

# Infoblatt Steuerung

Steuerungen in Kompressorstationen werden sowohl bei der Druckluftherzeugung als auch bei der Druckluftaufbereitung eingesetzt. Dieses Infoblatt behandelt die Steuerungen, die die Druckluftherzeugung dem Druckluftverbrauch anpassen (s. Abb. 1).

## Interne und übergeordnete Regelung (Steuerung)

Man unterscheidet innerhalb der Kompressorstation zwischen internen und übergeordneten Regelungen der Kompressoren. Interne Regelungen sind dafür verantwortlich, die jeweilige Kompressoreinheit an die geforderten Luftverbräuche anzupassen und dabei durch eine optimale Koordination der internen Steuerungsvorgänge, eine Überlastung der Kompressoreinheit zu verhindern. Da moderne Kompressorstationen im Normalfall aus mehreren Einzelkompressoren bestehen, ist die Aufgabe der übergeordneten Regelung, die Einzelanlagen optimal auszulasten und ihren Einsatz gemäss dem tatsächlichen Luftverbrauch zu koordinieren und zu überwachen.

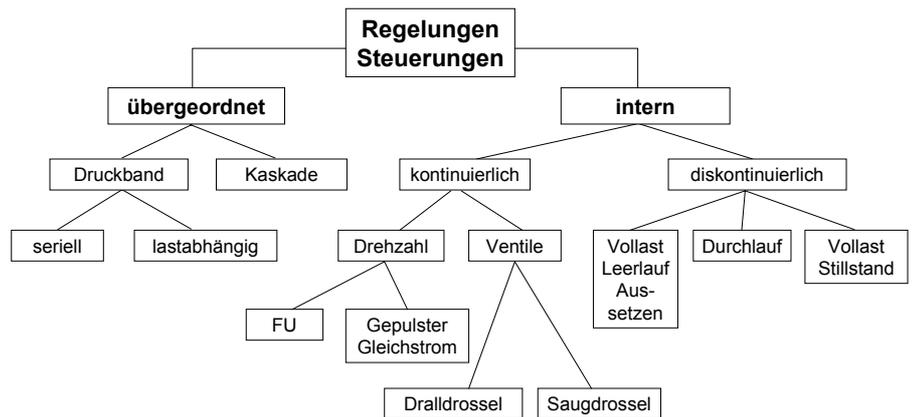


Abb. 1: Steuerung von Druckluftanlagen

## Regelungsarten intern

Bei den internen Regelungsarten unterscheidet man zwischen diskontinuierlichen und kontinuierlichen Regelungen.

### Diskontinuierliche Regelung

Die Vollast-Leerlauf-Aussetzregelung ist derzeit eine der am häufigsten vorkommenden Regelungen bei nicht drehzahlgeregelten Antrieben. Erreicht der Betriebsdruck die eingestellte untere Druckgrenze  $p_{\min}$ , so wird der Kompressor gestartet und fördert Druck-

luft. Bei Erreichen von  $p_{\max}$  wird der Kompressor nicht stillgesetzt, sondern geht in Leerlauf durch Druckentlastung. Wird während der Leerlaufzeit  $p_{\min}$  erreicht, so geht der Kompressor von dort wieder in Vollast. Bei einem geringen Luftverbrauch wird nach Ablauf einer Leerlaufzeit der Kompressor in Stillstand gesetzt (Abb. 2).

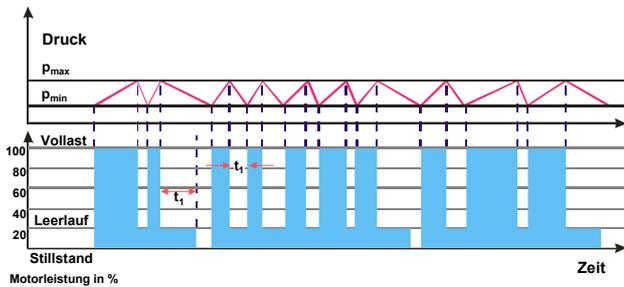


Abb. 2: Einsatzbereich Spitzenlastkompressor

Beachten:

- Schnelle Reaktion
- Hohe Schalthäufigkeit ohne Motorüberlastung
- Bei schlechter Auslastung Energieverbrauch Leerlauf.

