Grundlagen und Druckluftanwendungen

1. Einleitung
2. Grundlagen Verdichtung
3. Druck und Liefermenge
4. Druckluftsystem und Exergiefluss
5. Druckluftanwendungen
6. Zusammenfassung Druckluftanwendungen

Rolf Gloor
Dipl.Ing.ETH, NDU HSG

Gloor Engineering
CH–7434 Sufers
gloor@energie.ch

Einleitung zum Thema Druckluft

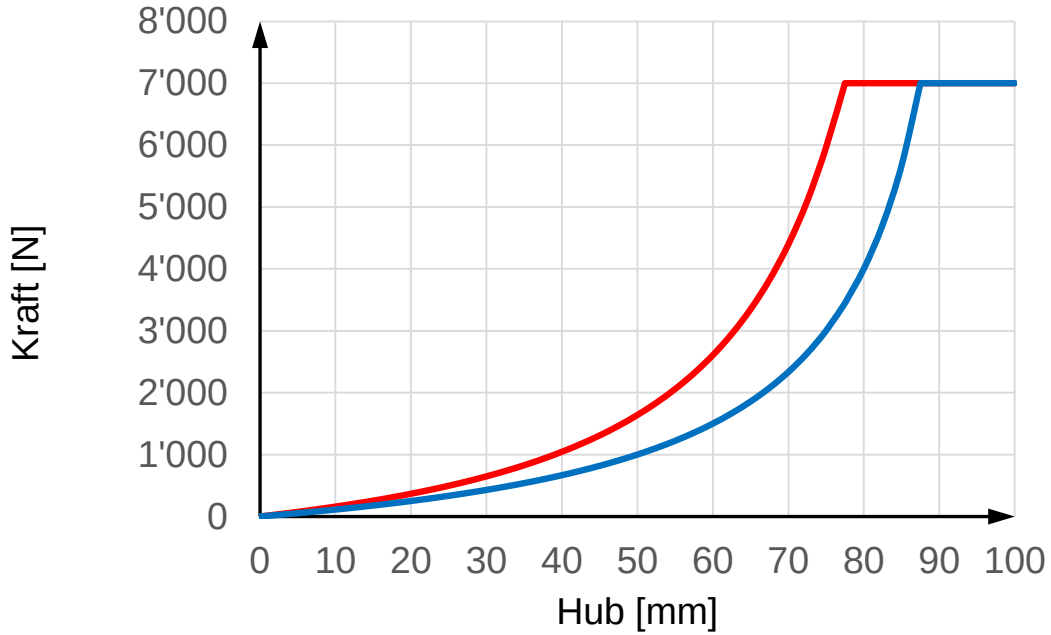
Vorteile von Druckluft

- Druckluft Aktoren sind günstig
- Bewährte Technik
- Explosionsschutz
- Kein Stromschlag möglich
- Einfache Speichermöglichkeit
- Hohe Leistungsdichte (kompakt)
- Keine Rückleitung erforderlich
- Druckluft kühlt Werkzeuge
- Einfach zu reparieren
- Kein Elektriker erforderlich
- Fehlertolerantes System

Nachteile von Druckluft

- Ineffizient und teuer (3 bis 10 Rp./m³)
- Laut (Kompressor und Anwendungen)
- Teilweise ölige Abluft

