Abnahmeprotokoll



Verdichterprüfung



(Druck-)verluste Ansaugschalldämpfer



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 21



(3) Maschinentechnische Auslegung

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 22

Prioritäten bei der Auslegung



Prioritäten bisher

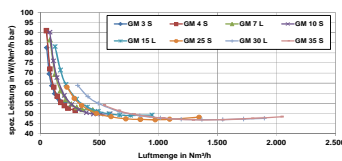
- Bemessungswert (genaue Einhaltung)
- Redundanz (n+1)
- Ersatzteilkhaltung (möglichst gleiche Aggregate)
- Robustheit
- Energieeffizienz

↓
einmalige projektorientierte Beschaffung

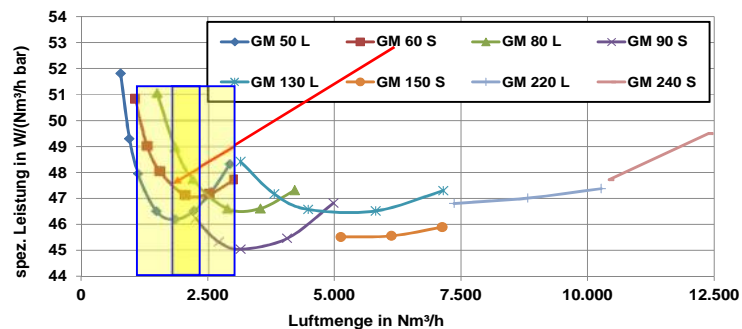
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 23

Auslegungsdaten



- Ausbaugröße ca. 100.000 EW
- Luftbedarf im Mittel ca. 5.750 Nm³/h
- Luftbedarf in der Spitze ca. 11.500 Nm³/h
- Reserve (4+1): 14.375 Nm³/h
- Gebläsegröße: 2.875 Nm³/h



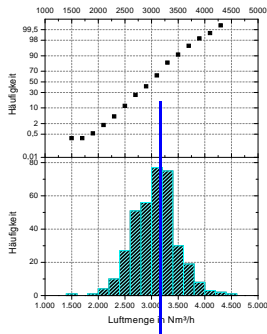
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 24

Betriebsdaten: Häufigkeitsverteilung + Kennlinie

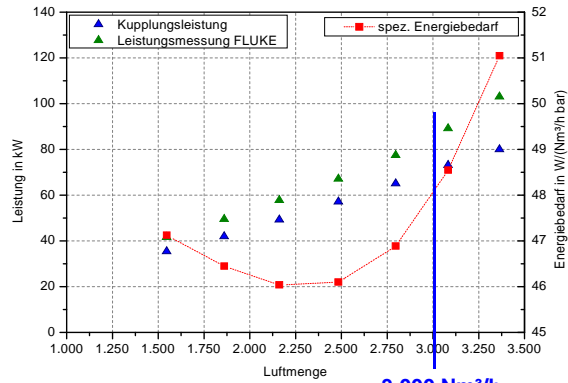


Luftmengen 2009



3.000 Nm³/h

Gebläseüberprüfung 2010 - Kennlinienaufnahme

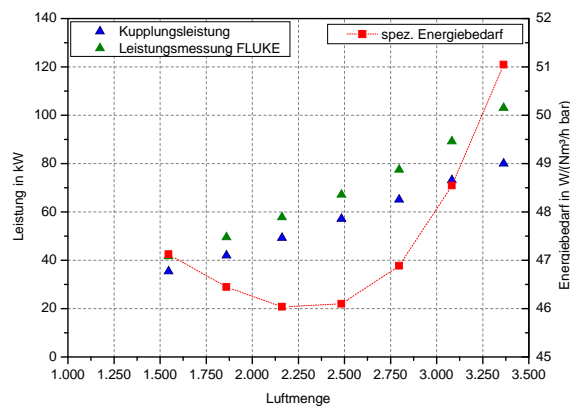


3.000 Nm³/h

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 25

Energieeffizienz



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 26

Energieeffizienter Betrieb durch Frequenzumrichter



These/Behauptung:

Durch den Einsatz von Frequenzumrichtern wird die Effizienz von Gebläsen verbessert. Der günstigste Betriebspunkt liegt bei 80% Teillast. Eine Frequenz von 20 Hz sollte nicht unterschritten werden.