Bei Leerlaufregelung mit optimierter Leerlaufzeit wird die Nachlaufzeit, in Abhängigkeit der Druckschwankungen über die Zeit und der Motorgröße, variiert und trägt damit besonders bei Grundlastmaschinen zu erheblichen Einsparungen im Bereich der Leerlaufkosten bei (Abb. 3).

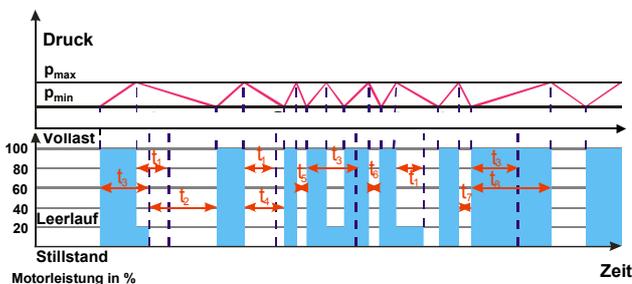


Abb. 3: Einsatzbereich Grundlastkompressor

Beachten:

- Niedrigstmöglicher Leerlaufanteil
- Gute Energieausnutzung
- Längere Reaktionszeit.

Diskontinuierlich geregelte Anlagen haben eine Gemeinsamkeit, sie werden über Druckgrenzen  $p_{\max}$  und  $p_{\min}$  geregelt.

### Messwertgeber

Liegen bei mechanischen Druckschaltern die erforderlichen Druckgrenzen mitunter bis zu einem bar auseinander, so sind heute mittels moderner Druckaufnehmer Druckdifferenzen auf 0,2 bar reduzierbar.

Beachten:

- Energieeinsparung durch kleines  $\Delta p$
- Hohe Wiederholgenauigkeit
- Grosse Druckkonstanz
- Keine universelle Austauschbarkeit.

### Kontinuierliche Regelung

#### Motordrehzahlregelung

Die gängigsten Möglichkeiten bei modernen Kompressoren Drehzahländerungen herbeizuführen, sind entweder die Drehzahländerung über Frequenzumrichtung oder über Gleichstrommodulation. In beiden Fällen werden die Anlagen bei einer Druckgrenze  $p_{\min}$  gestartet. Die Motoren fahren dann entlang einer Kennlinie auf eine Drehzahl, die durch das Verhältnis Ist-Druck zu Regeldruck gekennzeichnet wird.

Liegt der Luftverbrauch ausserhalb des Regelbereiches der Maschine, so wird je nach Folgesteuerung die Anlage in Stillstand oder Leerlauf geschaltet (Abb. 4).

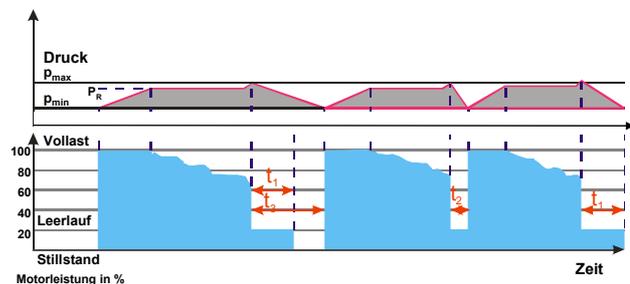


Abb. 4: Einsatzbereich Spitzenlastkompressor

Beachten:

- Gute Regelbarkeit
- Schnelle Reaktion
- Konstanter Druck +/- 0,1 bar
- Gute Energieausnutzung im Regelbereich zwischen 40 und 80 %
- Geringe Energieausnutzung bei Auslastung > 80 %, < 40 %
- Hohe Investitionskosten
- E-Netzurückwirkungen.

