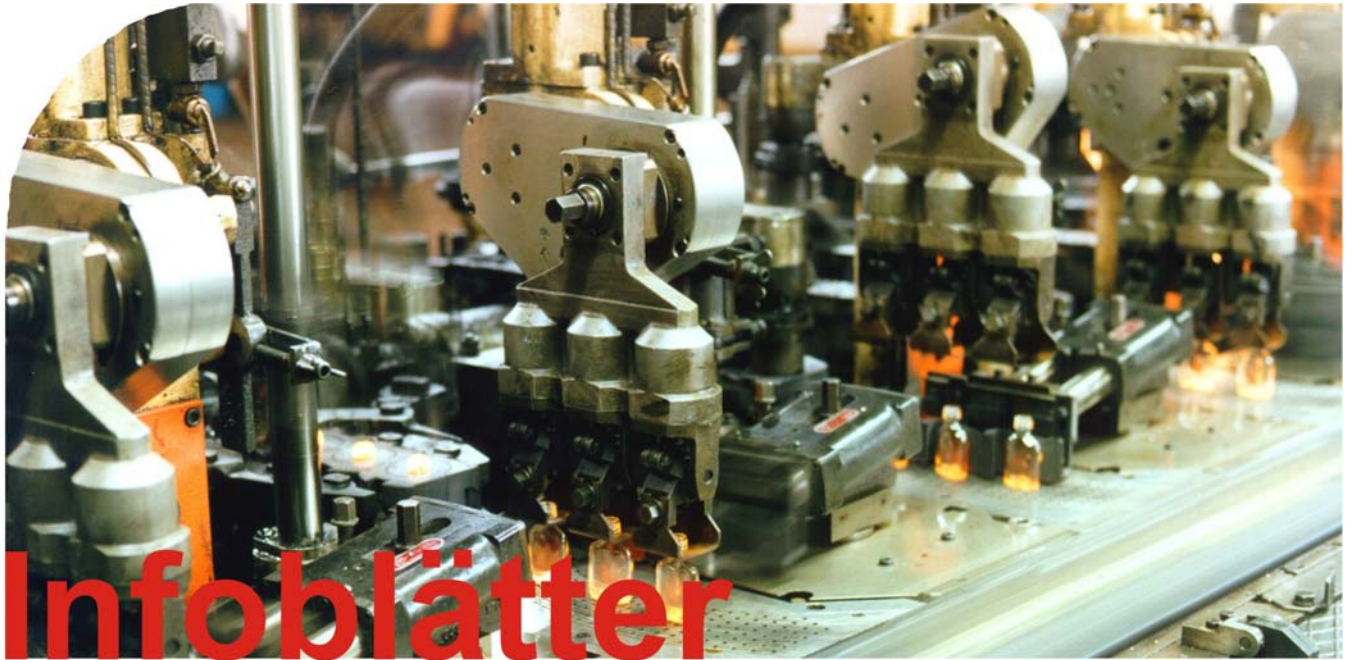
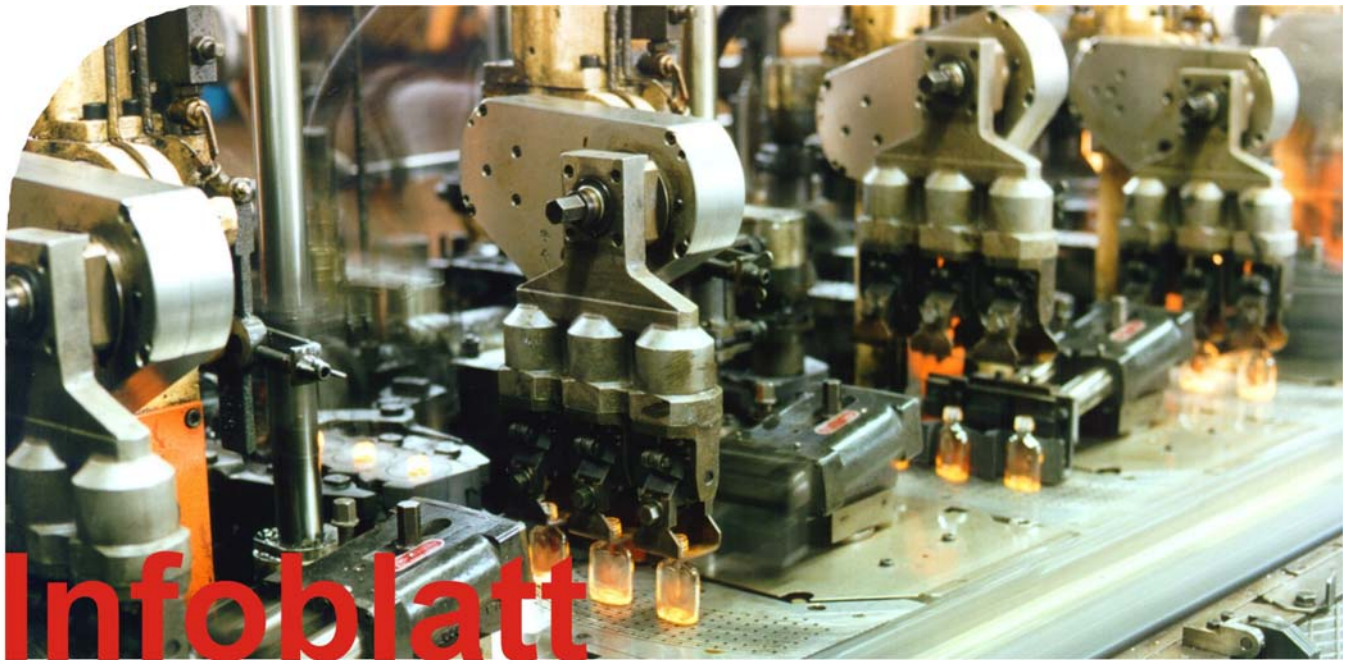




# Druckluft

- I Druckluftanwendung
- II Thermodynamik
- III Druckluft-Messtechnik
- IV Drucklufterzeugung
- V Steuerung
- VI Druckluftaufbereitung
- VII Druckluftverteilung
- VIII Gesamtsystemoptimierung
- IX Druckluftwerkzeuge
- X Druckluftleckagen





# Druckluftanwendung

## Eigenschaften der Druckluft

Druckluft ist eine Energieform, die ein konkurrenzlos breites Anwendungsspektrum bietet und dabei Geschwindigkeit, Kraft, Präzision und gefahrloses Handling miteinander verbindet. Diese Eigenschaften machen Druckluft in vielen Einsatzfällen unersetzbar. Interessant sind jedoch die Anwendungsfälle, bei denen Druckluft in Konkurrenz zu anderen Energieformen wie elektrischem Strom oder der Hydraulik steht. Hier gebietet die Wirtschaftlichkeit eine präzise Kosten-Nutzen-Analyse. Die verhältnismässig hohen Kosten zur Erzeugung von Druckluft sind immer mit Faktoren wie Arbeitsgeschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Wartungsaufwand etc. aufzurechnen. Dabei ist zu beachten, dass der Stand der Technik zugrunde gelegt wird. Druckluftanwendungen haben sich in den letzten Jahren hinsichtlich der Energieeffizienz enorm weiterentwickelt.

Besonders deutlich wird die Vielseitigkeit der Druckluft, wenn man sich exemplarische Anwendungen vor Augen führt.

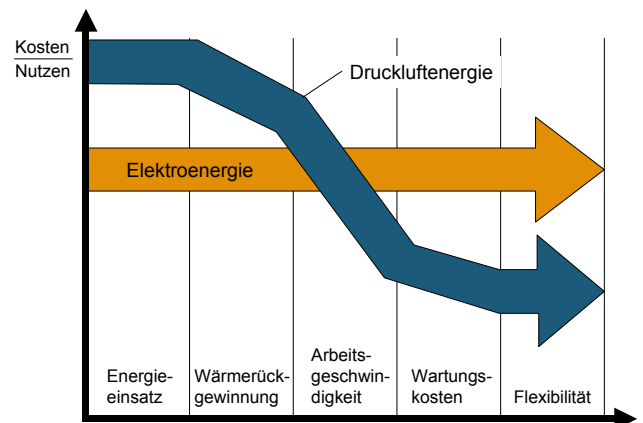


Abb. 1: Qualitativer Kosten-Nutzen Vergleich unter Berücksichtigung relevanter Parameter

## Arbeits- bzw. Energieluft

Seit Jahren weist die Pneumatik als wichtiges Anwendungsfeld für Druckluft zweistellige Wachstumsraten auf. Immer mehr neue Patente, deren Gegenstand Druckluftzylinder, -motoren und -ventile sind, werden angemeldet. Schnelligkeit, Präzision, Flexibilität und Miniaturisierung dieser Komponenten spielen dabei eine wichtige Rolle.



Abb. 2: Automatisierung mit Druckluft

Ohne Druckluft wäre ein Automatisierungsgrad, wie er heute für die Konkurrenzfähigkeit schweizerischer Unternehmen essenziell ist, nicht möglich.



Abb. 3: Druckluftbetriebene Roboter

Eine Vielzahl von Produkten, die sich aus dem heutigen Leben gar nicht mehr wegdenken lassen, könnten ohne Druckluft so nicht produziert werden.



Abb. 4: PET-Flaschen

Eine weitere ganz besondere Eigenschaft von Druckluftgeräten ist die Einsatzmöglichkeit in Exschutzbereichen.

So sorgen beispielsweise Druckluft-Hebezeuge in Lackieranlagen dafür, dass keine Funken fliegen.



Abb. 5: Exschutz-Hebezeug

Druckluft ausschliesslich mit altmodischen Anwendungen gleichzusetzen, entspricht nicht dem Stand der Technik. So ist z. B. das Reinigen von Werkbänken durch Abblasen mit Druckluft nicht mehr zeitgemäss. In vielen Fällen würde es auch der Handfeger tun. Wenn Druckluft dennoch auch hierfür eingesetzt werden soll, so empfiehlt sich der Einsatz optimierter Düsen, die bei minimalem Luftverbrauch eine maximale Reinigungswirkung erzielen.



Abb. 6: Luftdüsen-Webstuhl

### Aktivluft

Von Aktivluft ist die Rede, wenn Druckluft als Transportmedium genutzt wird. Aktuelle Anwendungsbeispiele sind der Schüttguttransport, das Hin- und Herschiessen von Schiffchen bei Webmaschinen, Einsätze bei der Luftlagerung oder die jüngst wieder entdeckte Rohrpost.

Am Beispiel der Luftlagerung lassen sich sehr schön einige Vorteile der Druckluft aufzeigen. Laserkanonen zum Anvisieren von Geosatelliten z. B. müssen exakt ausgerichtet und automatisch nachgeführt werden. Um die nötige Präzision von  $\pm 1/3600$  Grad zu erreichen, ist das optische System luftgelagert. Die Luftlager lassen völlig ruckfreie und stufenlose Teleskopbewegungen zu, sorgen für hohe Messgenauigkeit und schützen vor Vibrationen. Ohne Druckluft wären solche modernen Verfahren zur Erdvermessung kaum realisierbar.

### Prozessluft

Ist die Druckluft direkt als Prozessmedium in bestimmte Verfahren eingebunden, spricht man von Prozessluft. Gängige Anwendungsbereiche sind Trocknungsprozesse, die Belüftung von Klärbecken oder Gärluft für Fermentationsprozesse.



Abb. 7: Fermentieren und Abfüllen

### Industrielles Vakuum

Eng verwandt mit der Druckluft ist die industrielle Vakuumtechnik. Verschiedene Anwendungsfälle können mit Druckluft oder Vakuum abgedeckt werden. Mit industriellem Vakuum kann man verpacken, trocknen, spannen, saugen, anheben, positionieren u.v.m. Immer mehr Branchen erkennen die Vorzüge von Vakuumanwendungen.

Beispielhaft sei die Elektronik-Industrie genannt, wo es in der Produktion auf absolute Präzision bei grösstem Output ankommt. Im Sinne einer „clean production“ sorgen äusserst präzise, sehr kleine Vakuumpumpen unter Reinstraumbedingungen für das exakte Handling von Platinen und ihre Bestückung mit Mikrochips. Die gleichmässige, geregelte Saugluft „greift“ den Chip und platziert ihn genau an der richtigen Stelle auf der Leiterplatte.



Abb. 8: Platinenproduktion

### Druckbereiche

Unterschiedliche Anwendungen benötigen unterschiedliche Drücke. In den seltensten Fällen ist es wirtschaftlich vertretbar, auf den höchsten benötigten Druck zu verdichten und anschliessend den Druck wieder zu reduzieren. Deshalb ist es nötig, die Druckbereiche zu kategorisieren und entsprechend geeignete Erzeugungssysteme einzusetzen.

#### • Vakuum- und Gebläseanwendungen

Dieser Bereich reicht vom Grobvakuum bis in den Überdruckbereich von etwa 1 bar. Mit Drehschieber-Vakuumpumpen, Wälzkolben- und Seitenkanalgebläsen können diese Druckniveaus sehr wirtschaftlich erzeugt werden.

Im Bereich des industriellen Vakuums besteht zwar die Möglichkeit, dieses mittels Druckluft zu erzeugen, was aber in fast allen Fällen als Missbrauch von Druckluft angesehen werden kann. Spezielle Vakuumpumpen arbeiten mit einem Bruchteil an Energieeinsatz.

- **Niederdruck-Anwendungen**

In Bereichen von 2 bis 2,5 bar Überdruck spricht man von Niederdruckanwendungen. Meistens werden hier rotierende Verdrängerkompressoren zur Erzeugung eingesetzt, für extrem grosse Mengen auch Turbokompressoren.

Speziell bei den Niederdruck-Anwendungen, die mit weit geringeren Überdrücken als den klassischen 6 bar auskommen, ist häufig zu beobachten, dass diese Geräte am 7-bar-Netz hängen. Am „Point of use“ wird der Druck dann einfach entsprechend reduziert. In solchen Fällen sollte dringend überprüft werden, ob die Einrichtung einer separaten Niederdruckversorgung die Wirtschaftlichkeit nicht erhöhen könnte.

- **Standarddruck-Anwendungen**

Für Standarddruck-Anwendungen, die über ein 7-bar-Netz gespeist werden, steht eine breite Palette an Kompressoren zur Verfügung. Anforderungen an Luftmenge und -qualität bestimmen hier, welche Kompressoren in welcher Kombination am wirtschaftlichsten arbeiten.

- **Hochdruck-Anwendungen**

Wenn es in den zwei- und dreistelligen bar-Bereich geht, kommen oszillierende Verdrängerkompressoren wie Kolben- oder Membrankompressoren zum Einsatz. Bei grossen Luftmengen können sich auch Radial-Turbokompressoren rechnen.

Nicht selten ist der Fall, dass wenige Hochdruck-Verbraucher sehr wirtschaftlich über das Standard-Netz mit nachgeschalteten dezentralen Boostern versorgt werden können.

## **Korrektur Druck**

Jeder Druckluft-Verbraucher benötigt einen bestimmten Betriebsdruck, um die optimale Leistung abgeben zu können. Bei Werkzeugen, die z. B. nur mit 5 statt der benötigten 6 bar angetrieben werden, geht die Lastdrehzahl bereits um 25 % zurück, obwohl die Leerlaufdrehzahl nur um 5 % abnimmt. Deshalb ist es unabdingbar, regelmässig zu kontrollieren, ob der benötigte Betriebsdruck auch zur Verfügung steht, und zwar bei voller Auslastung. Druckverluste durch nicht ausreichende Leitungsschnitte oder Flaschenhälse können nur bemerkt werden, wenn die Druckluft auch fliesst. Überhöhte Betriebsdrücke bringen keinen Leistungsgewinn. Sie erhöhen nur den Druckluft-Verbrauch und den Verschleiss an den Geräten.

## **Druckluftqualität**

Ähnlich stellt es sich bei unzureichend aufbereiteter Druckluft dar. Partikel, Feuchtigkeit und Öl setzen den Druckluftgeräten zu und erhöhen ihre Störanfälligkeit. Erhöhter Verschleiss und Leistungseinbussen sind noch vergleichbar geringe Probleme gegenüber dem Totalausfall, der ganze Produktionsausfälle nach sich ziehen kann. Aber auch wenn die Druckluft-Geräte noch störungsfrei arbeiten, kann unzureichend konditionierte Druckluft Verunreinigungen in Prozesse eintragen, die zum Verlust ganzer Produktionschargen führen können.

## **Fazit**

Wer seine Druckluft-Anwendungen mit Bedacht aus sucht, die Druckluft-Anlage darauf abstimmt und im Betrieb konsequent die für die Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit relevanten Parameter überwacht, hat sich mit Sicherheit für einen modernen und effizienten Energieträger entschieden.

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 Stromsparerfonds 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.