Verdichtung von 1 Liter Luft auf 7 bar

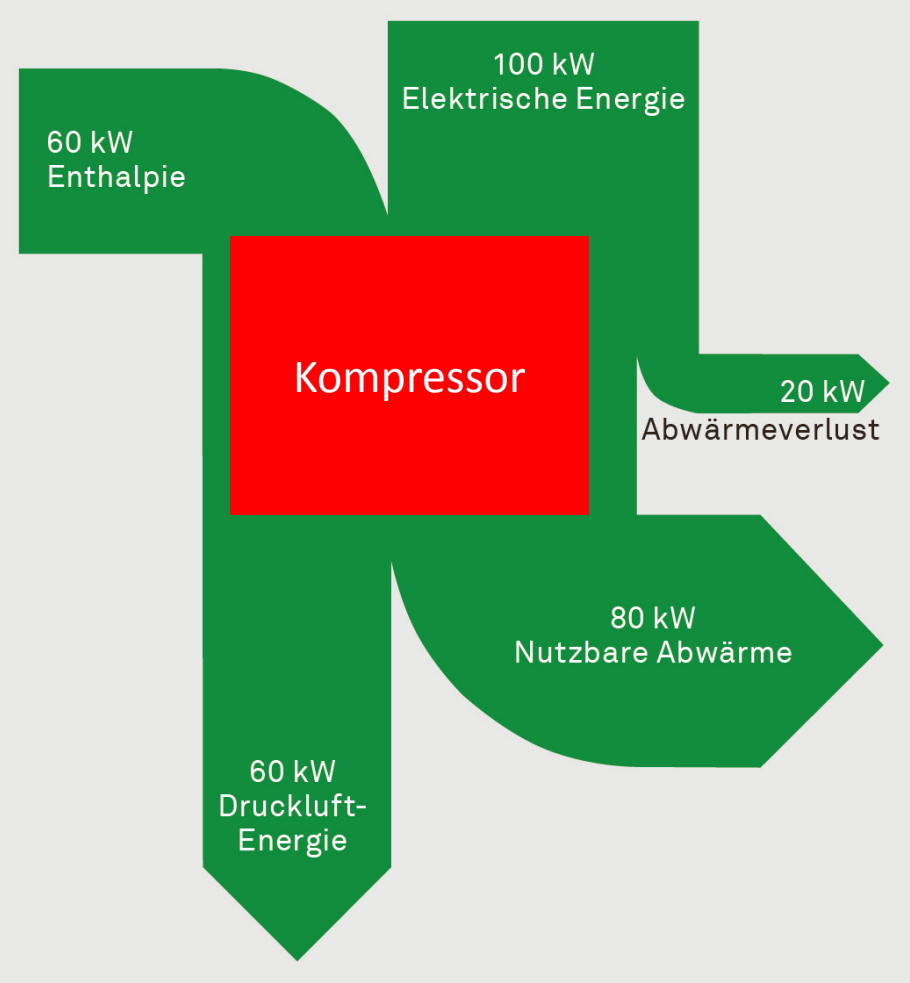


adiabat (20 °C auf 258 °C)
Energie 285 Joule/Liter

isotherm (konstant 20 °C)
Energie 209 Joule/Liter

Kolbenfläche 100 cm²

Energiebilanz der Verdichtung



Input 160 kW

- 100 kW elektrische Leistung
- 60 kW Enthalpie in Ansaugluft
  100 kPa, 0.289 m³/s, 20 °C