Baron Münchhausen

Faktencheck:

*Jedes Gebläse hat eine primär von der Maschinendrehzahl abhängige Kennlinie.
Die Umrichterfrequenz muss in Verbindung mit der Getriebeübersetzung gesehen werden.*

**Die energetische Effizienz muss für jedes Aggregat und die jeweiligen Betriebsbedingungen (zumindest rechnerisch) beurteilt werden.
Bei mehr als 50.000 kWh/a lohnt eine messtechnische Überprüfung.**

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 27

Paradigmenwechsel



Prioritäten bisher

- Bemessungswert (genaue Einhaltung)
- Redundanz (n+1)
- Ersatzteilkhaltung (möglichst gleiche Aggregate)
- Robustheit
- Energieeffizienz

einmalige projektorientierte Beschaffung

Prioritäten zukünftig

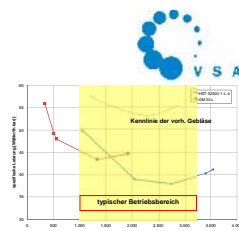
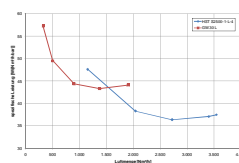
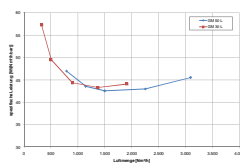
- Energieeffizienz
 - Robustheit
 - Verfügbarkeit (u. a. durch Redundanz)
 - Instandhaltung (Wartungsvertrag)
 - Bemessungswert ...auch einhalten
 - flexible Programmierung
- fließende bedarfsorientierte Beschaffung**

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 28

(4) Energieeffiziente Auslegung einer Station/Gruppe

Systematische Vorgehensweise



- Der Belastungszustand (Luftmenge) anhand von **Betriebsdaten aus zurückliegenden Jahren** analysieren (Erzielte Reinigungsleistung und Energieverbrauch im üblichen Rahmen?)
- Verschieben sich die ermittelten Auslegungsdaten durch weitere **Optimierungen** (Austausch von Belüftern, Veränderung von Sollwerten, neue Gebläse/Verdichter, geänderte Belastung, etc.)?
- Dimensionierung aufgrund der **größten Häufigkeit der Belastungswerte** mit einem einzigen möglichst energieeffizienten Aggregat („**Rennpferd**“).
- Für die seltener auftretenden Betriebszustände Aggregate ergänzen, so dass Forderungen nach **Verfügbarkeit, Überdeckung und robustem Betrieb** erfüllt werden („**Ackergaul**“).
- Grundsteine für **energieeffizienten Betrieb und gute Regelung**

Druckluftherzeugung – Hersteller und Aggregate



Verdrängermaschinen

Gebläse ohne innere Verdichtung **Verdichter mit innerer Verdichtung**

Drehkolben-gebläse	Hybrid-gebläse	Schrauben-verdichter	Siemens (HV-Turbo, KKK)	Sulzer (HST), Aezener	Atlas Copco, Piller
Aerzener, Kesser, Robuschi, Barst, Becker, Ratsche, ...					



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 31

Kombinierter Betrieb von Druckluftherzeugern



These/Behauptung:

Turboverdichter und Drehkolbengebläse können nicht parallel an einer gemeinsamen Druckleitung betrieben werden, weil der pulsierende Luftstrom der Drehkolben Schäden am gleichmäßig strömenden Turboverdichter verursacht!



Brüder Grimm

Faktencheck:

Aus technischer Sicht können alle üblichen Verdichterbauarten bei entsprechender Auslegung parallel an der gleichen Druckleitung betrieben werden.

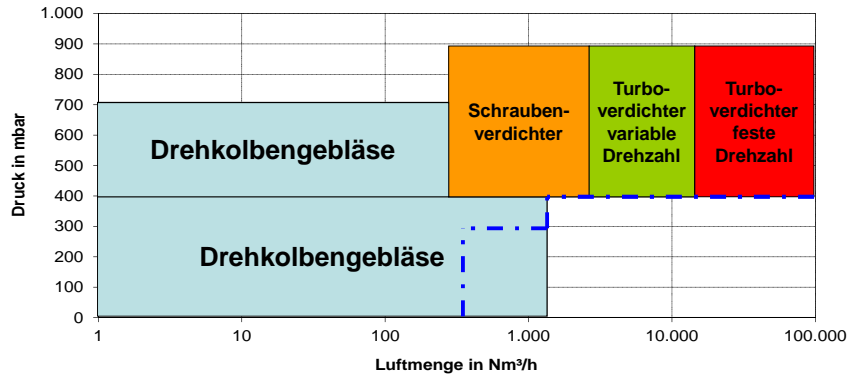


Die meisten Hersteller haben heute alle Bauarten im Portfolio und empfehlen kombinierte Lösungen für den energieeffizienten Betrieb.