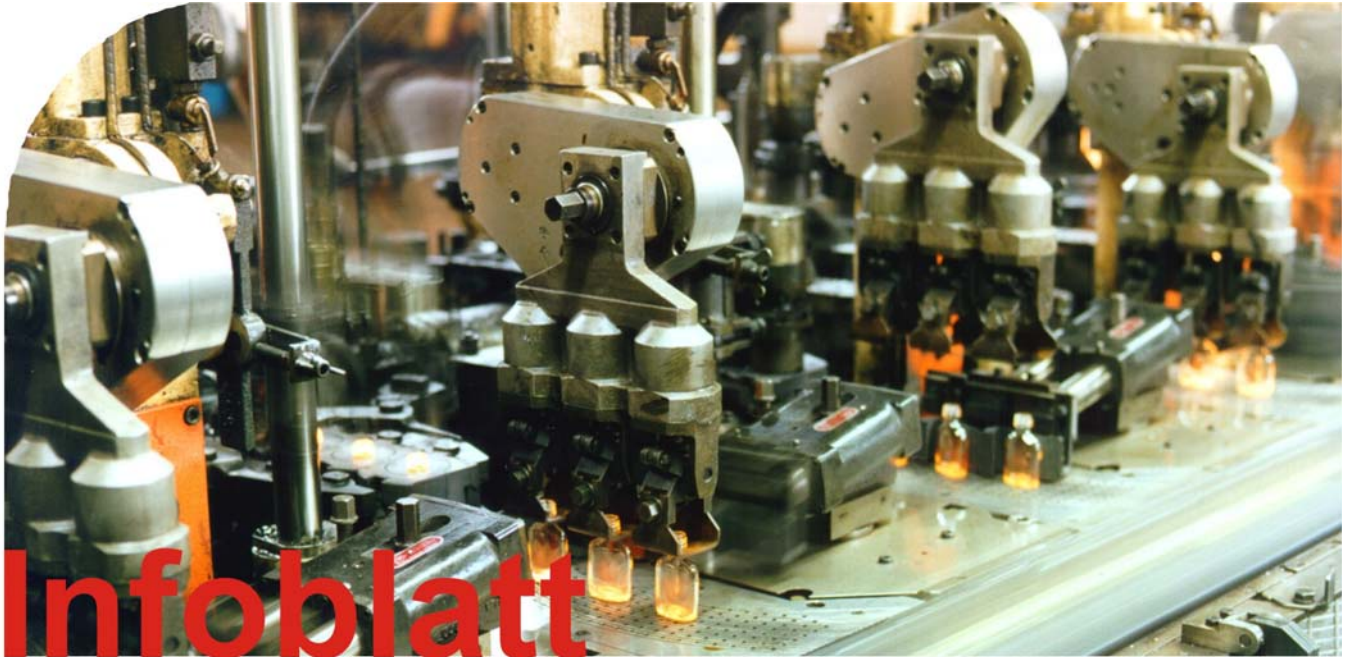
Weitere Informationen finden Sie unter [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)

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



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



# Infoblatt Thermodynamik

Druckluft wird in der Industrie als Energieträger wie Strom aus der Steckdose verwendet. Dabei wird häufig übersehen, welcher Aufwand für die Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung von Druckluft erforderlich ist. Zum besseren Verständnis werden hier die grundlegenden physikalischen Zusammenhänge zu erläutert und auf typische Missverständnisse hingewiesen.

## Zusammensetzung

Unter Druckluft versteht man verdichtete atmosphärische Luft. Die **wesentlichen Bestandteile unbelasteter Luft sind Stickstoff (78 vol-%) und Sauerstoff (21 vol-%)** sowie geringe Mengen weiterer Gase (1 vol-%) (Abb. 1).

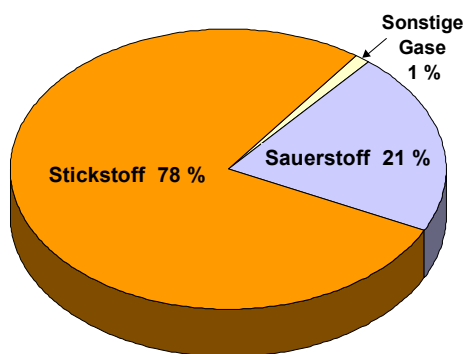


Abb. 1: Zusammensetzung trockener atmosphärischer Luft

In der atmosphärischen Luft zusätzlich enthalten ist Wasser in Form von Wasserdampf, dessen Menge jedoch stark in Abhängigkeit von Temperatur, Volumen und geographischen Bedingungen schwankt. Aus diesem Grunde wird der Wasseranteil der Luft meist getrennt von den übrigen Bestandteilen der Luft angegeben.

## Druck

Wesentlicher Parameter der Druckluft ist der Druck, der typischerweise in den Einheiten bar und Pa ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$ ) angegeben wird.

Der **absolute Druck** ( $p_a$ ) ist der vom absoluten Nullpunkt aus gemessene Druck. Er wird für alle theoretischen Betrachtungen sowie in der Vakuum- und in der Gebläsetechnik benötigt.

Der **Überdruck** ( $p_{\bar{u}}$ ,  $p_e$ ) ist die praxisgerechte Bezugsgrösse und wird vom atmosphärischen Druck aus bestimmt. Absoluter Druck und Überdruck werden in der gleichen Einheit angegeben. Deshalb ist bei Druckangaben stets darauf zu achten, ob es sich um Absolutdrücke oder Überdrücke handelt. In der Praxis spricht man meist von Überdrücken, da Druckmessgeräte meist den Überdruck, also die Differenz zwischen absolutem und atmosphärischem Druck anzeigen (vgl. Abb. 2). Zur Vermeidung von Verwechslungen kann es sinnvoll sein, bei Druckangaben den Bezug durch einen Index anzugeben.

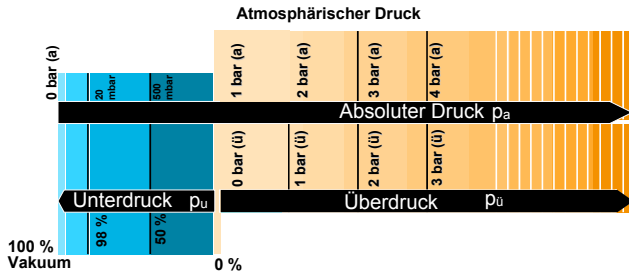


Abb. 2: Überdruck, absoluter Druck und Unterdruck

## Wassergehalt

Die maximale Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf wird durch den Sättigungsdampfdruck  $p_s$  beschrieben. Wie viel Wasser in der Luft aufgenommen werden kann, ist allein eine Funktion der Temperatur. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Aufnahmefähigkeit deutlich zu (Abb. 3).

Bei Abkühlung von Luft besteht deshalb stets die Gefahr, dass der enthaltene Wasserdampf auskondensiert und Kondensat entsteht.

Kondensat kann auch ausfallen, wenn durch die Verdichtung der Sättigungsdampfdruck überschritten wird. Wird atmosphärische feuchte Luft bei konstanter Temperatur verdichtet, so steigt auch der Partialdruck des Wasserdampfes entsprechend dem Anstieg des Gesamtdruckes an. Wird der Sättigungspartialdruck bei dieser Temperatur durch die Verdichtung überschritten, fällt Kondensat aus. Da die Luft den Kompressor mit deutlich erhöhter Temperatur verlässt, fällt das Kondensat erst bei der Rückkühlung der verdichteten Luft aus, wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird. Nach dem Unterschreiten fällt Kondensat kontinuierlich an, also auch im Nachkühler. Dort entstehen ca. 60-80 % der Kondensatmenge. Eine weitere gezielte Abscheidung

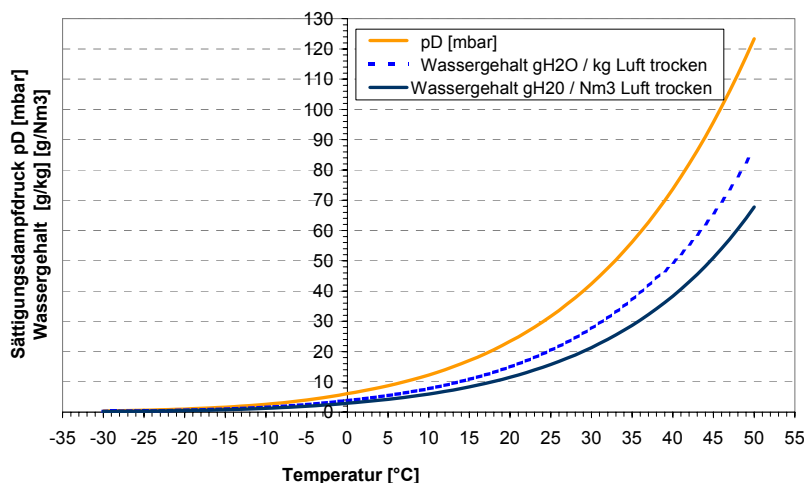


Abb. 3: Sättigungsdruck und Wassergehalt der Luft

und Trocknung der Druckluft erfolgt anschliessend im Drucklufttrockner oder ungewollt in der Druckluftleitung.

Wird Luft mit einer relativen Feuchte von 60 % und einer Temperatur von 15 °C auf einen Druck von 7 bar verdichtet und anschliessend wieder auf 25 °C abgekühlt, so fallen pro Kubikmeter verdichteter Luft 30 g Kondensat an.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Infoblatt Aufbereitung.

## Leistungsbedarf für die Verdichtung

Zur thermodynamischen Beschreibung von Zustandsänderungen von Luft (Verdichtung, Entspannung, Abkühlung) kann in der für die Drucklufttechnik relevanten Temperatur und dem relevanten Druckbereich die Luft als ideales Gas betrachtet werden. Die ideale Gasgleichung beschreibt den Zusammenhang zwischen Druck ( $p$ ), Volumen ( $V$ ) und Temperatur ( $T$ ) eines Gases.

Es gilt:

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T$$

bzw. bei Bezug auf die Stoffmenge  $n$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

mit  $R$  als der universellen Gaskonstante mit dem Wert  $R = 8,3144 \text{ J/(mol K)}$ . Es gilt demnach, dass das Produkt aus Druck und Volumen der Luft proportional zur Temperatur ist. Mit Hilfe der idealen Gasgleichung können die auftretenden Zustandsänderungen beschrieben werden.

Die beiden wichtigsten Arten von Zustandsänderungen sind die Isotherme (Druckänderung bei konstanter Temperatur) und die reversibel adiabate (isentrop) Zustandsänderung (Druckänderung ohne Wärmezufuhr- oder Abfuhr).

Für die isotherme Zustandsänderung gilt:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

mit  $R$  und  $T = \text{const.}$

Die spezifische Arbeit für eine Verdichtung ergibt sich aus der Volumenänderungsarbeit zu

$$w_{12} = - \int_1^2 p \cdot dv = - p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

Für die **adiabate** Zustandsänderung gilt:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

mit  $R = \text{const.}$

Für die Temperatur gilt

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[ \frac{v_2}{v_1} \right]^{(\kappa-1)} = \left[ \frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

und für die spezifische Arbeit ergibt sich

$$w_{1,2} = \int_1^2 v \cdot dp = \int_1^2 c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Der Isentropenexponent  $\kappa$  hat für Luft im für die Druckluft relevanten Zustandsbereich einen Wert von  $\kappa = 1,4 \text{ kJ/(kg K)}$ .

Der theoretische Energiebedarf für die Verdichtung der Luft ist somit abhängig vom Verdichtungsverhältnis und der Art der Zustandsänderung. Während die isotherme Verdichtung zu der geringsten spezifischen Arbeit führt, ist der reale Zustandsverlauf bei der Verdichtung (polytrope Verdichtung) näher an der reversiblen adiabaten Verdichtung.

In der Praxis sind diese optimalen Werte nicht erreichbar, da der Verdichtungsprozess mit Verlusten behaftet ist. Gute Druckluftanlagen zeichnen sich durch spezifische Leistungen aus, die ca. 45 % über den theoretisch möglichen der adiabaten Verdichtung liegen (Abb. 4). Zu berücksichtigen ist dabei, dass mit zunehmender Leistungsgrösse der Anlage der spezifische Leistungsbedarf abnimmt. Die gemachten spezifischen Leistungsangaben beinhalten dabei alle elektrischen und mechanischen Verluste bei der Druckluftherzeugung. Sie sind nicht direkt vergleichbar mit der auf dem Typenschild des Antriebsmotors des Verdichters angegebenen Nennleistung. Die spezifische Leistungsaufnahme einer Druckluftanlage sollte im guten Bereich liegen. Die untere Begrenzungslinie des guten Bereichs wird durch die adiabate Verdichtung beschrieben, die einen Idealfall darstellt und deshalb von ausgeführten Anlagen nicht erreicht werden kann.

Weitere Informationen zur Druckluftherzeugung finden Sie im Infoblatt Erzeugung.

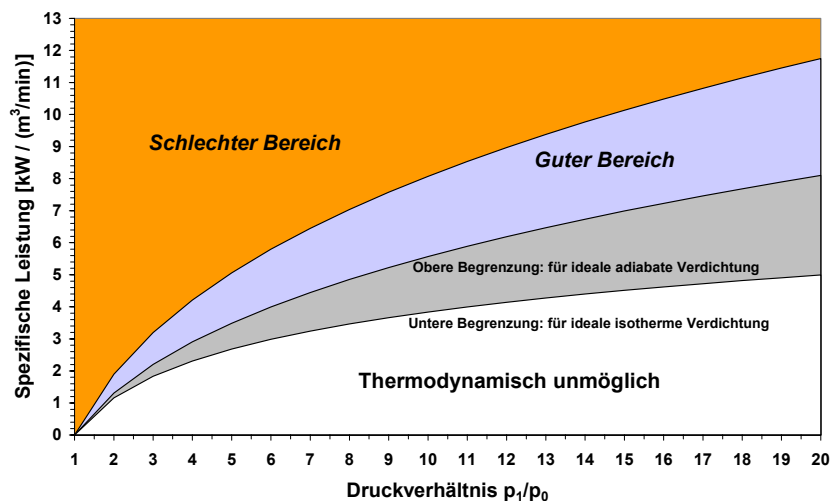


Abb. 4: Spezifischer Leistungsbedarf für die Druckluftherzeugung

## Druckverluste

Nach Erzeugung und Aufbereitung muss die Druckluft in einem Netz zu den Verbrauchsstellen verteilt werden. Zusätzlich zu den in der Aufbereitung entstehenden Druckverlusten treten bei der Druckluftverteilung durch den Rohrwiderstand weitere Druckverluste auf, die einen Energieverlust darstellen. Der Reibungsverlust ist bei turbulenter Strömung deutlich grösser als bei laminarer Strömung (Abb. 5).

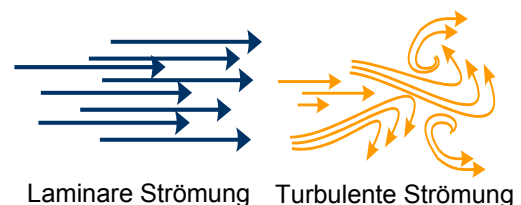


Abb. 5: Laminare und turbulente Strömung

Ob sich in der Rohrleitung eine laminare Strömung einstellen kann, ist dabei im Wesentlichen von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig. Der Einfluss der geringfügig unterschiedlichen Rohrrauigkeiten ist zu vernachlässigen, entscheidender sind die ggf. durch die Rohrverbindungen entstehenden Querschnittsveränderungen. Im Auslegungsbereich von Druckluftverteilsystemen herrscht weitgehend turbulente Strömung in der gesamten Druckluftverteilung vor. Mit steigender Strömungsgeschwindigkeit steigt jedoch der Turbulenzgrad an. Je grösser die Strömungsgeschwindigkeit ist, umso grösser werden die Strömungsverluste.

Für inkompressible Strömungen ergibt sich die Strömungsgeschwindigkeit aus dem Verhältnis von Volumenstrom und Querschnittsfläche.

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

Zu klein dimensionierte Rohrquerschnitte führen zu grossen Strömungsgeschwindigkeiten und hohen Druckverlusten in der Rohrleitung. Zur Begrenzung dieser Verluste sollte die Strömungsgeschwindigkeit in der Druckluftverteilung möglichst kleiner als 6 m/s sein.

Weitere Informationen zur Druckluftverteilung finden Sie im Infoblatt Verteilung.

## Druckluftmessung

Obwohl die Druckluft ein hochwertiger und teurer Energieträger ist, wird meist weder der Druckluftverbrauch noch der Energiebedarf für die Erzeugung und Aufbereitung erfasst. Die Messung und Erfassung des Druckluftverbrauchs stellt jedoch ein Schlüsselement für die Kosten- und Energieoptimierung im Bereich der Druckluft dar. Weitere Einzelheiten dazu erfahren Sie im Infoblatt Messtechnik.

In der Infoblatt-Reihe finden Sie auch zu anderen Themenbereichen weitere Informationen. Diese sollen erste Auskünfte liefern, können die problem-spezifische Beratung durch den Fachmann jedoch nicht ersetzen.

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, Prematic, Servatechnik, Vektor.

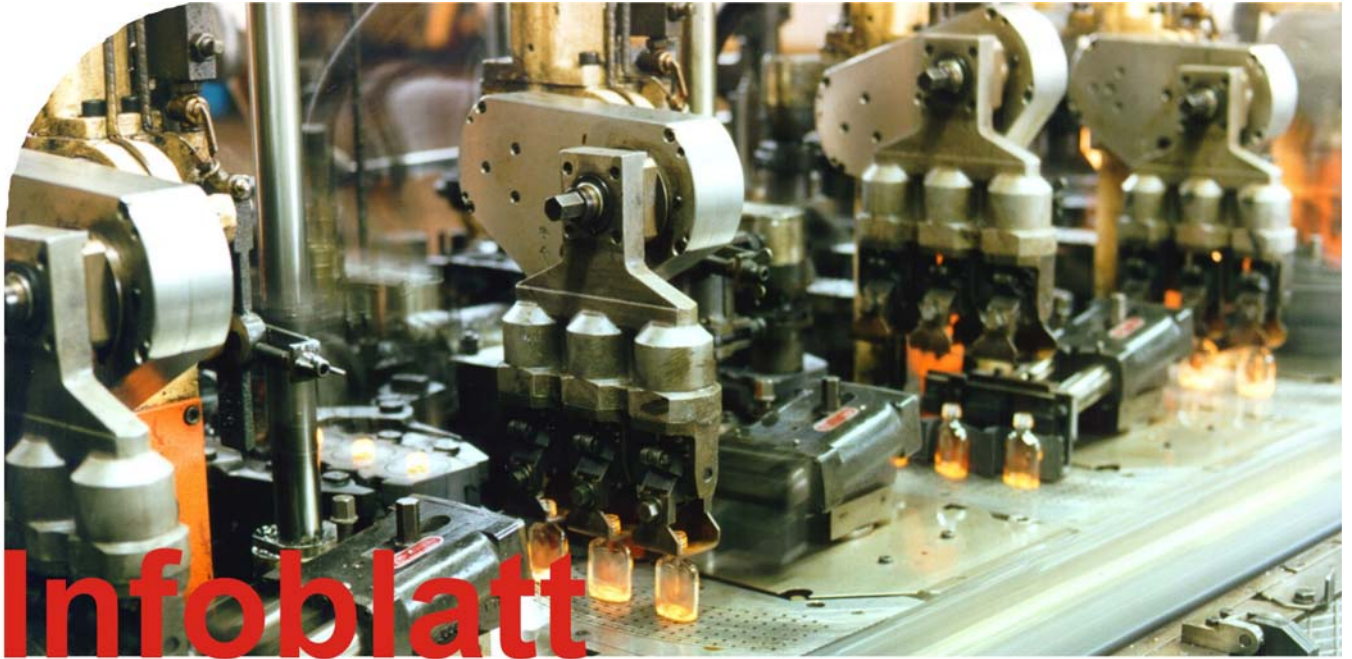
Weitere Informationen finden Sie unter [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)

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



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



# Infoblatt Druckluft-Messtechnik

Im Druckluftbereich liefert die Druckmesstechnik die Datenbasis zur Beurteilung der korrekten Druckhöhe von Druckdifferenzen im Druckluftnetz sowie zum Steuern und Regeln der Kompressoren. Vor dem Dimensionieren oder Optimieren einer Druckluftanlage sollte man Volumenstrommessungen vornehmen. Ist besonders hohe Druckluftqualität gefordert, liefern entsprechende Messungen Grundlagen zum Sichern der Druckluftqualität sowie zum Optimieren der Druckluftaufbereitung.