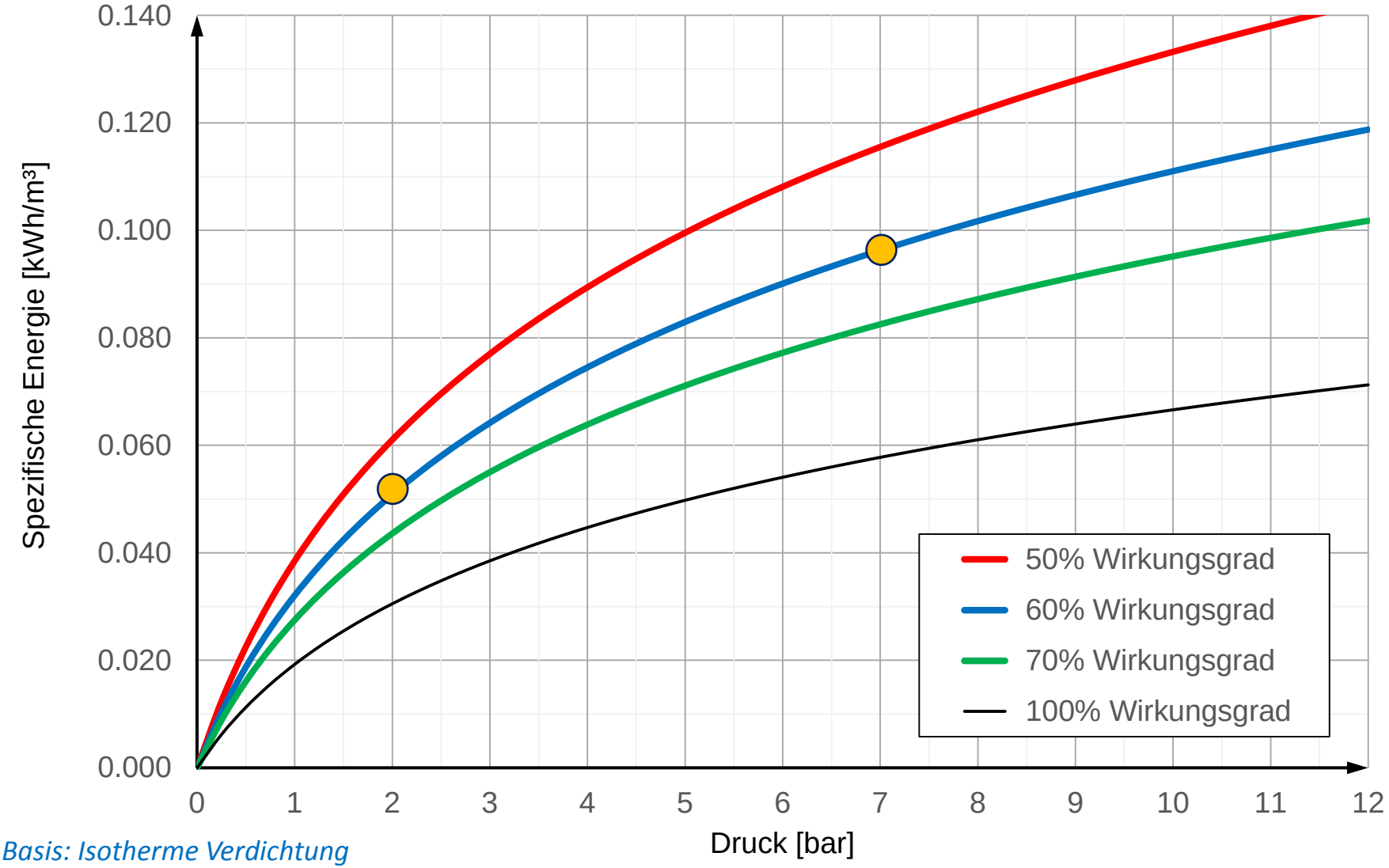
Kompressor 60% Wirkungsgrad

- Verdichtet Ansaugluft auf 7 bar
- Erwärmt die Luft von 20 °C auf 100 °C
- Kühlt die Luft von 100 °C auf 20 °C

Output 160 kW

- 20 kW Abwärme etwa 30 °C
- 80 kW nutzbare Abwärme auf 80 °C bei einem Rücklauf von 20 °C
- 60 kW Druckluftleistung
  800 kPa, 0.036 m³/s, 20 °C

Spezifische Energie (kWh für 1 m³ Luft)