Für die Wirtschaftlichkeit der Regelungsart ist die Kennlinie des Reglers, des Motors und des Verdichters im Teillastbereich ausschlaggebend (Abb. 5).

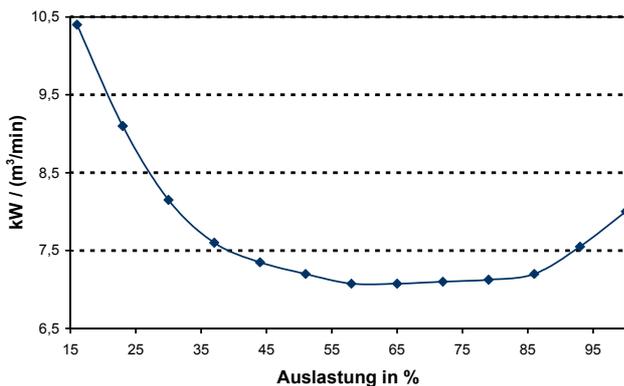


Abb. 5: Spezifisches Leistungsverhalten eines drehzahlgeregelten Kompressors

### Ansaugdrosselregelung

Maschinen mit Ansaugdrosselregelung sind normalerweise Kompressoren, die eine Vollast-Leerlauf-Aussetzregelung haben und mit einem zusätzlichen Regler versehen sind. Dieser wird auf einen Regeldruck eingestellt. Wird dieser Regeldruck erreicht, wird je nach Abweichung des Regeldrucks im Plus-Minus-Bereich das Einlassventil des Kompressors geschlossen oder geöffnet. Bei Verdrängerverdichtern handelt es sich hierbei lediglich um eine Reduzierung des Volumenstroms, die nur geringfügigen Einfluss auf das Leistungsverhalten des Kompressors hat (Abb. 6).

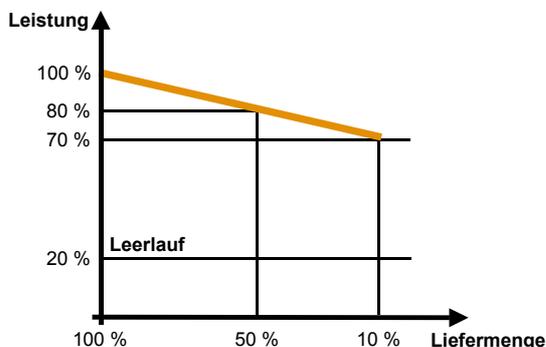


Abb. 6: Regelung des Volumenstroms durch Ansaugdrosselung

Beachten:

- Geringe Kosten
- Grosser Regelbereich 100 % bis 10 %
- Extrem schlechte Energieausnutzung.

### Abblaseregulung

Als Abblaseregulung werden Regelungen bezeichnet, bei denen der Kompressor verdichtete Luft in die Atmosphäre abbläst und damit die Förderleistung an den tatsächlichen Luftverbrauch angleicht.

Eingesetzt wird diese Regelungsart im Bereich von Niederdrucksystemen (z. B. Gebläsen) oder auch bei dynamischen Verdichtern.

Bei dynamischen Verdichtern wird mit dieser Regelung auch das Leistungsverhalten beeinflusst, jedoch geht dies nur in einem relativ kleinen Regelbereich (Abb. 7).

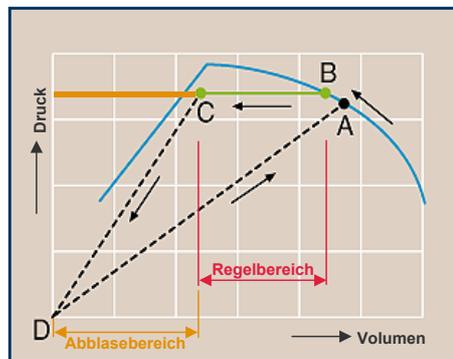


Abb. 7: Abblaseregulung

Beachten:

- Lineares Leistungsverhalten im Regelbereich
- Regelbereich normalerweise ca. 20-30 % ohne Abblaseregulung (hoher Energieverlust).