## Druckmessung oder Differenzdruckmessung

Die Druckmessung bei Fliessbedingung dient vor allem zum Steuern und Regeln von Kompressoren oder Kompressorenstationen sowie zur Beurteilung von Druckluftnetzen.

Die Differenzdruckmessung wird darüber hinaus auch zum Überwachen der Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeit von Luftaufbereitungssystemen wie etwa Filtern eingesetzt.

## Membrandruckschalter

In vielen heute eingesetzten Kompressoren und Kompressorenstationen erfassen Membrandruckschalter den Druck und leiten die Messwerte in Form eines elektrischen Schaltsignals weiter.

Bitte beachten:

- Das Altern der mechanischen Bauteile beeinträchtigt die Wiederholgenauigkeit.
- Membrandruckschalter benötigen eine hohe Schaltdifferenz zum Ansprechen und brauchen viel Platz.

## Kontaktmanometer

Bis in die 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts galt es als Stand der Technik, für die Differenzdruckmessung, etwa zum Überwachen von Filtern oder zum Steuern von Kompressorenstationen, mechanische Kontaktmanometer einzusetzen.

Bitte beachten:

- Um ausreichende Auflösung zu erreichen, sollte der optimale Messbereich nahe am Arbeitsbereich liegen.
- Elektrische Kontaktpunkte führen zu mässiger Wiederholgenauigkeit und aufwendigen Einstellarbeiten der maximal vier nutzbaren Kontakte.

## Elektronischer Druckaufnehmer

Die Kompressoren moderner Kompressorenstationen sollten auf Basis der Druckmessung von elektronischen Druckaufnehmern gesteuert werden, welche die Druckwerte in analoge Signale umwandeln.

Bitte beachten:

- Druckaufnehmer mit einem Ausgangssignal von 4 bis 20 mA bieten Kabelbruchsicherheit.
- Liegt das Maximum des Messbereichs nahe dem Bereich der zu steuernden Größen, ist eine höhere Auflösung zu erzielen.
- Diese sehr robusten und zuverlässigen Systeme zeichnen sich durch ihre hohe Wiederholgenauigkeit ebenso aus wie durch ihre kompakte Bauweise.

### Volumenstrommessung

Die Volumenstrommessung wird zum Nachweis der Förderleistung von Kompressoren und sowohl hinsichtlich des Gesamtluftverbrauches eines Betriebes als auch mit Blick auf Einzelluftverbräuche dezentraler Produktionsstätten eingesetzt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Volumenstromangaben von Kompressoren und Luftverbrauchern auf den Umgebungszustand beziehen, die Messung aber im Druck führenden System vorgenommen wird. Das Umrechnen der Messwerte auf den Umgebungszustand ist mithin erforderlich.

Um ein absolut exaktes Ergebnis zu erhalten, müsste man daher nicht nur den Volumenstrom, die Temperatur und den Druck der Druckluft, sondern auch den atmosphärischen Druck, die atmosphärische Temperatur und die Luftfeuchtigkeit der angesaugten Luft ermitteln (s. Abb. 1). Dies ist unabdingbar beim Leistungsnachweis von Kompressoren.

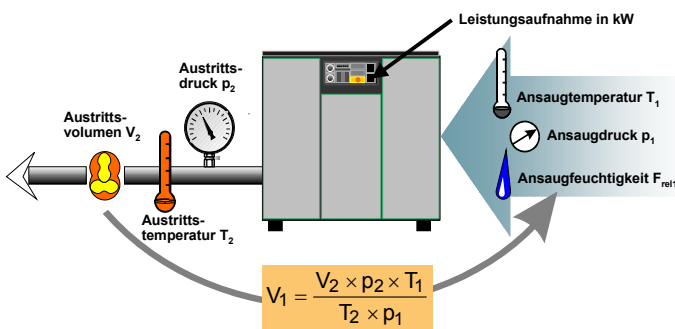


Abb. 1: Messung des Ansaugvolumenstroms

Volumenstrommessungen zur innerbetrieblichen Abrechnung oder beim Planen einer Kompressorenstation rechtfertigen indes den Aufwand der parallelen Messung von Umgebungstemperatur, Feuchtigkeit und atmosphärischem Druck nicht. Wohl aber sollte die Rückrechnung auf die durchschnittlichen Druck- und Temperaturbedingungen am Aufstellungs-ort erfolgen.

### Temperatur- und Druckkompensation

Druck und Temperatur sind in einem Druckluftsystem nur selten konstant. Bei der Luftverbrauchsmessung sind daher neben dem Volumenstrom auch Druck und Temperatur während der Messung zu ermitteln, so dass eine korrekte Rückrechnung des gemessenen Betriebszustandes auf den Umgebungszustand erfolgen kann (siehe Gasgleichung, Abb. 1). Für eine exakte Messung ist dies unerlässlich.

### Ohne Temperatur- und Druckkompensation

Mit einer Volumenstrommessung ohne parallele Druck- und Temperaturmessung und ohne Rückrechnung über diese Faktoren auf den entspannten Zustand ist lediglich das Ermitteln des geflossenen Betriebsvolumens möglich. Beim Zurückrechnen auf den Umgebungszustand würden sonst während der Messung aufgetretene Schwankungen von Druck und Temperatur zu Fehlern führen.

### Direkte Messung des Volumen- oder Massenstromes

Die Staudruckmessung ermöglicht es, den Volumenstrom mit hoher Genauigkeit zu ermitteln. Dabei kann wahlweise eine Venturidüse, eine Differenzdruckblende oder eine Staudrucksonde zum Einsatz kommen (s. Abb. 2).

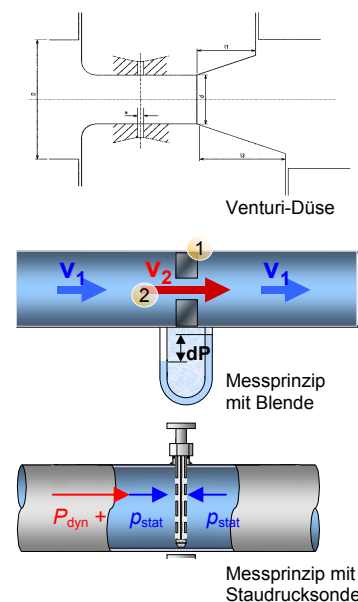


Abb. 2: Staudruckmessung

Bitte beachten:

- Um ausreichende Auflösung zu erreichen, sollte der optimale Messbereich nahe am Arbeitsbereich liegen.

- Elektrische Kontaktpunkte führen zu mässiger Wiederholgenauigkeit und aufwendigen Einstellarbeiten der maximal vier nutzbaren Kontakte.
- Wichtig sind die korrekte Länge der Ein- und Auslaufstrecke, das Einbringen des Messkörpers in das Rohrleitungssystem und die genauen geometrischen Daten des Rohres.
- Achtung: Verschmutzungsgefahr!
- Sinkt der Durchfluss auf unter 10 Prozent des maximalen Messwertes, führt dies zu geringer Messgenauigkeit.

### Volumetrische Messung

Volumetrische Messungen sind hochgenaue Messungen, die z. B. zum Bestimmen der Förderleistung von Kompressoren eingesetzt werden. Wichtigste Messgeräte sind Drehkolbengaszähler und Turbinenmessradzähler. Während der Drehkolbengaszähler in einem Messbereich von 10 bis 90 % seines max. Durchsatzvolumens eingesetzt werden sollte, bietet der Turbinenmessradzähler auch im unteren Messbereich hohe Genauigkeit.

Bitte beachten:

- Diese Messgeräte sind wartungsintensive, komplex aufgebaute mechanische Bauteile.
- Keine Überlastfestigkeit (Gefahr bei drucklosem Druckluftnetz).

### Kalorimetrisch

Sogenannte Hitzdrahtanemometer können den Volumenstrom als Funktion des Massendurchsatzes in einer Druckluftleitung messen, in dem sie die abgeführte Wärme ins Verhältnis zum durchgesetzten Volumenstrom setzen (s. Abb. 3).



Abb. 3: Kalorimetrische Volumenstrommessung

Bitte beachten:

- Ohne Temperatur- und Druckkompensation gilt: Vom Auslegungspunkt abweichende Temperatur, Feuchtigkeit und Druckschwankungen beeinflussen das Ergebnis stark.

### Coriolis Massenstrommessung

Basiert auf der Ausnutzung der kontrollierten Erzeugung der Corioliskräfte. Diese Kräfte treten dort auf, wo sich translatorische (geradlinige) und rotatorische (drehende) Bewegungen überlagern. Dabei hängt die Grösse der Kräfte von der bewegten Masse und deren Geschwindigkeit und somit vom Massendurchfluss ab (s. Abb. 4).

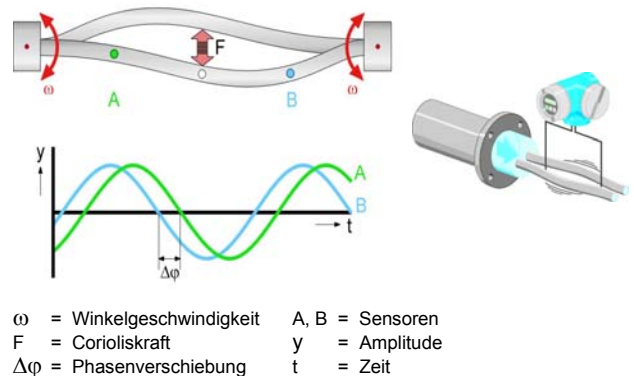


Abb. 4: Coriolis Massenstrommessung

### Sonstige

Über die klassischen Methoden der Volumenstrommessung hinaus gibt es heute einige neue Messsysteme.

### Karmansche Wirbelstrasse

Die Volumenstrommessung erfolgt auf Grundlage der Karmanschen Wirbelstrasse (s. Abb. 5).

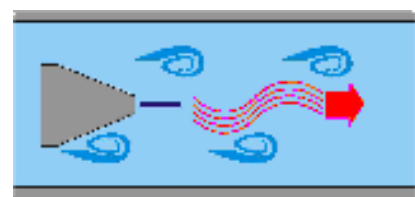


Abb. 5: Karmansche Wirbelstrasse

Ein in einem Druckluftsystem fixierter, exakt definierter Körper erzeugt Wirbel und somit Schwingungen, die sich mit einem Aufnehmer erfassen lassen. Sie variieren analog zu den Änderungen des am Ablenkungskörper vorbeistreichenden Volumenstroms.

Diese Messanordnung hat ähnliche Eigenschaften wie Staudruckmesssysteme.

Bitte beachten:

- Bauseitig ausgelöste Schwingungen in Rohrleitungen können das Messergebnis beeinflussen.

### Ultraschallmessung

Ultraschallmessgeräte, wie sie aus der Gas- und Wassertechnik bekannt sind, haben in Druckluftsystemen noch keine so weite Verbreitung gefunden (s. Abb. 6).

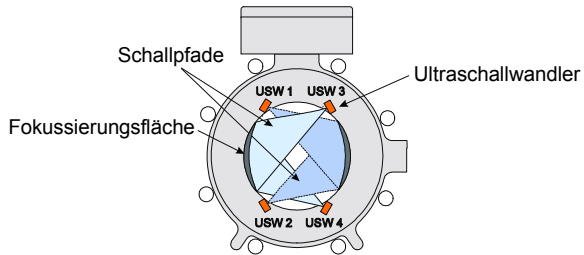


Abb. 6: Ultraschalldurchflussmessung

### Indirekte Messungen

Während sich die bisher beschriebenen direkten Messungen zentral als auch dezentral zur Luftverbrauchsmessung in Betrieben und auch zum Bestimmen der Leistungsdaten von Kompressoren einsetzen lassen, dienen indirekte Messungen unter Zuhilfenahme der Kompressoren zum Ermitteln von Luftverbrauchswerten und Verbrauchscharakteristiken kompletter Druckluftsysteme.

### Digital-Lastzeit-Erfassung der Kompressoren

Kompressoren mit diskontinuierlicher Regelung werden an einen Datalogger angeschlossen, welcher Vollast, Leerlauf und Stillstandszeiten der Kompressoren erfasst (s. Abb. 7).

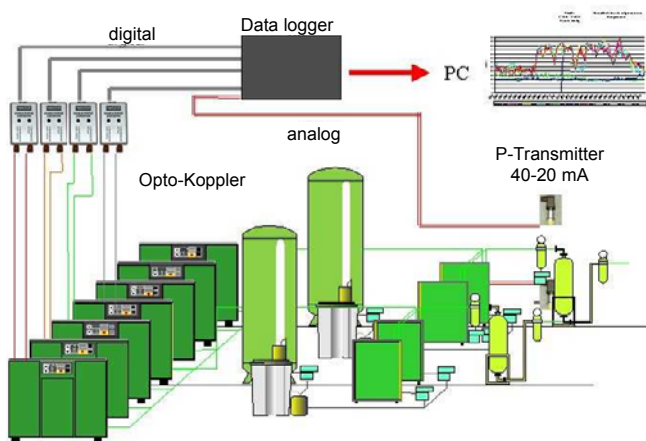


Abb. 7: Digitale Lastzeiterfassung

Nach dem Einlesen dieser Daten in einen Computer lassen sich die Förderleistungen der einzelnen Kompressoren sowie die Gesamtluftverbrauchswerte des Betriebes simulieren.

Bitte beachten:

- Ein Vorteil dieses indirekten Messverfahrens gegenüber direkten Messungen liegt darin, dass nicht nur Informationen über die Luftverbrauchswerte gesammelt werden, sondern dass es auch Daten über Auslastung und Laufverhalten der Kompressoren bereitstellt.
- Geringer Montageaufwand.
- Mindestmesstakt 1 sec, um Verbrauchsspitzen zu erfassen.

### Weitere Verfahren

Einfache Luftverbrauchsmessungen oder Auslastungsmessungen von Kompressoren können auch durch Ablesen der Laststundenzähler und durch Messungen von Kesselentleerungszeiten ermittelt werden.

Bitte beachten:

- Sehr personalintensiv und ziemlich ungenau.

### Leckagemessverfahren durch Druckmessung

Mittels eines einfach im Druckluftsystem einzubauenden Drucksensors werden über einen längeren Zeitraum in kurzen Zeitabständen die Drücke gemessen und gespeichert. Hierzu muss das System nicht aufgetrennt werden, eine Kupplung oder ein zölliger Anschluss sind ausreichend.

Die Druckkurven werden anschliessend mittels eines mathematischen Verfahrens derart bearbeitet, dass der Auftraggeber hinterher zu jedem einzelnen Messzeitpunkt genau weiss, wie hoch der Anteil an Leckagen und wie gross der Nutzlastanteil (prozentual) ist. Dies erfolgt durch die Berechnung der Druckabfälle und deren Gradienten, die mittels eines mathematischen Algorithmus eine Idealkurve ergeben. Die Idealkurve wird mit den real gemessenen Kurven verglichen (s. Abb. 8).

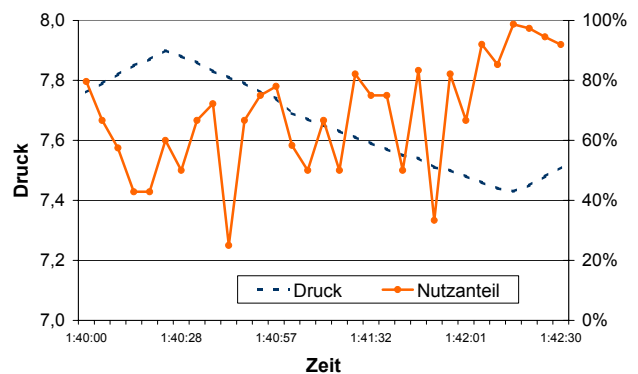


Abb. 8: Leckagemessverfahren bei laufendem Betrieb

Die Ergebnisse sind die relativen Anteile der Nutzlast bzw. der Leckagen zum jeweiligen Zeitpunkt. Werden gleichzeitig die Durchflüsse oder Verdichterlaufzeiten erfasst, lassen sich die relativen Werte in absolute Verluste umrechnen.

Bitte beachten:

- Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass eine Berechnung der Leckagen während der Betriebsphase möglich ist. Es eignet sich daher besonders für Betriebe mit kontinuierlicher Produktion.

### Leckagemessung durch Druckluftbehälterentleerung

Eine vereinfachte Leckagemessung ist auch über eine Messung mittels Druckbehälter möglich. Hierbei wird der Behälter auf den Maximaldruck, der im Systemdruck benötigt wird, erhöht und die Zeit gemessen, die auf Grund der Leckagen bis zu einem Druckabfall von 1 bis 2 bar vergeht (s. Abb. 9).

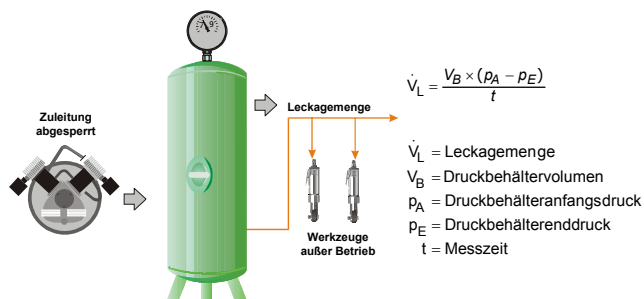
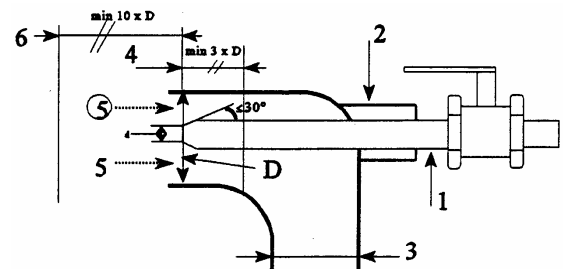


Abb. 9: Leckagemessung durch Druckluftbehälterentleerung

### Luftqualitätsmessungen nach ISO 8573

Für exakte Luftqualitätsmessungen ist die Art und Weise der Probenentnahme besonders wichtig.