Basis: Isotherme Verdichtung

Druckbereiche

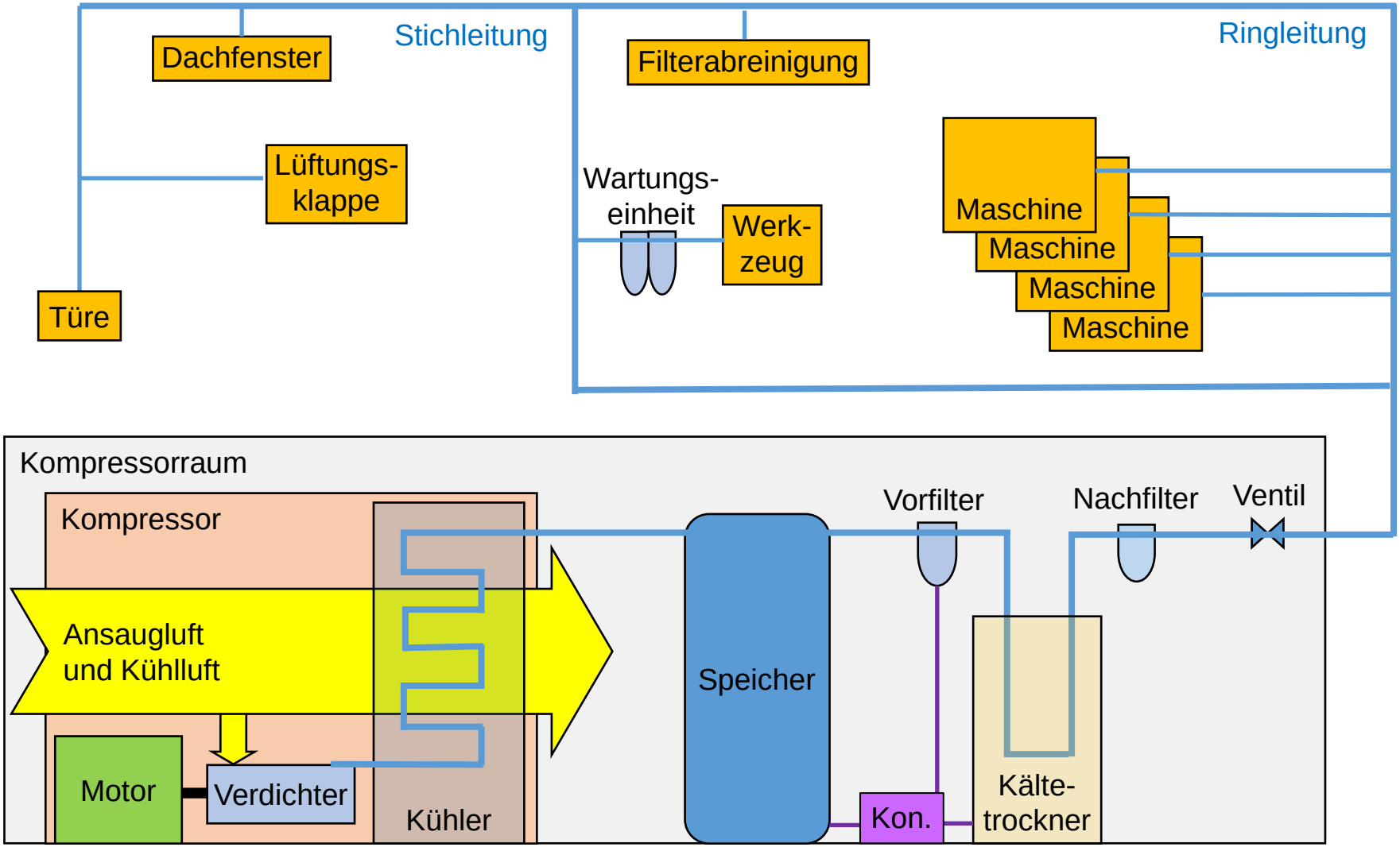
Druck absolut		Überdruck	Beschreibung
Pa	bar	bar	
0	0	-1.00	Perfektes Vakuum
15 000	0.15	-0.85	Druckluftejektor
75 000	0.75	-0.25	Staubsauger
89 120	0.890	0	Luftdruck auf 1000 m über Meer
100 000	1.000	0	Luftdruck auf 100 m über Meer (ISO 1217)
101 325	1.010	0	Luftdruck auf Meereshöhe
102 000	1.02	0.02	Starker Ventilator (Radialluftventilator)
150 000	1.50	0.50	Seitenkanalgebläse
300 000	3.00	2.00	Drehkolbengebläse (Roots-Gebläse)
500 000	5.0	4.0	Grenze zwischen Niederdruck und Normaldruck
730 000	7.3	6.3	Normdruck für Druckluftwerkzeuge (bei Vollast)
1 600 000	17.0	16.0	Üblicher zulässiger Maximaldruck
3 700 000	37	36	Herstellung PET-Flaschen
30 100 000	301	300	Atemluftflaschen, Tauchflaschen
200 100 000	2001	2000	Hochdruckanwendungen Verfahrungstechnik