### Übergeordnete Regelung

Bei übergeordneten Regelungssystemen unterscheidet man zwischen Kaskaden- und Druckbandregelung.

#### Kaskadenregelung

Die bekannteste Art der Koordination ist die sogenannte Druckkaskade; hierbei ist jedem Kompressor ein bestimmter Schaltbereich durch die übergeordnete Regelung zugewiesen (Abb. 8).

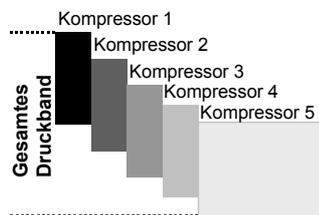


Abb. 8: Kaskadenregelung

Beachten:

- Druckband, dadurch vermeidbarer Energieverbrauch (je bar ca. 6-10 % Energie-Mehrverbrauch)
- Keine Rücksicht auf den aktuellen Luftverbrauch
- Nur bis maximal 4 Kompressoren zu empfehlen.

Bei gleich grossen Kompressoren werden, je nach Laufzeiten der Kompressoren oder über eine Zeitschaltung, die Kompressoren in Grund-, Mittel- und Spitzenlast vertauscht, um eine gleichmässige Auslastung zu erreichen. Mitunter werden bei der Verschaltung von 4 Kompressoren in einer Druckkaskade bei Einsatz von Membrandruckschaltern oder Kontaktmanometern Druckspreizungen von bis zu 2 bar benötigt, um die Anlagen ordnungsgemäss zu schalten. Der Einsatz moderner Drucksensoren ermöglicht die Verringerung der Druckspreizung bei 4 Kompressoren auf 0,7 bar.

### Druckbandregelung

Moderne übergeordnete Steuerungssysteme nutzen die Möglichkeit, beliebig viele Anlagen über ein Druckband zu steuern; die kleinste Steuerungsdifferenz ist 0,2 bar (Abb. 9). Der Vorteil dieser Steuerungsart ist eine Reduzierung des max. Druckes in der Druckluftstation, somit Verringerung der primären Energiekosten und der Verluste in der Druckluftstation.

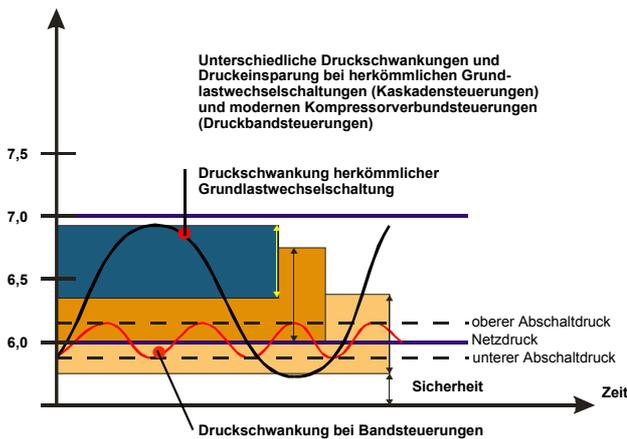


Abb. 9: Druckbandregelung

### Erweiterungsmöglichkeiten mit übergeordneten Regelungen

Erweiterte Druckbandregelungen können auch verschiedene Kompressorengrössen lastabhängig auswählen und bei entsprechendem Druckluftbedarf miteinander koordinieren. Die richtige Auswahl der Kompressorengrössen verhindert, dass sogenannte Regellöcher entstehen (Abb. 10). Regellöcher können entstehen bei falscher Abstufung der Kompressoren und einer Diskrepanz zwischen geförderter Luftmenge und Druckluftbedarf.