Wenn in einem Druckluftrohr turbulente Strömung herrscht und zudem besondere Randströmungen vorhanden sind, ist die Probe an einem Ort zu entnehmen, an dem sichergestellt ist, dass sie eine repräsentative und verwertbare Mischung aller Bestandteile der Druckluft enthält. Dies ist nur mit einer sogenannten isokinetischen Probenentnahme (s. Abb. 10) zu gewährleisten.



1. Probeentnahme Sonde in Hauptleitung
2. Einstellbare Buchse zum Befestigen der Sonde
3. Druckluftleitungsquerschnitt „D“
4. Einsraubtiefe min. „3 x D“
5. Durchflussrichtung
6. Mindestlänge der Einlaufstrecke = 10 x D

Abb. 10: Isokinetische Probeentnahme

Für die einzelnen Schadstoffklassen – etwa nach

- ISO 8573-2: Ölaerosolgehalt
- ISO 8573-3: Wassergehalt
- ISO 8573-4: Partikelgehalt
- ISO 8575-5: Öldampf- und Kohlenwasserstoffgehalt
- ISO 8573-6: gasförmige Verunreinigungen
- ISO 8573-7: mikrobiologische Verunreinigungen

sind jeweils die in den Normen beschriebenen Messsysteme der Entnahmestelle nachzuschalten.

Die Luftqualitäten werden in ISO 8573-1 klassifiziert.

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)

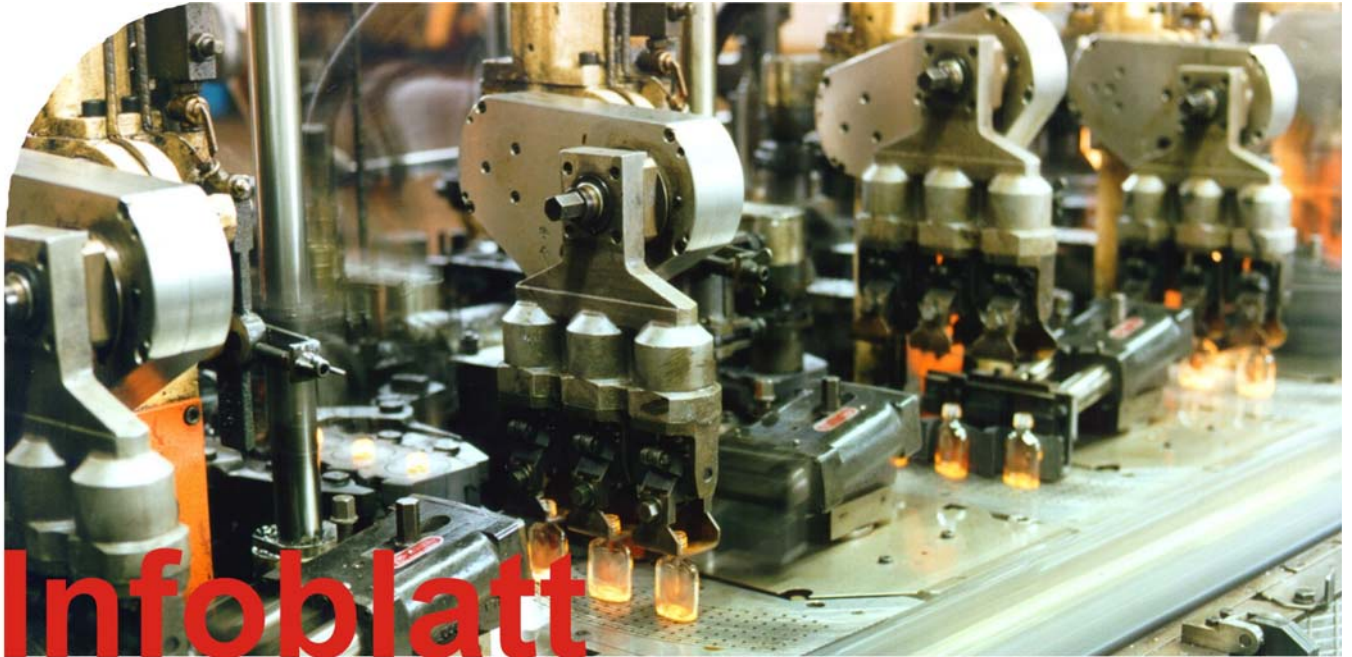
Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und 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



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





# Infoblatt Druckluftzeugung

## Welche Kompressorbauarten gibt es?

In der Praxis findet man vorwiegend Kolben-, Schrauben-, und Turbokompressoren. Darüber hinaus gibt es Membran-, Vielzellen-, Spiral-, Drehzahn- und Drehkolbenkompressoren.

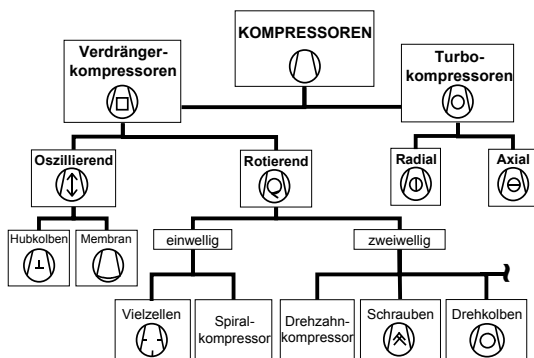


Abb. 1: Verdichterbauarten

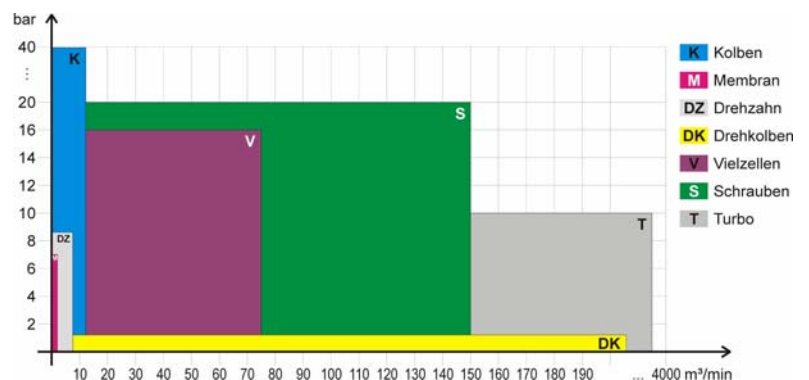


Abb. 2: Leistungspotenziale von Verdichterbauarten

## Verdichtungsprinzip

### Kolbenkompressoren

Hubkolbenkompressoren arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Der Kolben saugt während des Abwärtshubes Luft aus der Atmosphäre über das Saugventil an. Zu Beginn des Aufwärtshubes schliesst das Saugventil. Die Luft wird über das Druckventil ausgestossen. Kolbenkompressoren sind mehrzylindrig (hohe Liefermengen) oder mehrstufig (hohe Drücke).

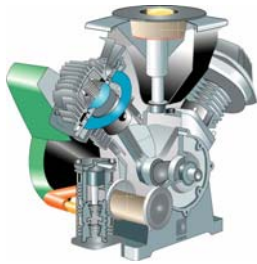


Abb. 3: Kolbenkompressor

### Schraubenkompressoren

Schraubenkompressoren arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Zwei parallele, mit unterschiedlichem Profil versehene Drehkolben, arbeiten gegenläufig in einem Gehäuse. Schraubenkompressoren gibt es bis zu Antriebsleistungen von 1000 kW. Der Antrieb erfolgt über Getriebe, Keilriemen oder direkt.

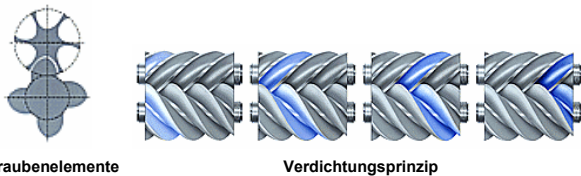


Abb. 4: Schraubenelemente und Verdichtungsprinzip

Einspritzgekühlte Schraubenkompressoren verdichten einstufig bis auf 15 bar und zweistufig bis auf 20 bar Höchstdruck. Ölfrei verdichtende Schraubenkompressoren arbeiten einstufig bis 3 bar und zweistufig mit Zwischenkühlung bis 10,5 bar. Damit bei ölfrei verdichtenden Schraubenkompressoren Haupt- und Nebenläufer sich nicht berühren, werden beide über ein Synchrongetriebe angetrieben.

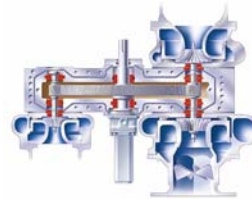
### Turbokompressoren

Turbokompressoren sind dynamische Verdichter, bei denen mit Schaufeln versehene Laufräder das zu verdichtende Gas beschleunigen.

Feststehende Leitapparate an den Schaufeln wandeln Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie um. Turbokompressoren verdichten ölfrei meist bei grossen Fördermengen. Sie verdichten einstufig bis 2 bar, zweistufig bis 7 bar. Die Verdichtung ist bis zu 20 Stufen möglich.



Turbolaufrad



dreistufiger  
Zentrifugal-  
kompressor

Abb. 5: Turbolaufrad und Zentrifugalkompressor

### Druckbereiche von Schraubenkompressoren

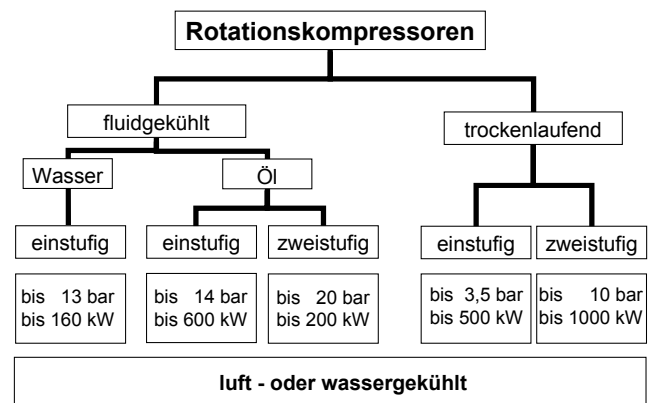


Abb. 6: Druckbereiche von Schraubenkompressoren

### Leistungsmessung ISO 1217 Anhang C

Leistungsmessungen für Schraubenkompressoren werden nach ISO 1217 Anhang A beschrieben. Anhang B beschreibt die Leistungsmessungen der Verdichterstufen, während Anhang C für die kompletten Schraubenkompressor-Anlagen anzuwenden ist.

### Volumenstrom

Der Volumenstrom (Liefermenge) der Kompressoren wird nach der vorgegebenen Messmethode bei Höchstdruck am Druckluftaustritt der Gesamtanlage gemessen und auf die Ansaugbedingungen zurückgerechnet.

Ansaugbedingungen:

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Ansaugtemperatur          | +20 °C |
| Ansaugdruck               | 1 bar  |
| Relative Luftfeuchtigkeit | 0 %    |
| Kühlwassertemperatur      | +20 °C |

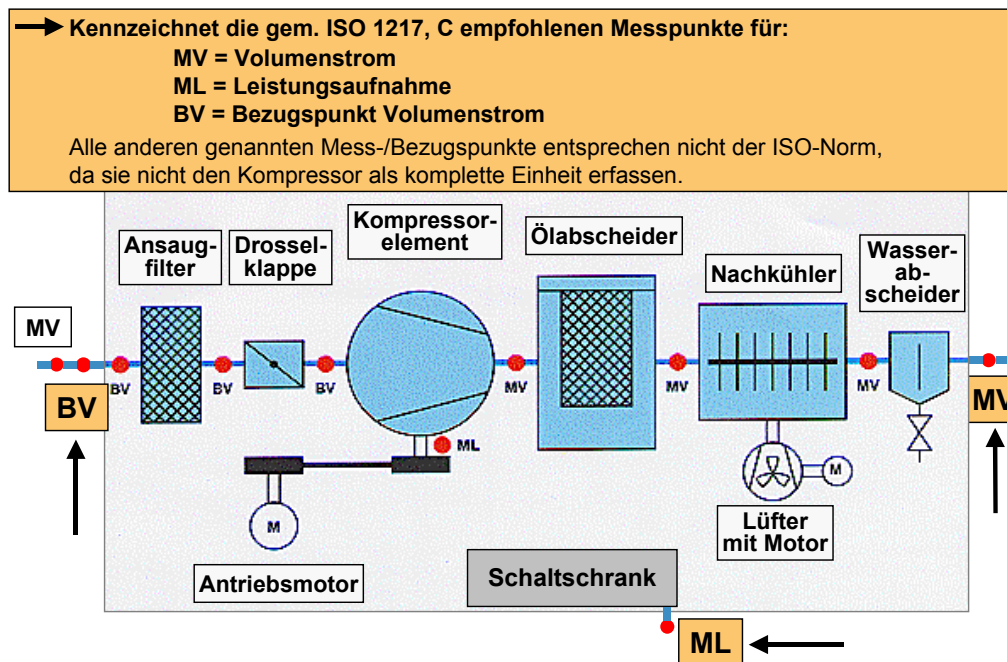


Abb. 7: Leistungsmessung nach ISO 1217

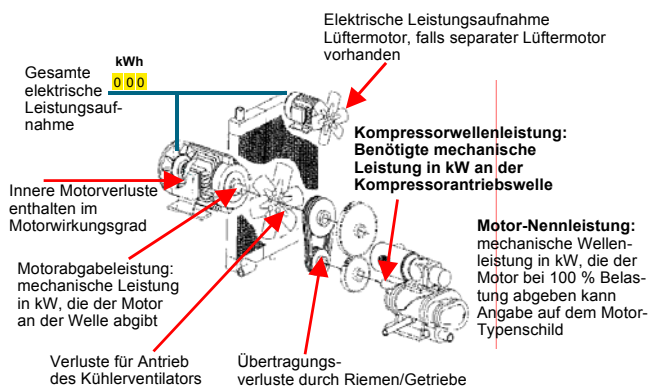


Abb. 8: Kraft- und Leistungsfluss bei Kompressoren

### Leistungsaufnahme

Unter der elektrischen Leistungsaufnahme ist die gesamte Leistungsaufnahme aller Motoren (Antriebs- und Lüftermotor) aus dem elektrischen Leitungsnetz zu verstehen.

### Spezifischer Leistungsbedarf

Bei den Normen zur Leistungsmessung ist festgehalten, welche Toleranzen der spezifische Leistungsbedarf (elektrische Leistungsaufnahme dividiert durch Liefermenge) haben darf.

ISO 1217: 1996 (PN2 CPT)

| Volumenstrom bei angegebenen Bedingungen | Volumenstrom | Spezifische Leistungsaufnahme | Leistungsaufnahme im Leerlauf <sup>*)</sup> |
|------------------------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| unter 0,5 m <sup>3</sup> /min            | +/- 7 %      | +/- 8 %                       | +/- 20 %                                    |
| 0,5 – 1,5 m <sup>3</sup> /min            | +/- 6 %      | +/- 7 %                       | +/- 20 %                                    |
| 1,5 – 15 m <sup>3</sup> /min             | +/- 5 %      | +/- 6 %                       | +/- 20 %                                    |
| über 15 m <sup>3</sup> /min              | +/- 4 %      | +/- 5 %                       | +/- 20 %                                    |

Die o. g. Toleranzen enthalten die Herstellungstoleranzen des Kompressors inkl. der Messtoleranzen für die bei der Abnahme gemessenen Werte.

<sup>\*)</sup> falls vom Hersteller angegeben

Tab. 1: Spezifischer Leistungsbedarf nach ISO 1217

### Kompressorräume und Kompressor-aufstellung (VDMA 4363)

Die beim Verdichten erzeugte Wärme – und das ist fast alle Energie, die dem Kompressor aus dem elektrischen Leitungsnetz zugeführt wird – muss wieder abgeführt werden. Die zulässigen Temperaturen im Kompressorraum sind im VDMA-Einheitsblatt 4363 festgehalten. Sie liegen zwischen +5 °C und +40 °C. Ist die Temperatur zu niedrig, dann besteht die Gefahr des Einfrierens der Kompressor-Sicherheitsorgane. Ist die Temperatur zu hoch, dann kann es zu Problemen bei der Überlastung von Bauteilen kommen.

Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten können Kompressoren bis ca. 250 kW Antriebsleistung in luftgekühlter Ausführung eingesetzt werden. Besteht

keine Möglichkeit der Wärmeabfuhr durch zu hohe Kühlluftmengen, dann ist die Wärme durch Kühlwasser abzuführen. Die Betriebskosten der wassergekühlten Kompressoren liegen ca. 30 % über denen der luftgekühlten.

### Belüftung von Kompressorräumen

#### Unterstützte Konvektion (mit Ventilator, ohne Kanäle)

- geringe Investitionskosten
- geringer technischer Aufwand
- automatische Raumluftwärmerung im Winter

#### Zu beachten:

- nur bei kleinen/mittleren Kompressorleistungen anwendbar
- Raumwärmerung um  $\Delta t = 5-10\text{ K}$ , daher erhöhte Ventilationsluftmenge erforderlich
- Gefahr bei warmer Ansaugluft.

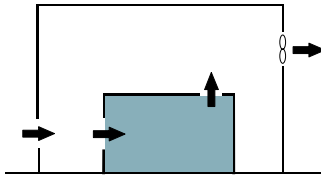


Abb. 9: Natürliche Be- und Entlüftung bei kleinen Antriebsleistungen

### Entlüftung über Abluftkanal

- mittlerer Investitionsaufwand
- mittlerer technischer Aufwand
- Kühlluftwärmerung um  $\Delta t = 25\text{ K}$ , daher geringe Ventilationsluftmenge erforderlich
- nur geringe Erwärmung des Kompressorraums
- Umluftklappe ermöglicht Heizen
- Schallreduzierung.