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 32

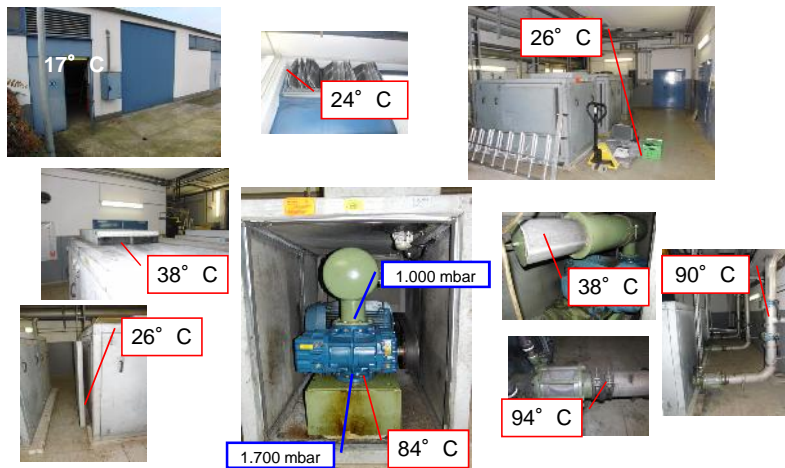
Verdichter - Einsatzbedingungen



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 33

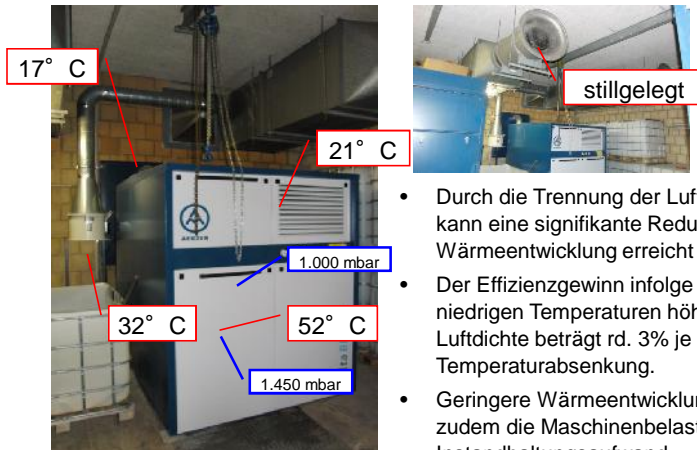
Temperaturen bei konventioneller Bauweise



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 34

Temperaturen bei getrennten Luftkreisläufen



- Durch die Trennung der Luftkreisläufe kann eine signifikante Reduzierung der Wärmeentwicklung erreicht werden.
- Der Effizienzgewinn infolge der bei niedrigen Temperaturen höheren Luftdichte beträgt rd. 3% je 10 ° C Temperaturabsenkung.
- Geringere Wärmeentwicklung reduziert zudem die Maschinenbelastung und den Instandhaltungsaufwand.

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 35

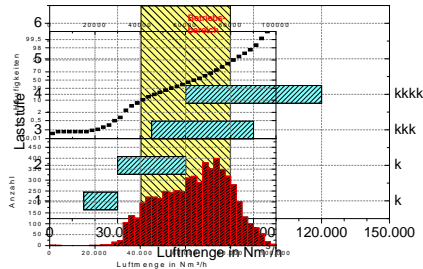


(5) Inbetriebnahme, Regelung, Optimierung

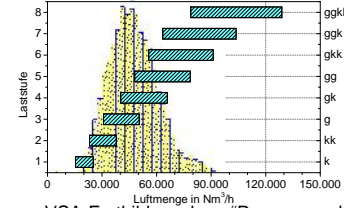
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 36

GKW Köln-Stammheim Bestand vor Umbau



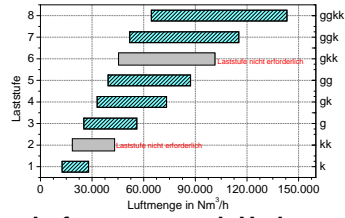
Planung 2 neue Verdichter



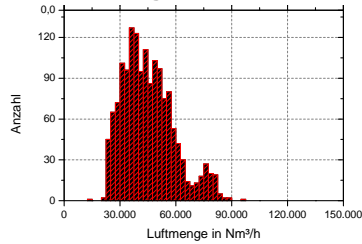
VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015