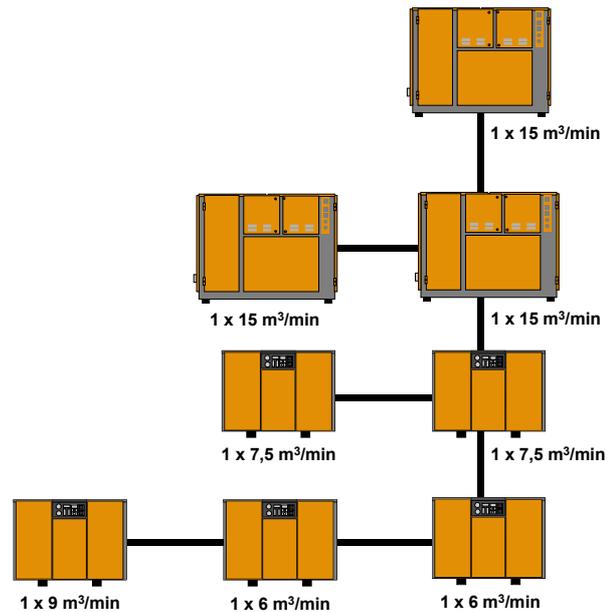


Abb. 10: Möglichkeiten der Aufteilung der Druckluftherzeugung

Zur Verbesserung der Überwachung und zur Darstellung der Prozesse innerhalb einer Druckluftstation können diese übergeordneten Regelungen nicht nur die Daten der Kompressoren, sondern auch Daten der jeweiligen Aufbereitungs- und Verteilungssysteme in einer Druckluftstation erfassen und diese dann über eine entsprechende Leittechniksoftware an eine zentrale Leitstelle weitergeben (Abb. 11).

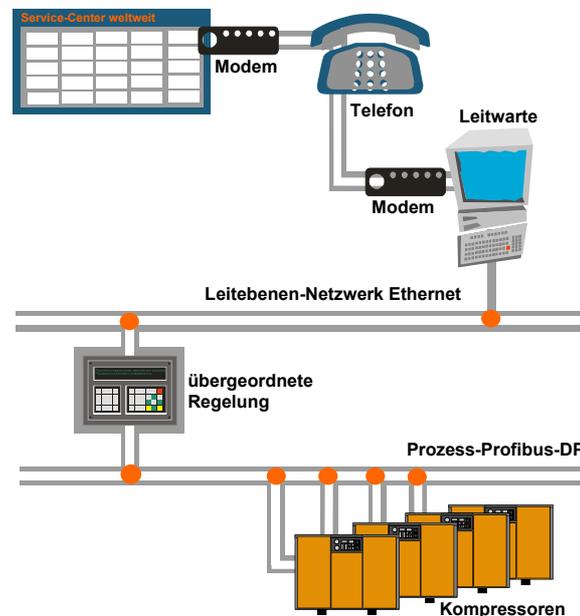


Abb. 11: Einsatz von Leittechnik zur Kompressorensteuerung

### Einsparpotenzial

Übergeordnete Steuerungen können durch Druckabsenkung und bessere Koordination gemäss EU-Studie ein energetisches Einsparpotenzial von durchschnittlich 12 % erreichen. Optimierte interne Steuerungen können durch Reduzierung der internen Steuerungsverluste ein energetisches Einsparpotenzial von durchschnittlich 15 % erreichen.

### Speicherung von Druckluft

Die Energie der Druckluft ist gespeichert in den Rohrleitungen und Behältersystemen. Druckluftverbraucher arbeiten häufig extrem diskontinuierlich. Die Förderung von Druckluft mittels Kompressoren muss dabei mit dem diskontinuierlichen Luftverbrauch in Einklang gebracht werden. Speicherbehälter stellen hierbei das Rückrat der Wirtschaftlichkeit einer Druckluftstation dar. Sie sollten eher grösser als zu klein ausgewählt werden. Der Einfluss der Speicherbehälter auf die Wirtschaftlichkeit einer Druckluftstation ist dabei abhängig, wie gross der Druckverlust zwischen Messpunkt der Steuerung und dem Ort der Druckluftspeicherung ist. Im Normalfall sollte er nicht grösser als 0,1 bar sein. Bei Pufferbehältern unterscheidet man heute zwischen dezentralen Puffern und zentralen Puffern in einem Druckluftsystem.