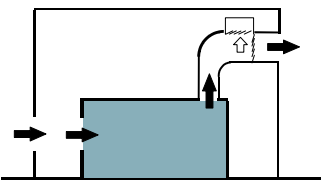


Abb. 10: Kanalisierte Abluftführung bei grösseren Kompressoren

### Luftkühlung

Die einfachste Art der Wärmeabfuhr geschieht mittels Kühlluft. Nun muss die kalte Kühlluft vom Kompressor zu- und die erwärmte Kühlluft vom Kompressor wieder abgeführt werden. Dazu ist die ausreichende Menge vom Anwender zur Verfügung zu stellen. Die Kühlluft kann jeweils durch freie Öffnungen zugeführt und wieder abgeführt werden. Reicht diese natürliche Be- und Entlüftung, die vorwiegend bei kleinen Kompressoren Anwendung findet, nicht aus, dann muss entweder die Zu- oder die Abluftführung durch einen Ventilator unterstützt werden. Reicht das auch noch nicht aus, dann sind Zu- und/oder Abluft über einen Kanal zu führen. Bei langen Kanälen ist zur Überbrückung von Druckverlusten im Kanal ein Zusatzventilator anzubringen. Besondere Steuerungen lassen im Winter einen Mischluftbetrieb zu. Über eine Jalousieklappe wird dabei aus dem Kompressorraum warme Luft mit der von aussen angesaugten kalten Luft vermischt. Das Zuführen von Kühlluft über Kanäle von aussen ist auch dann zu bevorzugen, wenn im Kompressorraum selbst keine saubere Kühlluft zur Verfügung steht.

### Wasserkühlung

Bei grossen abzuführenden Wärmemengen, das heisst bei grossen Kompressoren oder bei der Aufstellung mehrerer Kompressoren in einem Raum, ist die erforderliche Kühlluftmenge oft nicht problemlos bereitzustellen. Dann müssen die Maschinen mit Wasser gekühlt werden. Voraussetzung ist natürlich, dass beim Betreiber Kühlwasser vorhanden ist. Frischwasser scheidet von vorn herein wegen der hohen Kosten aus. An offene oder geschlossene Kühlwasserkreisläufe können Kompressoren problemlos angeschlossen werden. Vor der Entscheidung für die Wasserkühlung muss sicher gestellt sein, dass der Kühler der Kompressoren auch für die Qualität des Kühlwassers ausgelegt ist. Aggressives Kühlwasser benötigt Kühler mit resistenten Materialien.

Ein weiterer Punkt wird gern vergessen: Trotz Wasserkühlung muss die im Kompressor von einzelnen Bauteilen abgestrahlte Wärme auch noch abgeführt werden. Dafür wird eine, wenn auch relativ kleine, Kühlluftmenge benötigt.

### Wärmerückgewinnung

#### Raumheizung

Die wirtschaftlichste Art der Wärmerückgewinnung ist die Ausnutzung der Verdichterwärme für die Raumheizung. Voraussetzung hierfür ist ein luftgekühlter Kompressor, über den die Kühlluft gezielt hinweggeführt wird. Wirtschaftlich ist diese Art der Wärmerückgewinnung deshalb, weil alle Wärme, auch die abgestrahlte Wärme im Kompressor, ausgenutzt wird. Die erwärmte Kühlluft muss über ein Kanalsystem weitergeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass möglichst kurze Wege eingehalten werden. Denn erstens bedeuten lange Wege Druckverluste im Kanal, die wiederum nur durch einen Zusatzventilator zu kompensieren sind und zweitens treten bei langer Verweilzeit der Kühlluft im Kanal Wärmeverluste auf. Eine Alternative wären isolierte Kanäle, die aber auch höhere Investitionskosten bedeuten.

Zu beachten ist, dass bei der Amortisationszeit der Wärmerückgewinnung durch Raumheizung natürlich nur die Wintermonate herangezogen werden können. Im Sommer wird die Abwärme über eine Weiche im Kanal nach aussen geführt.

#### Heizungswassererwärmung

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung führt das Öl ca. 72 % der zugeführten elektrischen Energie ab. Diese Energie kann zurückgewonnen werden. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Schraubenkompressor luft- oder wassergekühlt ist. Zur Wärmerückgewinnung wird das Öl über einen Wärmeaustauscher geführt, der Heizungswasser um 50 K bis zu

70 °C erwärmen kann. Der Wärmeaustauscher ist in der Regel ein Plattenwärmeaustauscher, der eine sehr hohe Wärmeausnutzung zulässt, platzsparend untergebracht werden kann und eben diese hohen Wassertemperaturen ermöglicht.

Zu beachten ist hierbei, dass natürlich nur dann Heizungswasser erwärmt wird, wenn der Kompressor im Lastbetrieb arbeitet. Da nicht immer Lastbetrieb ansteht und somit auch nicht immer warmes Wasser abgegeben wird, kann die Heizungswassererwärmung durch Wärmerückgewinnung nur zur Unterstützung des Heizungskreislaufs dienen. Die Amortisation der Wärmerückgewinnung bei diesem Einsatzfall ist deshalb nur in den Wintermonaten möglich.

### Brauchwassererwärmung

Bei den Plattenwärmeaustauschern der Heizungswassererwärmung kann es bei schadhaften Platten zu einem Durchbruch kommen, so dass sich Wasser und Öl vermischen. Damit nun kein mit Öl verschmutztes Wasser in den Abfluss gelangen kann, wird bei der Brauchwassererwärmung ein Sicherheitswärmeaustauscher eingesetzt. Zwischen der Öl- und der Wasserseite ist eine Trägerflüssigkeit, deren

Druck sich bei einem Öldurchbruch ändert. Über einen Druckschalter wird ein Signal zum Ausschalten des Systems gegeben. Bei diesem System kann Brauchwasser um ca. 35 K auf ca. 55 °C erwärmt werden. Im Gegensatz zur Erwärmung von Heizungswasser ist eine Amortisation uneingeschränkt über das ganze Jahr möglich.

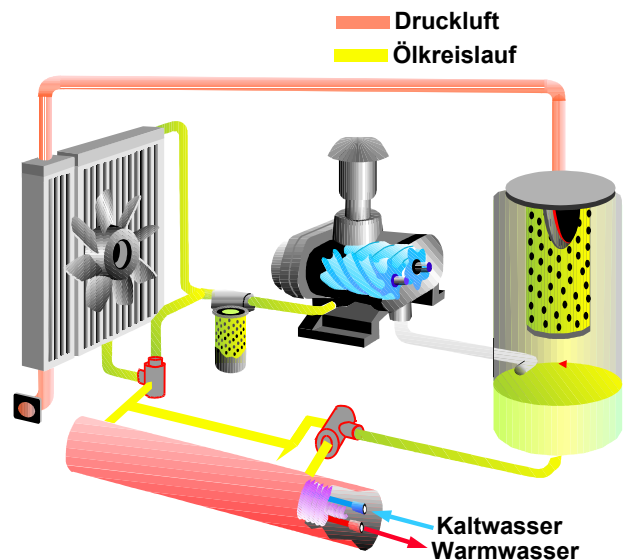


Abb. 11: Brauchwassererwärmung eines öleinspritzgeköhlten Kompressors

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, Promatic, Servatechnik, Vektor.

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

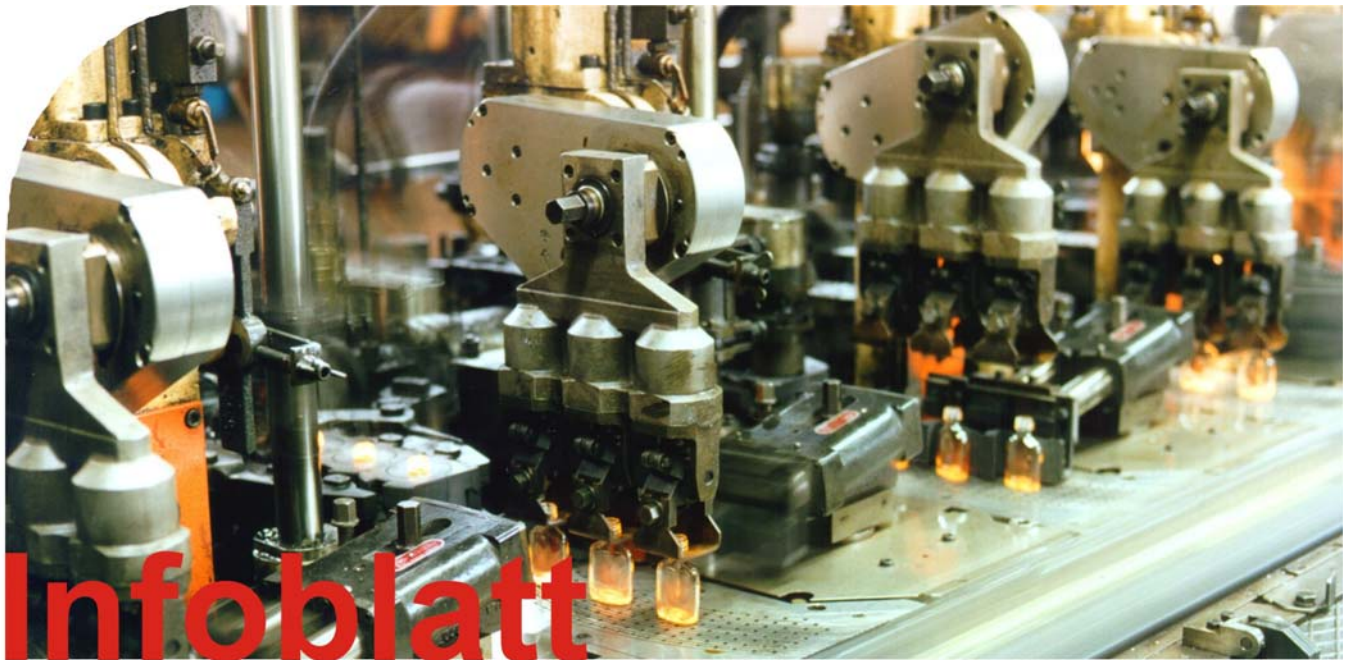
Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und 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)





# 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.

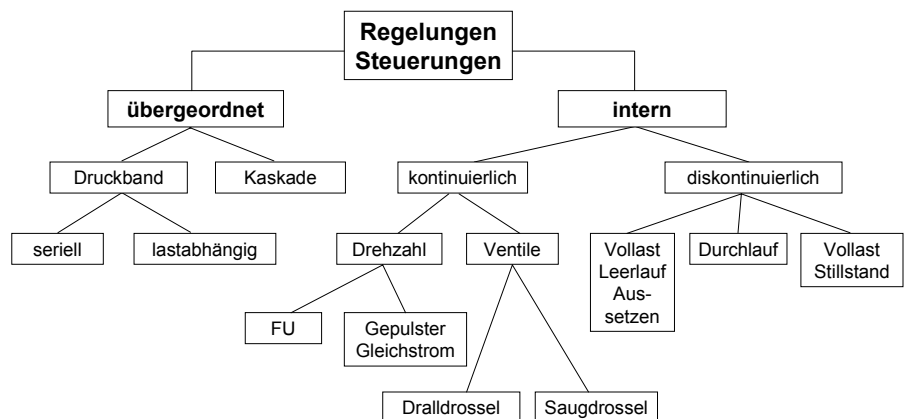


Abb. 1: Steuerung von Druckluftanlagen

## 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-



**energieschweiz**

effiziente Druckluft – eine Kampagne von EnergieSchweiz  
www.druckluft.ch

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).

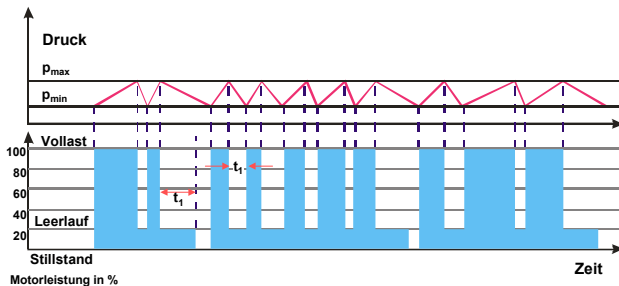


Abb. 2: Einsatzbereich Spitzenlastkompressor

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 Motogrösse, variiert und trägt damit besonders bei Grundlastmaschinen zu erheblichen Einsparungen im Bereich der Leerlaufkosten bei (Abb. 3).

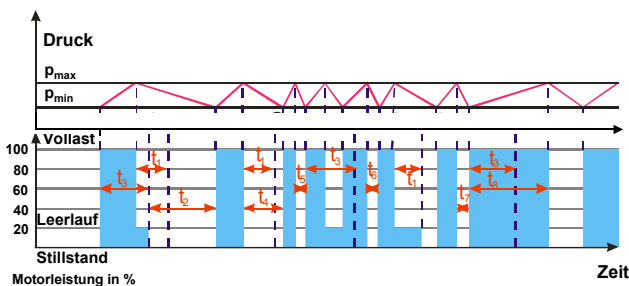


Abb. 3: Einsatzbereich Grundlastkompressor

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).

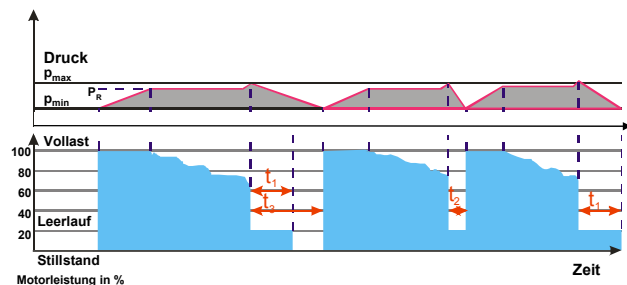


Abb. 4: Einsatzbereich Spitzenlastkompressor

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).

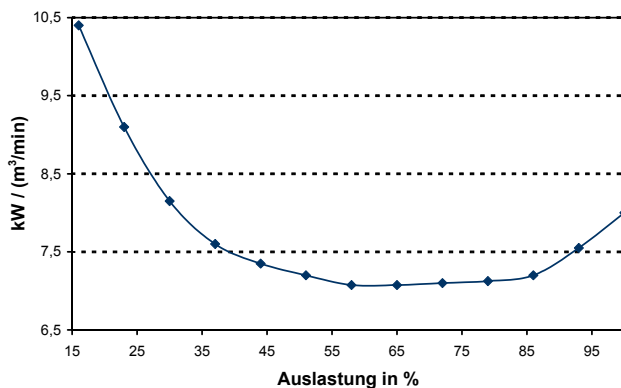


Abb. 5: Spezifisches Leistungsverhalten eines drehzahlregulierten Kompressors

### 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).

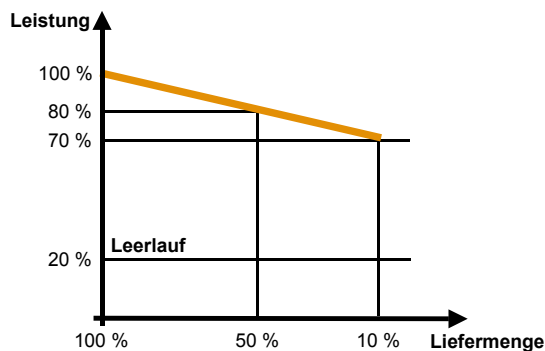


Abb. 6: Regelung des Volumenstroms durch Ansaugdrosselung

Beachten:

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

### Abblaseregelung

Als Abblaseregelung 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).

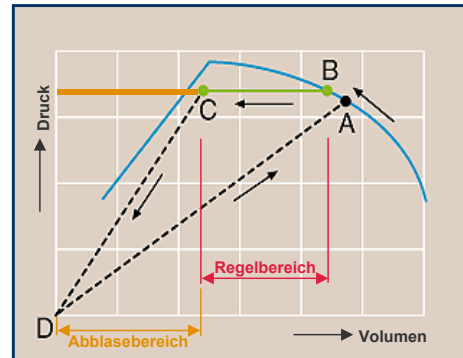


Abb. 7: Abblaseregelung

Beachten:

- Lineares Leistungsverhalten im Regelbereich
- Regelbereich normalerweise ca. 20-30 % ohne Abblaseregelung (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).

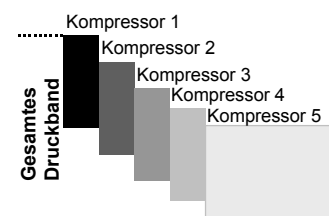


Abb. 8: Kaskadenregelung

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.

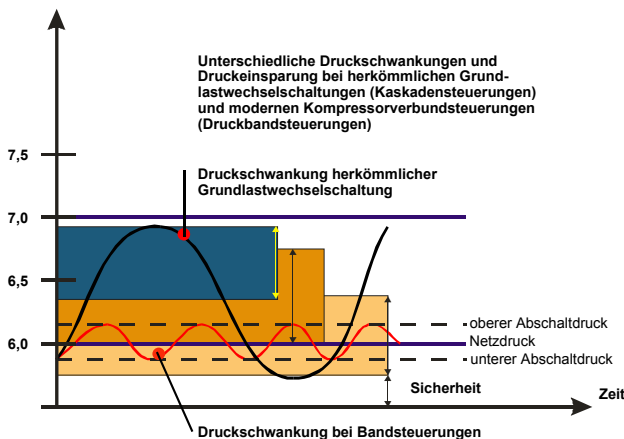


Abb. 9: Druckbandregelung

### 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.

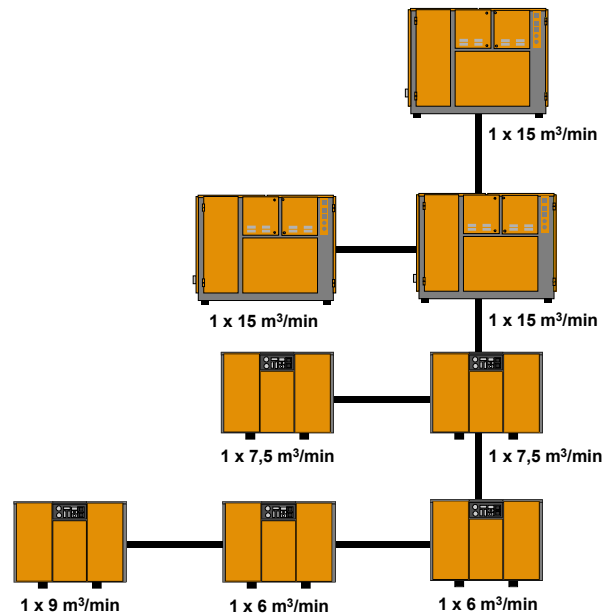


Abb. 10: Möglichkeiten der Aufteilung der Druckluftproduktion

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).