Staffelung nach Umbau

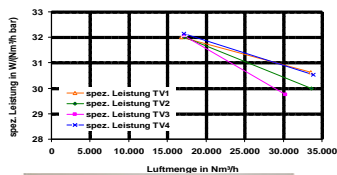


Luftmengen nach Umbau



Seite 37

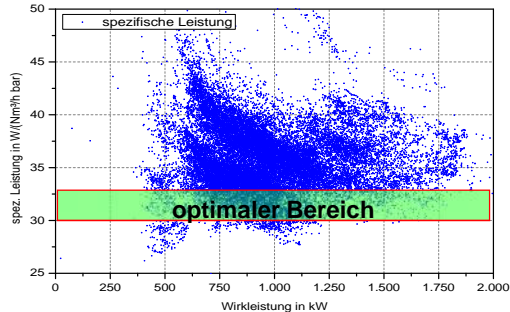
Werksabnahme vs. Betriebsverhalten



Werksabnahme 1992



Betriebsdaten 2012



VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 38

Planung - Bau - Betrieb - Regelung- Optimierung



**Die Planungszeit dauert zwei Jahre, die
Bauzeit drei Jahre, der leidvolle Betrieb
aber 30 Jahre (...)**

*Quelle: Rösler, N.: Gedanken zur Technologie der
Abwasserreinigung, Korrespondenz Abwasser 3/82*

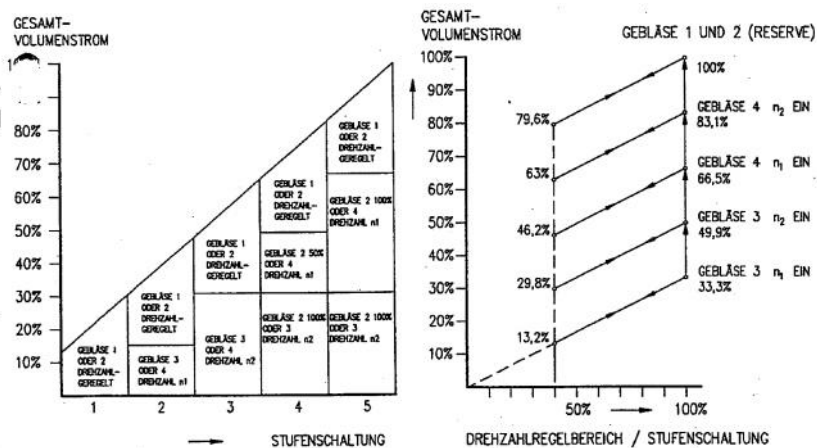
**Über das Ziel hinausschießen ist eben so
schlimm, wie nicht ans Ziel kommen.**

**Wer das Ziel kennt, kann entscheiden; wer
entscheidet, findet Ruhe; wer Ruhe findet, ist
sicher; wer sicher ist, kann überlegen; wer
überlegt, kann verbessern.**



Konfuzius

Regelung nach DWA-M 265





(6) Zusammenfassung und Empfehlung

Zusammenfassung und Empfehlung



- (1) "**Richtige**" Auslegung erfordert vertiefte Kenntnisse der Maschinen.
- (2) Anforderungen an die **Fachplanung** und **Honorierung** (Differenzierung, Berechnungen, Nachweise).
- (3) Energetische Optimierung hat katalysierende Wirkung auf die Maschinen- und Verfahrenstechnik.
- (4) Festlegung von Kennwerten ist problematisch.
Blickwinkel schärfen: mehr **Ursache/Wirkung**, weniger **Statistik!**
- (5) Technisches Regelwerk muss Hilfestellung geben.
- (6) Merkblatt **DWA-M 229** Belüftung und Durchmischung
- (7) Online-Kennwerte für Betriebspersonal (**Ampel**, Kennfelder?)
- (8) Die **Genehmigungspraxis** überdenken, neue Freiheitsgrade zulassen.
- (9) Auslegungs- und **Prüfprogramme** anpassen!
- (10) Auslegung der Maschinenteknik auf den **Istzustand**, nicht auf den Ausbauzustand! Mindestens **Nachweis für den Istzustand!!!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling

*setacon GmbH
Augustinusstrasse 9b
50226 Frechen
Tel. (02234) 988095-0*

Kontaktaufnahme:
g.seibert-erling@setacon.de

**Ausreichende Reserven oder
einfach nur etwas zu groß für den
Istzustand?“**

VSA-Fortbildungskurs "Pumpen und Fördereinrichtungen" am 27.05.2015

Seite 45