Liefermenge

Angesaugte Luftmenge			Kompressor	Querschnitt
l/s	l/min	m³/h	kW	Ø mm
1	60	4	0.3	5
2	120	7	0.7	7
5	300	18	1.7	11
10	600	36	3.5	16
20	1 200	72	6.9	23
50	3 000	180	17	36
100	6 000	360	35	50
200	12 000	720	69	71
500	30 000	1 800	173	113
1 000	60 000	3 600	347	159

Druck 7 bar, Kompressor 60% isothermer Wirkungsgrad, Strömungsgeschwindigkeit 2 m/s

Druckluftsystem



Exergiefluss durch ein Druckluftsystem

Unterteilung der Druckluftanwendungen

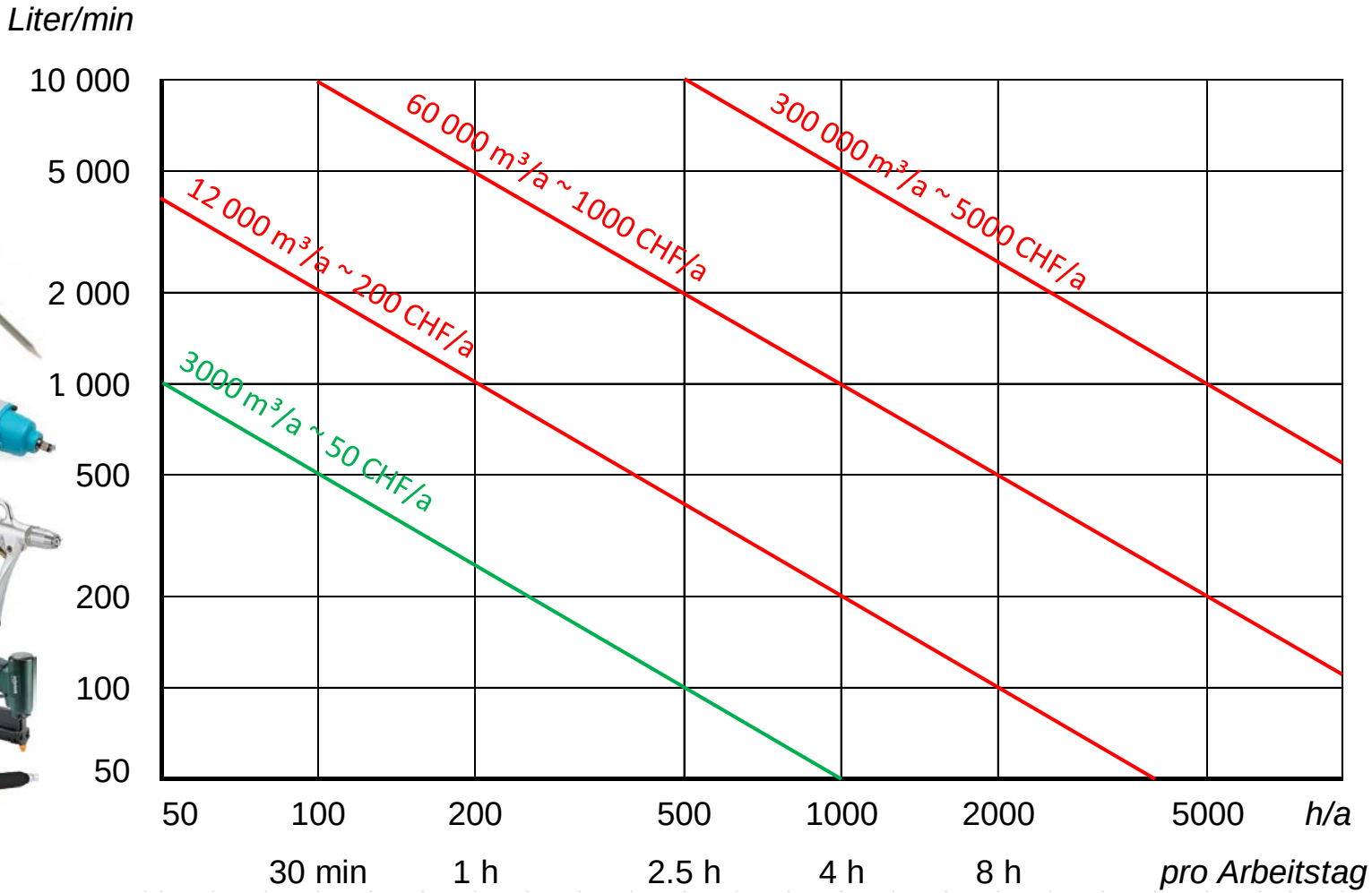
Einsatzgebiet

- Druckluftwerkzeug — Der Anwender wählt aus
- Maschinenkomponente — Der Maschinenhersteller wählt aus

Anwendung

- Druckluftantriebe — Zylinder, Motoren, Pumpen …
- Verfahrenstechnik — Reinigen, Fördern, Sandstrahlen …

Druckluftwerkzeuge



Druckluftzylinder

Rechenbeispiel:

Volumen **1 Liter**, Druck **4 bar**

Luftverbrauch: 10 Liter pro Zyklus

10 Zyklen/min => 100 l/min (700 W)

2000 h/a => **12'000 m³/a ~ 200 CHF/a**