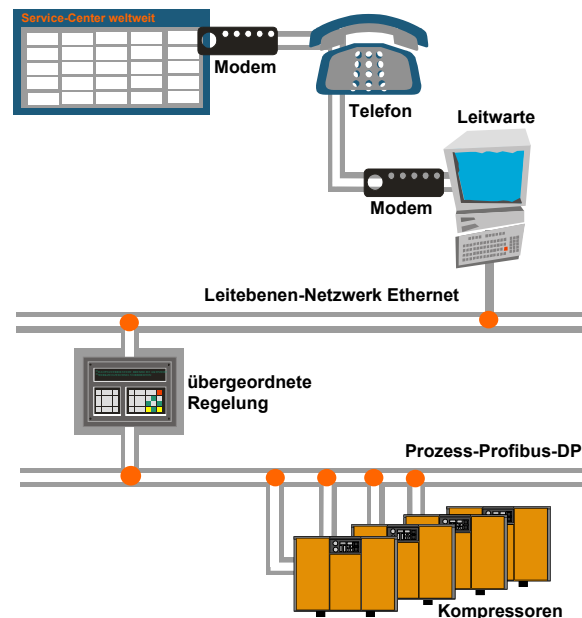


Abb. 11: Einsatz von Leittechnik zur Kompressorensteuerung

## 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 [m³]  
 $\dot{V}_1$  = Liefermenge des schaltenden Kompressors [m³/h]  
 $\dot{V}_2$  = Spitzenverbrauch minus Durchschnittsverbrauch [m³/h]  
 $x$  =  $\dot{V}_2 : \dot{V}_1$  = Auslastungsfaktor [m³/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 [m³]  
 $\dot{V}$  = Luftverbrauch [m³/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)

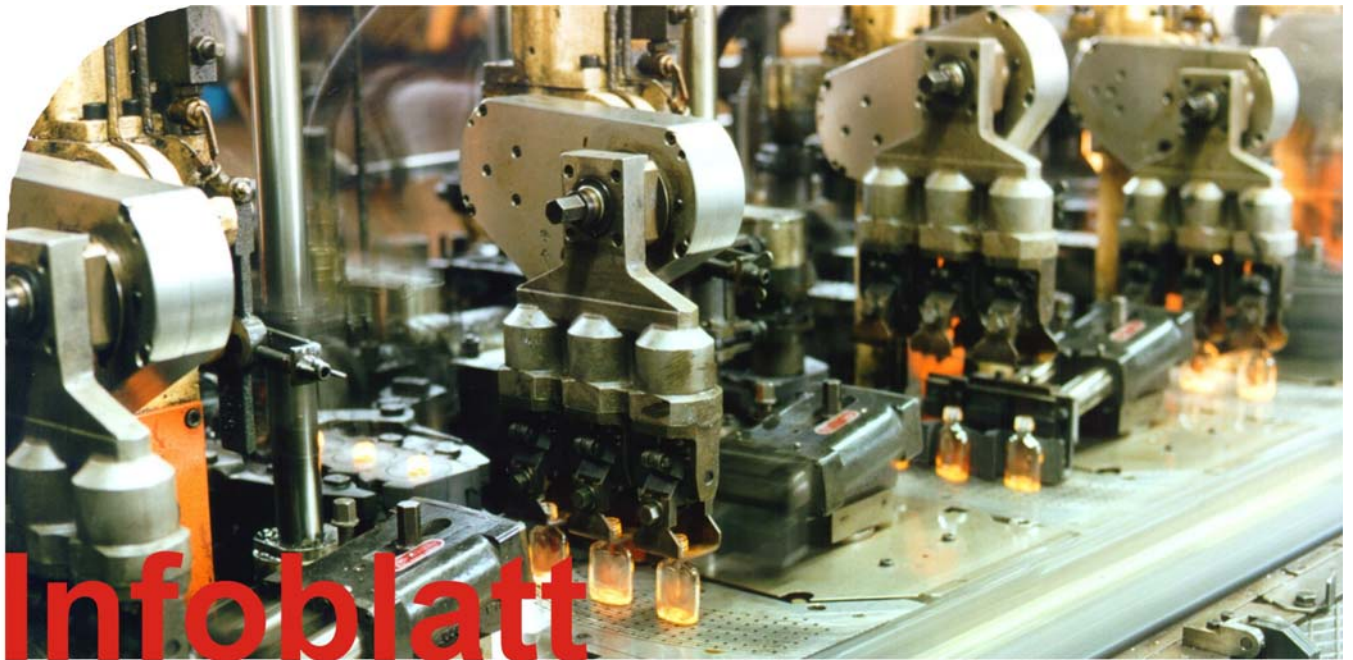
Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und 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



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





# Infoblatt

## Druckluftaufbereitung

Die Qualität der Druckluft ohne Aufbereitung ist heute für die meisten Anwendungen nicht mehr ausreichend und würde zu einer Qualitätsminderung der mit der Druckluft in Verbindung kommenden Produkte führen. Es kann zu Störungen an Produktionsanlagen bis hin zum Produktionsausfall oder der Unbrauchbarkeit von Produkten führen, sprich eine deutliche und mitunter kritische Minderung der Produktqualität. Die Anwendung der Druckluft entscheidet über die geforderte Druckluftqualität.

| Klasse | Maximale Anzahl von Teilchen/m³                       |             |           | Druck-<br>taupunkt<br>(°C) | Rest-<br>Ölgehalt<br>(mg/m³) |
|--------|-------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
|        | Teilchen Grösse d (µm)                                |             |           |                            |                              |
|        | 0,1 < d ≤ 0,5                                         | 0,5 < d ≤ 1 | 1 < d ≤ 5 |                            |                              |
| 0      | spezifiziert gemäss Anwendung und besser als Klasse 1 |             |           |                            |                              |
| 1      | 100                                                   | 1           | 0         | ≤ -70                      | 0,01                         |
| 2      | 100.000                                               | 1.000       | 10        | ≤ -40                      | 0,1                          |
| 3      | –                                                     | 10.000      | 500       | ≤ -20                      | 1                            |
| 4      | –                                                     | –           | 1.000     | ≤ +3                       | 5                            |
| 5      | –                                                     | –           | 20.000    | ≤ +7                       | –                            |

Tab. 1: Qualitätsklassen nach DIN-Norm ISO 8573-1:2001

Die maximalen Belastungen mit Partikeln, Wasser und Öl wird in der DIN-Norm ISO 8573-1 (Ausgabe 2001) in Qualitätsklassen eingeteilt. Die Hersteller von Druckluftverbrauchern können so benötigte Qualität definieren.

### Drucklufttrocknung

Die unterschiedlichen Verfahren der Drucklufttrocknung können unter Berücksichtigung der erreichbaren Drucktaupunkte und der hierzu notwendigen Energie wie in Abb. 1 dargestellt unterteilt werden: Je nach System wird der Energiebedarf als Druckluft oder als elektrische Energie aufgenommen.

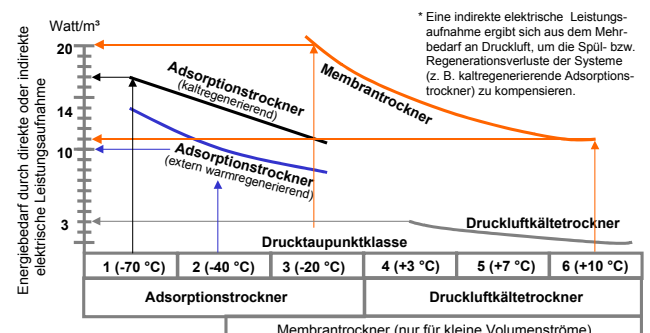


Abb. 1: Verfahren der Lufttrocknung

### Kältetrockner

Kälte-Drucklufttrockner sind heute in Druckluftnetzen Stand der Technik und ebenso wichtig wie der Drucklufterzeuger selbst. Zudem ist er für die Vielzahl der Anwendungsfälle das wirtschaftlichste Verfahren.

### Physikalische Grundlage:

Mit sinkender Temperatur verringert sich die Fähigkeit der Druckluft, Wasser mit sich zu führen. Bei fallender Temperatur kondensiert Wasserdampf zu Wasser. Der Kälte-Drucklufttrockner entzieht der Druckluft den mitgeführten Wasserdampf. Hierbei wird die Druckluft in einem Wärmeaustauschersystem gekühlt. Wasser- und Öldampf werden durch Kondensation, Öl durch Koagulation und Koalition entzogen. Ableitssysteme führen das Kondensat ab.

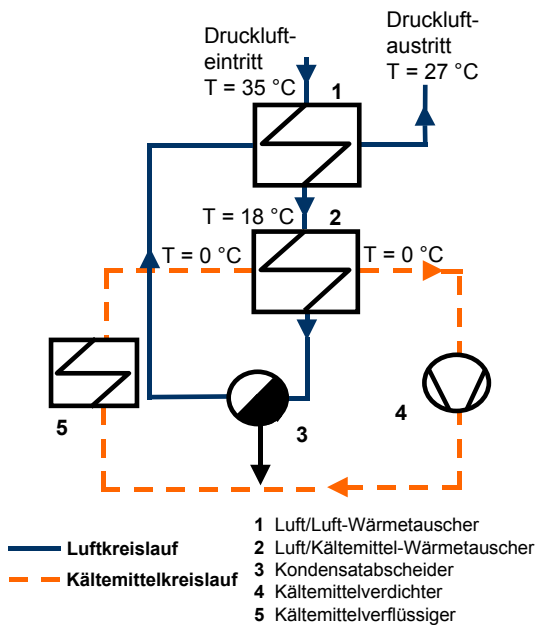


Abb. 2: Funktionsweise der Kältetrockner

Die wirtschaftliche Kälte-Drucklufttrocknung ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird durch die bereits gekühlte, austretende Druckluft die warme einströmende Druckluft im Luft-/Luft-Wärmetauscher gekühlt. Hier fallen bereits ca. 70 % des anfallenden Wasserdampfes aus. In der zweiten Phase durchströmt die Druckluft einen Kältemittel-/Luft-Wärmetauscher. Hier findet die Abkühlung auf dem geforderten Drucktaupunkt statt. Der Kondensatabscheider ist dem Wärmetauschersystem nachgeschaltet. Hier findet die Separation des Kondensates von der Druckluft statt.

Integrierte Wärmetauschersysteme, die Luft-/Luft-Wärmetauscher, Kältemittel-/Luft-Wärmetauscher und Kondensatabscheider in einer Baukomponente integrieren, sind durch niedrigere Differenzdrücke gegenüber Einzelverrohrung energieeffizienter.

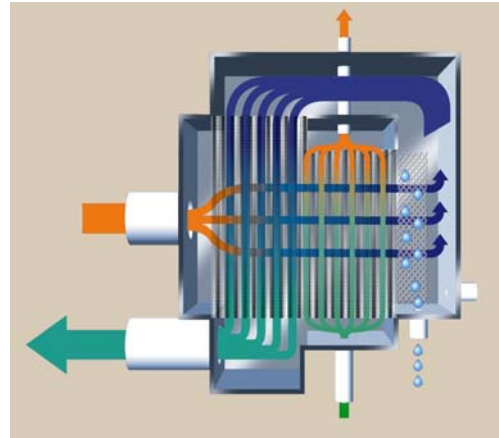


Abb. 3: Wärmetauscher mit integriertem Kondensatabscheider (Demister)

### Adsorptionstrockner

Adsorptionstrockner entziehen der Druckluft die mitgeführte Feuchtigkeit durch das Trockenmittel. Während im ersten Behälter die Adsorption stattfindet, erfolgt zeitgleich im zweiten Behälter die Regeneration. Es werden Drucktaupunkte zwischen -20 und -70 °C mit Standardprodukten erreicht. Für die Regeneration stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Abhängig von der Regenerationsart erfolgt die Einteilung in kalt- und warmregenerierte Adsorptionstrockner.

#### Kaltregeneration

Zur Regeneration dieser Adsorptionstrockner wird ein Teil der bereits getrockneten Druckluft auf atmosphärischem Druck entspannt.

- + Einfache Technik
- + geringe Investitionskosten
- Druckluftverbrauch
- hohe Betriebskosten.

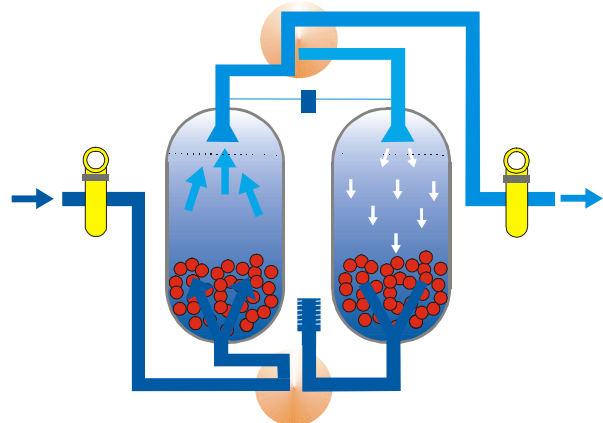


Abb. 4: Kaltregeneration

### Warmregeneration

Die Regeneration erfolgt mit erwärmter Umgebungsluft oder erwärmter Luft aus dem System.

Gebläseregeneration:

In der Heizphase fördert ein Gebläse Umgebungsluft durch die Heizung. Die erwärmte Luft transportiert die Feuchtigkeit aus dem Trockenmittelbett. Zur Kühlung wird Umgebungsluft und Druckluft verwendet.

- + Geringere Betriebskosten durch Heizen mit Dampf oder elektrischer Energie
- Druckluftverbrauch in der Kühlphase.

Warmregeneration ohne Druckluftverbrauch:

Durch Modifikation im Aufbau und Verfahrensweise wird das Trockenmittelbett mit Umgebungsluft gekühlt. Diese Adsorptionstrockner unterscheidet man in Gebläse-, Saugkühlungs- oder Vakuumregenerationsanlagen.

- + Geringere Betriebskosten durch Heizen mit elektrischer Energie oder Dampf
- + kein Druckluftverbrauch in der Kühlphase
- höhere Investitionskosten
- bei hoher Feuchtigkeit in der Umgebungsluft bedingt einsetzbar.

Kompressorwärme-Regeneration:

Beim Einsatz ölfrei verdichtender Kompressoren in Kombination mit Adsorptionstrockner wird die bei der Kompression entstehende Wärme gezielt für die Regeneration des Adsorptionstrockners genutzt. Drucktaupunkte von  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  und besser sind bei geeigneten Kompressoren sichergestellt.

- + Nutzt die Verdichtungswärme zur Regeneration
- + kein Druckluftverbrauch
- nur mit ölfreien Kompressoren.

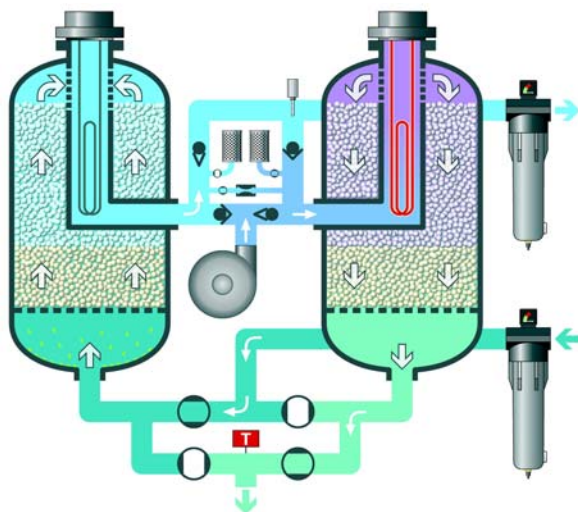


Abb. 5: Warmregeneration

### Steuerung

Alle kalt- oder warm-regenerierten Adsorptionstrockner sind mit einer zeitabhängigen Steuerung ausgerüstet. Je nach Steuerungsumfang als herstellerspezifische Variante oder SPS. Eine optionale Ergänzung ist die beladungsabhängige Steuerung. Am Trockneraustritt registriert ein Sensor die Änderung des Drucktaupunktes. Er passt den Zyklus des Trockners automatisch an die Lastsituation an. Die beladungsabhängige Steuerung kompensiert mögliche Teillastsituationen und reduziert Betriebskosten.

- + Minimale Betriebskosten auch im Teillastbetrieb
- + kontinuierliche Taupunktmessung zur Qualitätskontrolle.

### Membrantrockner

Der Membrantrockner ist eine Ergänzung und Alternative zu den angestammten Kälte- und Adsorptionstrocknern. Vor allem als Endstellentrockner bei kleinsten Druckluftmengen, nicht kontinuierlichem Betrieb oder Anwendungen ohne elektrische Energie hat sich der Membrantrockner bewährt.

Herzstück dieser Membrantrockner sind Polymer-Hohlfasermembranen, die Wasserdampf leicht hindurch diffundieren lassen.

### Filtration

Sie wird eingesetzt, um Verunreinigungen aus der Druckluft hochgradig zu entfernen.

Zu diesen Verunreinigungen zählen hauptsächlich der Ölnebel von ölgeschmierten bzw. öleinspritzgeköhlten Kompressoren sowie Feststoffverunreinigungen und Kohlenwasserstoffe aus der Umgebungsluft, die dann in der Druckluft in konzentrierter Form enthalten sind. Zur Gewährleistung der heute benötigten Druckluftqualität ist eine Aufbereitung zwingend erforderlich.

Durch ein gestiegenes Umweltbewusstsein sowie verstärkte Massnahmen zum Schutze der Gesundheit am Arbeitsplatz werden heute aber auch Anforderungen an die Emissionswerte der nach einem Verbraucher expandierten Druckluft gestellt, speziell im Bezug auf Ölnebel, der z. B. direkt aus einem Druckluftzylinder oder einer Blasedüse an die Umgebungsluft abgegeben wird.

Filter verbrauchen aber auch Energie. Obwohl einem Filter keine eigene Energie zugeführt wird, wird dennoch Energie durch den vom Filter verursachten Druckabfall (Differenzdruck) verbraucht, die von dem vorgeschalteten Kompressor aufzubringen ist. Dabei gilt folgende Regel:

**Je höher der Filtrationsgrad, d. h. je besser die Reinheit der gefilterten Luft, desto höher der Differenzdruck, d. h. desto mehr Energie muss der vorgeschaltete Kompressor aufbringen.**

Filter sind also notwendig, kosten aber auch Energie und somit Geld. Wichtig ist es daher, je nach Anwendung die richtige Aufbereitungsqualität zu wählen. Hilfestellung gibt hier die ISO 8573-1 oder der Hersteller selbst.