#### Zentraler Puffer

Der zentrale Pufferbehälter in einer Druckluftstation dient in erster Linie dazu die Schalthäufigkeit von Kompressoren zu minimieren. Darüber hinaus verhindert er zu grosse Druckschwankungen im Druckluftsystem. Er sollte entsprechend den Berechnungsformeln ausgewählt werden, wobei eine Grösserdimensionierung als der Minimalwert, der in den Formeln berechnet wird, der Wirtschaftlichkeit der Druckluftstation zu gute kommt (Abb. 12).

$$V_B = \frac{\dot{V}_1 \cdot (x - x^2)}{z \cdot \Delta p}$$

| Kompressorleistung | Gängige z-Werte/h bei Motorschaltung: |
|--------------------|---------------------------------------|
| 7,5 kW             | 30                                    |
| 30 kW              | 15                                    |
| 110 kW             | 8                                     |
| 250 kW             | 4                                     |

- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [m<sup>3</sup>]
- $\dot{V}_1$  = Liefermenge des schaltenden Kompressors [m<sup>3</sup>/h]
- $\dot{V}_2$  = Spitzenverbrauch minus Durchschnittsverbrauch [m<sup>3</sup>/h]
- $x$  =  $\dot{V}_2 : \dot{V}_1$  = Auslastungsfaktor [m<sup>3</sup>/h]
- $z$  = zulässiges Schaltspiel [1/h]
- $\Delta p$  = Druckdifferenz EIN/AUS [bar]

$z \approx 45$  für Schraubenkompressoren (Vollast; Leerlauf)  
Ein "Daumenwert":  $(x - x^2) \approx 0,25$

Abb. 12: Dimensionierung zentraler Druckluftspeicher

#### Dezentraler Puffer

Der dezentrale Puffer dient häufig dazu, Druckluftverbraucher, die schlagartig grosse und kurzzeitige Verbräuche haben, mit Druckluft zu versorgen und dabei einen Druckeinbruch im restlichen Druckluftnetz zu verhindern. Er muss entsprechend der Laufzeit dem Luftverbrauch und den erlaubten Druckschwankungen des dezentralen Verbrauchers ausgewählt werden (Abb. 13).

$$V_B = \frac{\dot{V} \cdot t}{\Delta p}$$

#### Einsatz als:

- Puffer bei kurzer aber heftiger Druckluftentnahme
- als "Notstromaggregat"

- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [m<sup>3</sup>]
- $\dot{V}$  = Luftverbrauch [m<sup>3</sup>/min]
- $t$  = Zeit des Luftverbrauchs [min]
- $\Delta p$  = Erlaubter Druckabfall [bar]

**Zu beachten:** Ersetzt nicht über längere Zeit den Kompressor

Abb. 13: Dimensionierung dezentraler Druckluftspeicher

Die Kampagne effiziente Druckluft Schweiz motiviert und unterstützt Betreiber von Druckluftanlagen in der Schweiz bei der Umsetzung von Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Druckluftversorgung. Die Kampagne wird vom Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung geleitet und von Bundesamt für Energie (BfE) und dem Stromsparfonds des Elektrizitätswerks Zürich (ewz) unterstützt. Sie ist eingebunden in das Programm EnergieSchweiz. Mitträger sind die folgenden Unternehmen aus der Druckluftbranche: Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Pematic, Servatechnik, Vektor.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)

Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) mit Unterstützung des Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) und Industrieunternehmen durchgeführt (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Juni 2006



**energie schweiz**

effiziente Druckluft – eine Kampagne von EnergieSchweiz  
[www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)