Meistens nur wenig Bewegungen pro Tag aber oft undicht.

Optimierungsmöglichkeiten:

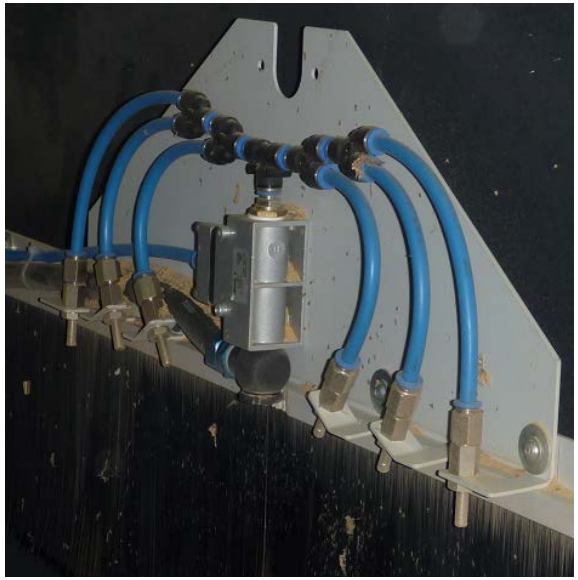
1. Dichtigkeit prüfen (auf / zu)
2. Druck / Zylinder anpassen
   (Kraft = Druck * Querschnitt)
3. Rückhub (Luft einsparen)
   - Schwerkraft, Feder
   - mit weniger Druck
4. Zuleitungsvolumen
   - Schlauchquerschnitt verkleinern
   - Schlauchlänge reduzieren
5. Ersatz durch Elektrozylinder
   - Spindelantrieb, Riemenantrieb
   - Linearantrieb für hohe Dynamik

Wirkungsgrad von Druckluftanwendungen

Anwendung	Druckluft	Hydraulik	Elektro
Hochtourige Spindel (ca. 20‘000 U/min)	5% - 30%		50% - 85%
Handwerkzeug (ca. 2000 U/min)	5% - 20%	10% - 30%	50% - 85%
Rührwerk (ca. 200 U/min)	5% - 20%	20% - 50%	50% - 85%
Hubzylinder	20% - 30%	40% - 60%	50% - 85%
Rüttler	10% - 20%	30% - 50%	50% - 85%
Membranpumpe / Kreiselpumpe	5% - 15%		40% - 70%
Blasen / Gebläse	5% - 15%		40% - 70%
Ejektor / Vakuumpumpe	5% - 15%		40% - 70%