Es macht also durchaus Sinn, sich Gedanken darüber zu machen, welcher Grad an Druckluftreinheit wirklich erforderlich ist, um so individuell den oder die Filter mit dem niedrigst möglichen Differenzdruck für seine Anwendungen zu wählen. Welche Einsparpotenziale damit verbunden sind, zeigt Abb. 6. Dort ist aufgezeigt, welche Energiekosten vom Kompressor verursacht werden, um den durch einen Filter verursachten Druckabfall auszugleichen. Die Kosten hierfür können mehrere tausend Euro pro Jahr betragen und überschreiten die Anschaffungs- bzw. Austauschkosten des Elements bei weitem. Durch die Wahl des richtigen Filters mit dem niedrigst möglichen Differenzdruck können folglich enorme Einsparungen erzielt werden.

Ebenso bedeutend ist der rechtzeitige Austausch von mit Schmutz beladenen und somit im Differenzdruck gestiegenen Filterelementen. Wie in Abb. 7 ersichtlich ist, steigt der Differenzdruck eines neuen Filterelementes zunächst sehr langsam an. Je länger das Element in Betrieb ist, desto schneller steigt der Differenzdruck. Bei einem Nichtwechsel übersteigen die Kosten zur Deckung des zusätzlichen Differenzdruckes den Preis eines Austauschelementes mitunter um ein Vielfaches. In der Regel:

**Elementewechsel einmal pro Jahr, spätestens bei einem Differenzdruck von 350 mbar.**

Ausgenommen von dieser Regel sind Aktivkohlefilterelemente. Dort gilt die Regel:

**Standzeit der Elemente max. 1.500 Betriebsstunden bzw. 3 Monate, abhängig von der Eintrittstemperatur und dem Ölgehalt mitunter sogar deutlich geringer.**

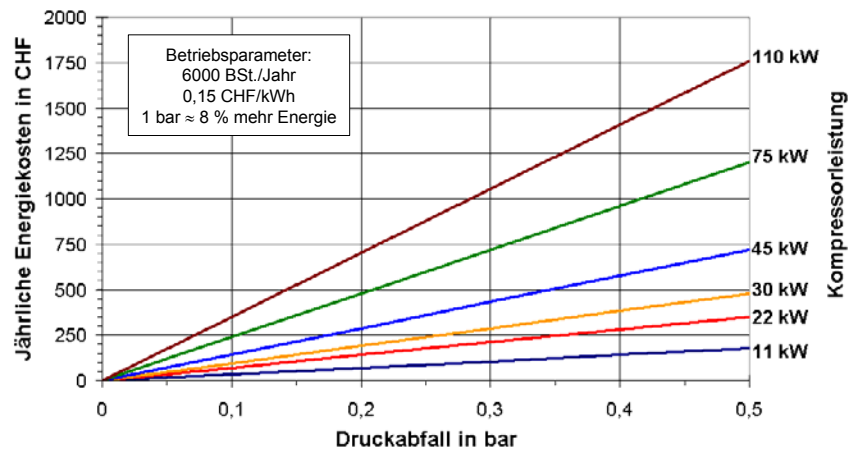


Abb. 6: Energiekosten durch Druckabfall

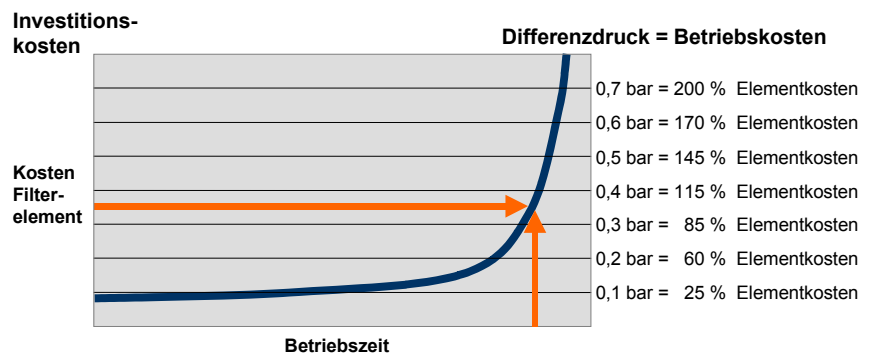


Abb. 7: Typischer Differenzdruckverlauf; Energiekosten in Verhältnis zu Filterelementkosten

Bleibt zuletzt der Punkt der Betriebssicherheit eines Filters. Dieses Kriterium hängt primär von der Qualität der eingesetzten Werkstoffe, der Qualität der Herstellung und den konstruktiven Eigenschaften des Filters ab. Hier ist individuell der Aufbau der Filter zu bewerten. Zusammenfassend die Kriterien für einen Filter:

**Filtrationsleistung  
+ Betriebssicherheit  
+ Differenzdruck  
= Gesamtbetriebskosten**

Die Summe dieser drei Kriterien bestimmt dann die Gesamtbetriebskosten des Filters, Ausfallkosten durch unzureichende Filtrationsleistung bzw. durch ein Versagen des Filters bereits eingeschlossen.

## Vorabscheidung

Der erste Aufbereitungsschritt in einem Druckluftsystem ist die Abscheidung von freiem Kondensat in der Druckluft. An dem Kompressorausstritt wird hierzu ein Zyklonabscheider oder ein Druckbehälter verwendet. Der **Druckbehälter** ist hier das einfachste System. Durch die Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit und eine Abkühlung der Druckluft an der grossen Behälteroberfläche sammelt sich das Kondensat am unteren Behälterboden und kann abgeleitet werden. Der **Zyklonabscheider** nutzt mit seinem Wirbeleinsatz die Massenträgheit zur Abscheidung. Beide Systeme verbessern die Leistungsfähigkeit der Druckluftaufbereitung, da erhebliche Mengen Kondensat hier abgeleitet werden. Beide Komponenten ersetzen keine Drucklufttrocknung, da nach diesen Abscheidern die Druckluft mit 100 % Wasserdampf gesättigt ist und durch jede weitere Abkühlung wieder freies Wasser ausfällt.

## Kondensattechnik

Ein zwangsläufig anfallendes Nebenprodukt bei jeder Druckluftherzeugung ist Kondensat. Dieses Kondensat entsteht durch die in der angesaugten Luft enthaltene Luftfeuchtigkeit. Bei der Verdichtung und damit verbundenen Temperaturerhöhung liegt diese Feuchtigkeit zunächst als Dampfphase vor. Da nach der Verdichtung nur noch ein Bruchteil des ursprünglichen Volumens vorhanden ist, kommt es zur Übersättigung der Luft. Bei Abkühlung fällt die Luftfeuchtigkeit als

Kondenswasser aus. Dieses Kondensat enthält ausser Wasser und Öl weiterhin alle durch den Verdichter angesaugten Bestandteile der Umgebungsluft. Diese werden aufkonzentriert und führen zur Kontamination des Kondensates.

Folgen des Kondensates auf die Druckluftanlage:

Kondensat, egal ob ölhaltig oder ölfrei, führt zu starken Korrosionsschäden im Leitungsnetz sowie bei den nachgeschalteten Prozessen. Während ölfreie Kondensate aufgrund des pH-Wertes mehr säureartig wirken, führen ölhaltige Kondensate mehr zum Verharzen und Verkleben. Die geforderte Luftqualität, auch bei geringer Klasse, kann nicht mehr erreicht werden.

Wo fällt das Kondensat an?

Kondensat fällt immer dann an, wenn die Temperatur in der Druckluft den Drucktaupunkt unterschreitet. Das geschieht in Nachkühlern, Kesseln, Zyklonabscheidern, Filtern, Trocknern sowie in den Leitungsnetzen. Die grössten Mengen Kondensat werden am Punkt des grössten Temperaturgefälles nach der Verdichtung abgegeben.

## Kondensatableitung

Aufgrund der hohen Kosten durch Folgeschäden muss der Kondensatableitung in der Druckluft ein sehr hoher Stellenwert zugeordnet werden. Bei der Kondensatableitung sind drei Verfahren üblich:

Schwimmersteuerung:

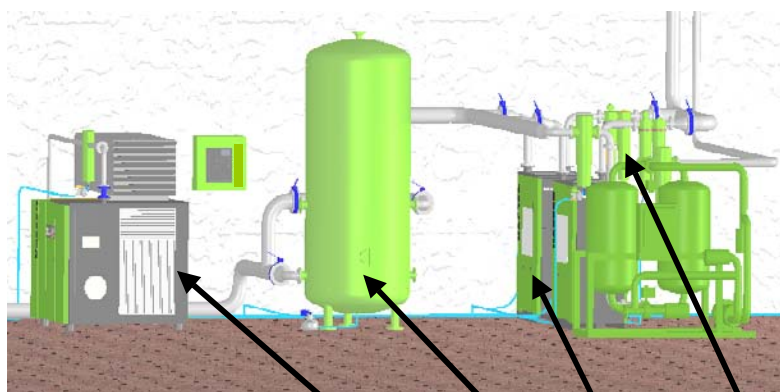
Das Kondensat wird in einem Sammelbehälter aufgefangen. Je nach Kondensatanfall öffnet ein Schwimmermechanismus ein Ventil.

- + Geringe Investition
- hohe Schmutzempfindlichkeit
- keine Überwachungsmöglichkeiten.

Zeitgesteuerte Ventile:

Ein über eine Zeitsteuerung geschaltetes Ventil öffnet in einem festen Intervall.

- + grosse Öffnungsquerschnitte
- + auch in Hochdruckversion verfügbar
- Druckluftverlust
- hoher Energieaufwand
- keine Überwachungs- und Funktionskontrolle.



| Kondensatanfall je 10 Normkubikmeter im | Zyklonabscheider Nachkühler | Kessel               | Druckluft-Kältetrockner | Filter             |
|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| Winter                                  | 25 g/m <sup>3</sup>         | 3,5 g/m <sup>3</sup> | 3,5 g/m <sup>3</sup>    | - -                |
| Frühjahr/Herbst                         | 28 g/m <sup>3</sup>         | 6 g/m <sup>3</sup>   | 9,5 g/m <sup>3</sup>    | 2 g/m <sup>3</sup> |
| Sommer                                  | 53 g/m <sup>3</sup>         | 9,5 g/m <sup>3</sup> | 21,5 g/m <sup>3</sup>   | 3 g/m <sup>3</sup> |

Abb. 8: Kondensatanfall nach Jahreszeiten

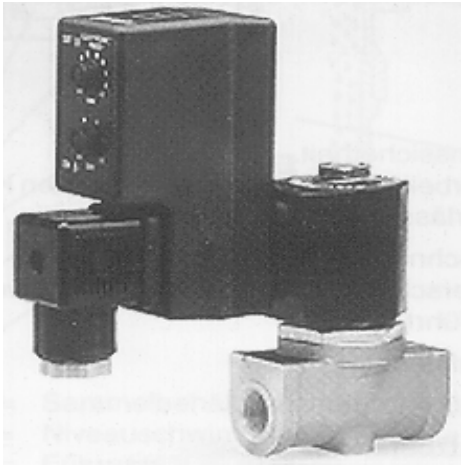


Abb. 9: Zeitgesteuertes Ventil

#### Elektronisch niveaugeregelte Ableiter:

Ein im Kondensatsammelraum befindlicher Sensor leitet bei Erreichung eines Sollwertes die Entleerung des Kondensatableiters ein.

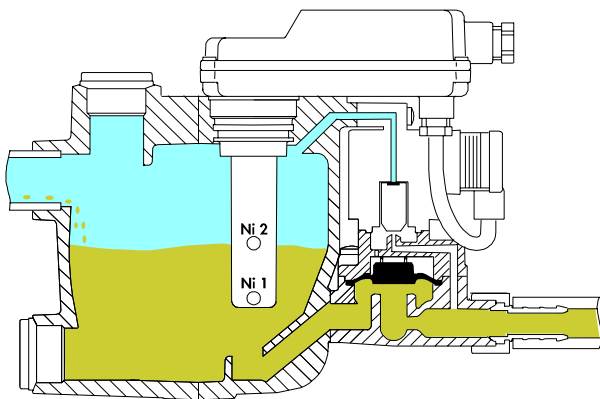


Abb. 10: Niveaugeregelter Ableiter

- + Energiesparen
- + keine Druckluftverluste
- + Störmeldungen und Alarmfunktionen.

#### Kondensataufbereitung

Kompressorenkondensat ist im Sinne des Gesetzgebers ein besonders überwachungsbedürftiger Abfall. Für die Aufbereitung der Kondensate stellt der Gesetzgeber zwei Möglichkeiten zur Wahl. Entweder die sachgerechte Entsorgung durch legitimierte Fachfirmen, oder eine Aufbereitung vor Ort mit geeigneter und zugelassener Kondensataufbereitungstechnik. Kondensate liegen entweder als disperses Öl-Wassergemisch oder stabile Emulsion vor. In der Praxis haben sich die folgenden Verfahren durchgesetzt.

#### Statische Öl-Wasser-Trennsysteme:

Bei diesem Verfahren wird das Kondensat in einem Trennbehälter einer definierten Verweilzeit ausgesetzt. Die leichteren Ölbestandteile steigen auf und setzen sich an der Oberfläche ab. Feine Restbestandteile und sonstige Substanzen werden in einer nachgeschalteten Aktivkohlestufe ausfiltriert. Dieses Verfahren ist immer dann ausreichend, wenn das Kondensat in disperser Form vorliegt.

- + Einfaches System
- + schnelle Amortisierung.

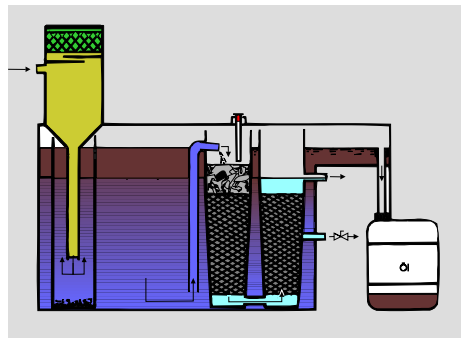


Abb. 11: Statisches Öl-Wasser-Trennsystem

#### Emulsion-Spaltanlagen auf Adsorptionsbasis:

Bei diesem Verfahren wird dem vorgereinigten Kondensat ein Reaktionstrennmittel auf Tonerdebasis zugefügt. Im Trennmittel enthaltene Elektrolyte brechen die Öl-Wasser-Bindung auf und spalten somit die Emulsion. Die Ölsubstanzen und sonstigen Bestandteile des Kondensates werden von der Tonerde adsorbiert und aus dem Wasser ausfiltriert. Nur der entstandene Reststoff wird der Entsorgung zugeführt.

#### Ultrafiltration:

Bei der Ultrafiltration wird das Kondensat im Kreislauf unter Druck durch eine Membrane mit definierter Porenweite filtriert. Dabei werden die Ölbestandteile zurückgehalten und aufkonzentriert, während das Wasser gereinigt wird. Das Wasser wird auch hier ohne eine weitere Filtration dem Abwassersystem zugeführt. Das Emulsionskonzentrat wird der Entsorgung zugeführt.

In jedem Fall muss beim Kauf von Geräten und Austauschteilen auf die bauaufsichtliche Zulassung geachtet werden, da ansonsten eine kostspielige Einzelabnahme der Geräte durch die örtlichen Behörden durchgeführt werden muss.

## Fazit

Druckluftaufbereitung in Druckluftnetzen ist heute Stand der Technik. Die Grundanforderung an diese Aufbereitungstechnik ist die zuverlässige und hochgradige Beseitigung von prinzipbedingten Verunreinigungen und Feuchtigkeit aus der Druckluft. Diese Verunreinigung führt zu Qualitätsminderungen und Störungen bis hin zum Produktionsausfall oder der Unbrauchbarkeit von Produkten. Wie aufwendig diese Aufbereitung sein muss und welche Betriebskosten dafür aufzuwenden sind, kann durch einen Vergleich der am Markt befindlichen Produkte und die Auswahl der am besten für eine Anwendung geeigneten Systeme deutlich beeinflusst werden.

Im Bereich der Druckluftaufbereitung gilt es vor allem die optimale Qualität zu erreichen. Energie- und betriebskostenoptimal ist es, die Anforderung der Anwendung zu erfüllen. Über- und Unterschreitungen dieser Anforderung erfordern erhöhte Betriebs- oder Energiekosten. Abb. 12 und 13 geben einen Überblick, mit welcher Reihenfolge und Auswahl von Aufbereitungsprodukten entsprechende Druckluftqualität erreicht werden kann.

Das vorhandene Einsparpotenzial liegt dabei pro Teilkomponente bei bis zu mehreren Tausend Franken. Speziell durch den regelmässigen Wechsel der Filterelemente innerhalb der vorgeschriebenen Intervalle werden deutliche Einsparungen erzielt und somit die Betriebskosten minimiert.

Die ernsthafte Auseinandersetzung mit der installierten oder neu zu planenden Druckluftanlage ist eine Investition, die sich mitunter sehr schnell amortisiert hat.

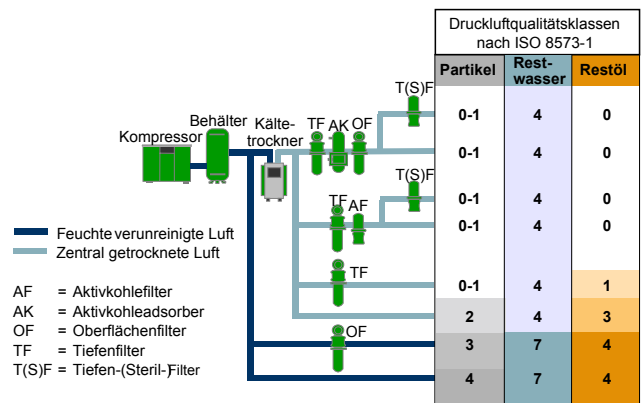


Abb. 12: Druckluftqualitäten bei Einsatz von Kältetrocknern

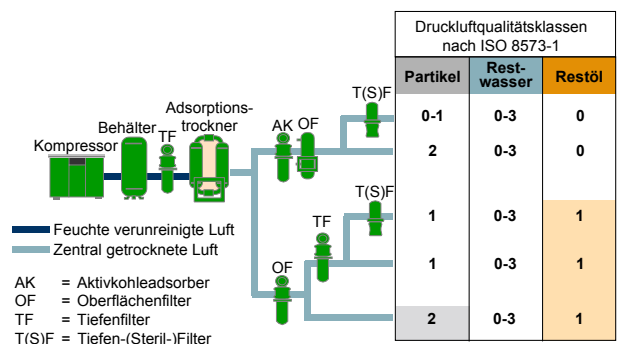


Abb. 13: Druckluftqualitäten bei Einsatz von Adsorptionstrocknern

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, Promatic, Servatechnik, Vektor.