Blasdüsen

	Luftverbrauch in Liter/Minute						
Düsenöffnung	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar
0.5 mm	8	10	12	15	18	22	28
1.0 mm	25	35	45	55	65	75	85
1.5 mm	60	75	95	110	130	150	170
2.0 mm	105	145	180	220	250	290	330
2.5 mm	175	225	280	325	380	430	480
3.0 mm	230	370	400	465	540	710	790



Optimierungsmöglichkeiten:

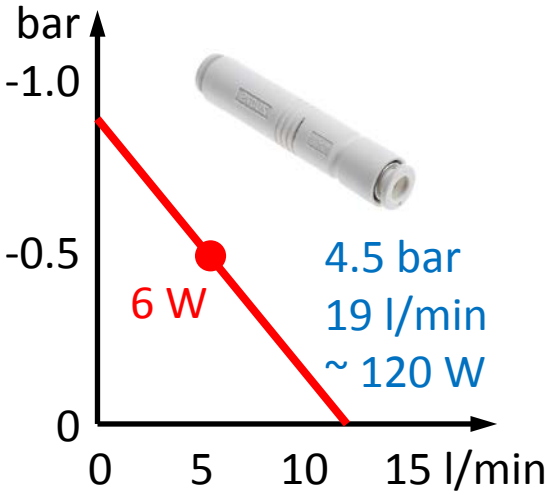
1. Optimierung Düsentyp, Düsengrösse, Druck, Blasrichtung, Abstand
2. Schaltventil nahe an Düse, Schaltzeit minimieren (oft reicht ein Impuls)
3. Ersatz durch Gebläse (Beispiel Autowaschanlage)

Spezielle Druckluftanwendungen

Filterabreinigung

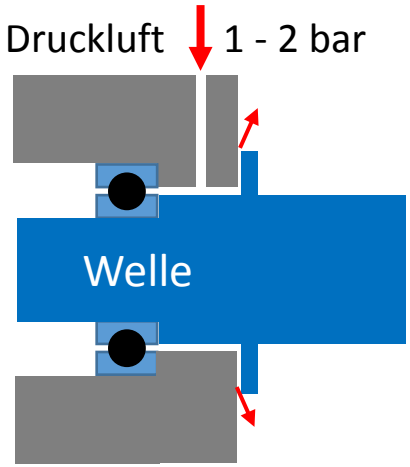
- Impulszeit verkürzen (0.1 s)
- Weniger Abreinigungszyklen
- Auslösung nach Druck-verlust über Filter (nicht nach Zeit) oder nach Betriebsende

Vakuumejektor



- Absperrbare Ventile für nichtporöse Werkstücke
- Mehrstufige Ejektoren
- Gebläse oder Vakuum-pumpen einsetzen

Sperrluft



- Geometrie und Druck optimieren
- Abschalten ausserhalb Betriebszeit
- An eigenes 2 bar Netz anschliessen

Zusammenfassung Druckluftanwendungen

1. **Stromverbrauch erfassen:** Betriebsstunden Last/Leerlauf, Lastgangmessung und Abschätzung Liefermenge, Betrieb Randzeiten => Leck Verteilnetz
2. **Druckluftanwendungen erfassen:** Vergleich Summe Luftverbrauch mit Liefermenge Kompressoren (Punkt 1), Differenz sind Lecks
3. **Druckniveau überprüfen:** 4 bar Eingangsdruck genügt meistens Optionen: Werkstattkompressor, lokale Speicher, grössere Leitungen und Armaturen, Maschinenumbau, Druckerhöhungsanlage, Niederdrucknetz
4. **Betriebszeit reduzieren:** Automatische Ein- und Abschaltung von Strängen, Anlagen und Anwendungen (Hauptschalter, Schaltuhr, Sensoren)
5. **Regelmässige Wartung:** Energiemessung, Lecksuche im Verteilnetz, an Armaturen, Schläuchen und vor allem an Ventilen und Anwendungen
6. **Substitution Druckluftanwendungen:** Staubsauger, Gebläse, Elektromotoren Elektrozylinder, besonders bei langer Betriebszeit oder Nachtbetrieb