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

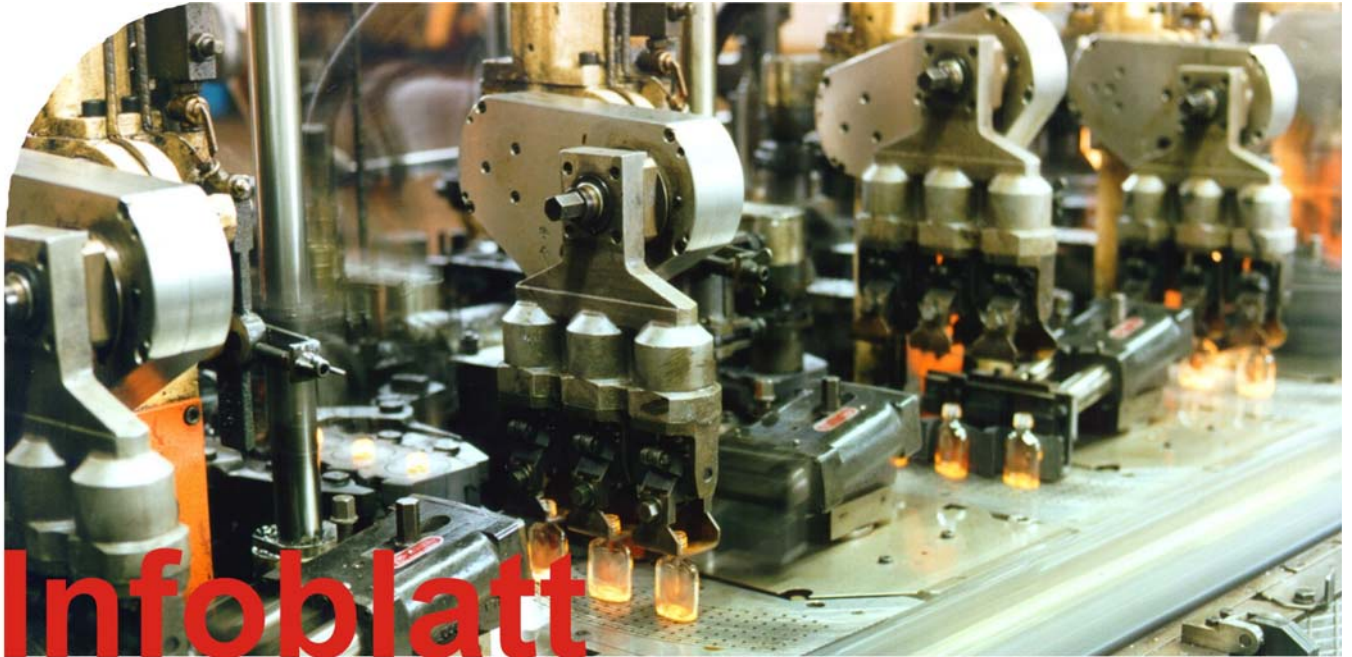
Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und 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



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





# Infoblatt Druckluftverteilung

## **Energieeinsparung bei der Druckluftverteilung**

Eine optimale Druckluftverteilung ist eine Energieleitung wie ein Stromkabel, die möglichst verlustfrei Druckluftenergie transportiert, d. h. mit geringster Reduzierung

- des Fließdruckes (Druckabfall durch Leitungsempunkte)
- der Luftmenge (Leckagen) und
- der Luftqualität (Rost, Schweisszunder, Wasser etc.)

### **Leitungsführung**

In der Praxis werden Druckluftleitungen (Haupt- und Zuführungsleitungen) häufig aus Unkenntnis und unter Ausserachtlassung von energetischen Gesichtspunkten ausgewählt, mit dem Ergebnis, dass in 80 von 100 Betrieben (EU-Studie) oft 50 % und mehr der Druckluftenergie vernichtet werden, bevor sie zu den Verbrauchern gelangt.

Die richtige Planung eines Netzes hat direkten Einfluss auf die Leistung der Maschinen und die Kosten der Druckluftproduktion. Suchen Sie den richtigen Durchmesser unter Berücksichtigung des gewünschten Volumenstroms und des zulässigen Druckabfalls aus. Der Druckabfall vom Druckluftbehälter zur Kupp-

lung an der Wandscheibe sollte 0,1 bar nicht übersteigen. Bei optimal ausgelegten Druckluftnetzen unterteilt man den Druckabfall in:

- $\leq 0,03$  bar für die Hauptleitung
- $\leq 0,03$  bar für die Verteilerleitung
- $\leq 0,04$  bar für die Anschlussleitung
- $\leq 0,3$  bar für das Anschlusszubehör.

**Genauso wie die Wirtschaftlichkeit der Verdichter dokumentiert ist, sollte auch die Leistungsfähigkeit der Druckluftverteilung dokumentiert sein – das Fehlen einer Dokumentation führt immer zur Energievergeudung.**

### Hauptleitung (HL):

Sie verbindet die Erzeugerstation (Kompressorenraum) mit dem Verteilernetz. Die Hauptleitung sollte so dimensioniert sein, dass für zukünftige Erweiterungen Reserven vorhanden sind.

### Verteilerleitung (VL):

Sie verteilt die Luft innerhalb eines Verbraucherabschnittes. Sie kann als Stich- oder Ringleitung bzw. als Ringleitung mit integrierten Stichleitungen ausgelegt werden.



**energieschweiz**

effiziente Druckluft – eine Kampagne von EnergieSchweiz  
www.druckluft.ch

## Begriffserklärung entscheidender Faktoren

### Fliessdruck

Trotz jahrzehntelanger Aufklärungsarbeit der Hersteller wird die Mehrzahl aller Druckluftwerkzeuge nur mit einem Fliessdruck zwischen 3 und 5 bar beaufschlagt, das sind 1-3 bar zu wenig. Die Manometer an den Reglern und Wartungseinheiten vor den Werkzeugen zeigen den statischen Druck an. Doch nicht der treibt die Werkzeuge an, sondern der dynamische, der Fliessdruck.

Weitere Beeinträchtigungen des Fliessdruckes entstehen durch zu geringe Rohrquerschnitte und verwinkelte Rohrführungen. Bei der Auslegung müssen des weiteren für alle Verbinder die entsprechenden äquivalente Längen mit eingeplant werden.

### Luftmenge

Bei über Jahre „gewachsenen“ Druckluftverteilungssystemen aus unterschiedlichsten Werkstoffen, verschiedenen nicht optimalen Durchmessern, mehr oder weniger korrosionsfesten Materialien und unterschiedlichsten Verbindungsarten, kann die Leckagerate zwischen 25 und 35 % liegen. Leckagen kosten viel Geld. Sie sind die fleissigsten Verbraucher, die 365 Tage im Jahr arbeiten.

### Luftqualität

Wünschenswert sind korrosions- und oxydationsfeste Premium-Rohrsysteme, die speziell für Druckluftanwendungen entwickelt wurden. Ein System sollte so gewählt sein, dass die durch die Erzeugung und Aufbereitung erzeugte Luft durch die Rohre auch nach langer Zeit nicht in ihrer Qualität beeinträchtigt wird.

HL = Hauptleitung  
VL = Verteilerleitung  
AL = Anschlussleitung

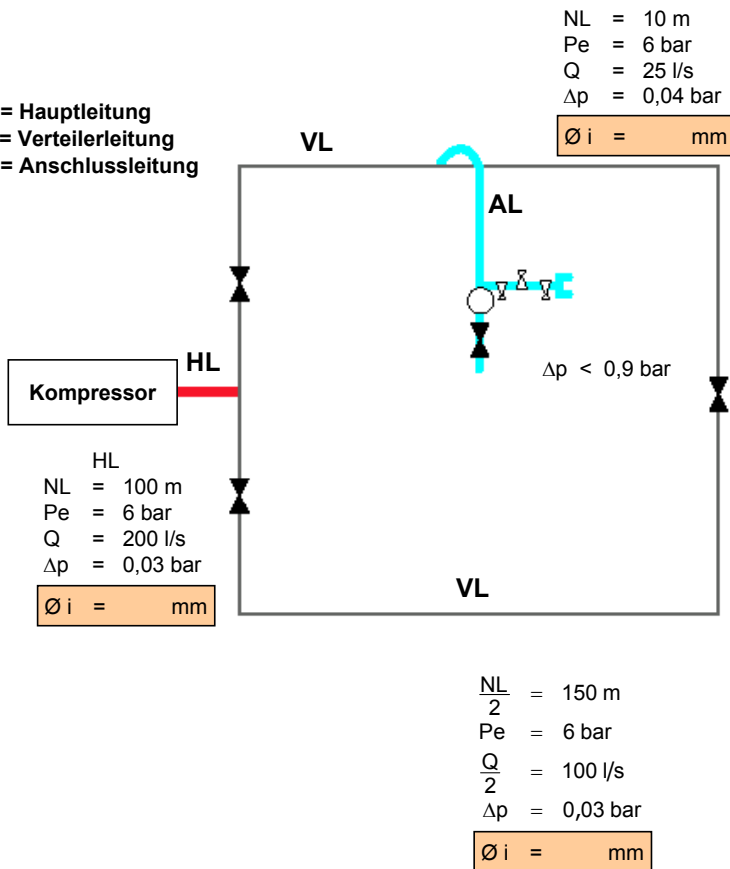


Abb. 1: Benennung der Leitungssegmente

### Anschlussleitung (AL):

Sie ist die Verbindung zwischen Verteilung und Maschinen- oder Anlagenzapfstelle. Die Anbindung der Anschlussleitung an der Verteilung soll nach oben aus der Verteilung geführt werden, um zu vermeiden, dass Kondensat mit der Luft austritt.

### Anschlusszubehör:

Diese Systemkomponenten sind häufig die kritischen Punkte eines Systems und bedürfen ebenfalls grosser Aufmerksamkeit. Kupplungen, Schläuche, Spiralen oder Wartungseinheiten führen häufig wegen falscher Auslegung zu eklatanten Energieverschwendungen. Zusätzlich finden sich hier auf kurzem Raum viele Verbindungen, die leakagebehaftet sein können.

| FlieBdruck<br>am Werkzeug<br>(P <sub>e</sub> bar) | Luft-<br>verbrauch<br>% | Massnahme            |                                                   |
|---------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
| 8,0                                               | 125                     | } Regler<br>drosseln | Energievergeudung                                 |
| 7,0                                               | 111                     |                      |                                                   |
| 6,3 bar                                           | 100 %                   | optimale Leistung    |                                                   |
| 6,0                                               | 96                      | } Druck<br>erhöhen   | überproportionaler<br>Produktivitäts-<br>rückgang |
| 5,0                                               | 77                      |                      |                                                   |
| 4,0                                               | 61                      |                      |                                                   |
| 3,0                                               | 44                      |                      |                                                   |

Tab. 1: Beziehung zwischen FlieBdruck und Luftverbrauch

| Loch-<br>durch-<br>messer<br>mm | Luftverlust                   |                                | Energieverlust                  |                                  | Kosten*                       |                                |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                                 | bei 6 bar <sub>e</sub><br>l/s | bei 12 bar <sub>e</sub><br>l/s | bei 6 bar <sub>e</sub><br>kWh/h | bei 12 bar <sub>e</sub><br>kWh/h | bei 6 bar <sub>e</sub><br>CHF | bei 12 bar <sub>e</sub><br>CHF |
| 1                               | 1,1                           | 2,0                            | 0,4                             | 1,1                              | 470                           | 1 300                          |
| 3                               | 9,7                           | 18,0                           | 3,5                             | 9,7                              | 4 200                         | 11 700                         |
| 5                               | 26,9                          | 50                             | 9,7                             | 27,0                             | 11 700                        | 32 500                         |
| 10                              | 107,8                         | 200,1                          | 38,8                            | 108,1                            | 46 600                        | 130 000                        |

(\*) kW x 0,15 CHF/kWh x 8 000 Bh/a (Werte gerundet)

Tab. 2: Jährliche Energiekosten durch Leckage (ohne Abschreibung und Wartung)

| Rohr<br>Nennweite                                                 | DN 50  | DN 65  | DN 80  | DN 100 |
|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Druckabfall [bar]</b>                                          | 0,60   | 0,16   | 0,07   | 0,02   |
| <b>Investition [CHF]</b>                                          | 7 800  | 10 200 | 12 000 | 15 300 |
| <b>Energiekosten zur Kompensation des Druckabfalls [CHF/Jahr]</b> | 5 149  | 1 400  | 622    | 164    |
| <b>Gesamtkosten über 10 Jahre [CHF]</b>                           | 59 294 | 24 197 | 18 221 | 16 942 |

Tab. 3: Folgekosten durch zu geringe Durchmesserwahl

### Speicherung

Ein weiterer Einflussfaktor für die Luftqualität und die Luftmenge ist die Speicherung der Druckluft. Druckluftspeicher direkt nach der Erzeugung, auch "zentrale Speicherung" genannt, beeinflussen die Luftqualität insoweit, als das direkte Kondensat abgeschieden wird. Des Weiteren wird durch einen Speicher die Möglichkeit geboten, eine wesentlich grössere Luftmenge innerhalb kurzer Zeit anzufordern, als dies der Kompressor schlagartig leisten könnte. Hier gibt es – je nach Einsatzfall im Betrieb – auch die Möglichkeit, "dezentrale Speicher" direkt am Verbraucher einzusetzen. Weitere Informationen zum Thema Speicherung von Druckluft finden Sie auch in den Infoblättern Steuerung und Aufbereitung.

### Kosten

Bei Vergleichen der Investitionskosten sollten Material und Montagekosten der verschiedenen Rohrsysteme verglichen werden, da es keine allgemeingültige Formel für das „richtige Rohrmaterial“ gibt. Daher sollte der individuelle Bedarfsfall mit seiner jeweiligen technischen Anforderung im Vordergrund stehen.

Bis auf Edelstahl liegen die Kosten unterschiedlicher Rohrwerkstoffe nicht so weit auseinander, so dass bei den jährlichen Abschreibungsbeträgen die Unterschiede so gering sind, dass sie negiert werden können.

Entscheidend ist aber auch die Wahl der richtigen Nennweite. Hier entstehen bei zu geringen Durchmessern erhebliche Folgekosten. Wer hier bei den Anschaffungskosten spart, muss bei den Folgekosten tief in die Tasche greifen (s. Tab. 3).

### Sanierung im Bereich der Druckluftverteilung

Generell sollte aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen nicht lange mit einer Leitungskontrolle gewartet werden. Doch auch dabei sollte Schritt für Schritt vorgegangen werden, und blinder Aktionismus vermieden werden.

Grosse Einsparpotenziale in der Druckluftverteilung können auf Basis einer schnellen Grobdiagnose wie folgt ermittelt werden:

- Luftqualität
- Leckagen
- Druckabfällen

Entspricht die **Luftqualität** den Anforderungen?

Dies ist neben der Art der Druckluftaufbereitung vor allem auch eine Frage, ob das Leitungssystem korrosionsfest ist. Entspricht die Luft an den Verbrauchern noch den (produzierten) Werten am Ausgang der Erzeugung? Ölkohleablagerungen/Wasseranfall, Rost oder Zinkgeriesel (wenn auch nur in Teilbereichen) machen oft neben einer zentralen Druckluftaufbereitung zusätzlich teure Wartungseinheiten an jeder Entnahmestelle erforderlich.

### Weist das System **Leckagen** auf?

Durch eine Lastaufzeichnung der Kompressoren, die dann mit den vorhandenen Abnahmen verglichen wird, kann die Leckagemenge bestimmt werden. Dringend zu berücksichtigen ist hierbei aber, dass sowohl bei „geöffneten“ wie auch „geschlossenen“ Verbrauchern gemessen wird, da Leckagen am Anschlusszubehör und in den Maschinen diese Messungen verfälschen könnten.

Unter „Leckagen“ könnte man auch die Folgen von Überverdichtungen in der Auswirkung an den Werkzeugen betrachten. Ein Werkzeug, das 6 bar benötigt, aber mit 7 oder 8 bar beaufschlagt wird, vergeudet erhebliche zusätzliche Luftmengen.

### Wie hoch ist der **Druckabfall**?

Dieser kann durch zu enge Querschnitte entstehen. Bei „gewachsenen“ Netzen wurden im Laufe der Zeit immer mehr Verbraucher an immer längere Hauptleitungen angeschlossen, ohne dass diese den Anforderungen entsprechend neu dimensioniert wurden. Eventuell wurde sogar nur die Kompressorenleistung erhöht. Nach Vorlage der Diagnose, unter Berücksichtigung aller drei Kriterien, kann eine wirtschaftlich sinnvolle Sanierung festgelegt werden: Entweder sind Teilbereiche zu sanieren oder bei Zusammentreffen aller Negativerscheinungen ist möglicherweise unter Kosten-/ Nutzensgesichtspunkten ein neues Netz die wirtschaftlichste Lösung. Solche Sanierungen kosten oft erheblich weniger als die jahrelange Energievergeudung – die Amortisationszeiten sind sehr kurz.

Ein wirtschaftliches Konzept kann von jedem Druckluftfachbetrieb erstellt werden!

**Oftmals ist eine akribische Betrachtung des kompletten Systems, von der Erzeugung und Aufbereitung über die Verteilung bis hin in die Mechanismen der Maschine, durch Messungen ein (zeit-)aufwendiges Muss, welches sich aber schnell und auf Dauer für einen Betrieb – gleich welcher Art und Grösse – gewinnbringend auszahlt.**

**Der Pflege der teuersten Energiequelle, die zudem produktionsentscheidend ist, sollte die Sorgfalt entgegengebracht werden, die sie auch tatsächlich verdient.**

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 Stromsparerfonds 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, Prematic, Servatechnik, Vektor.

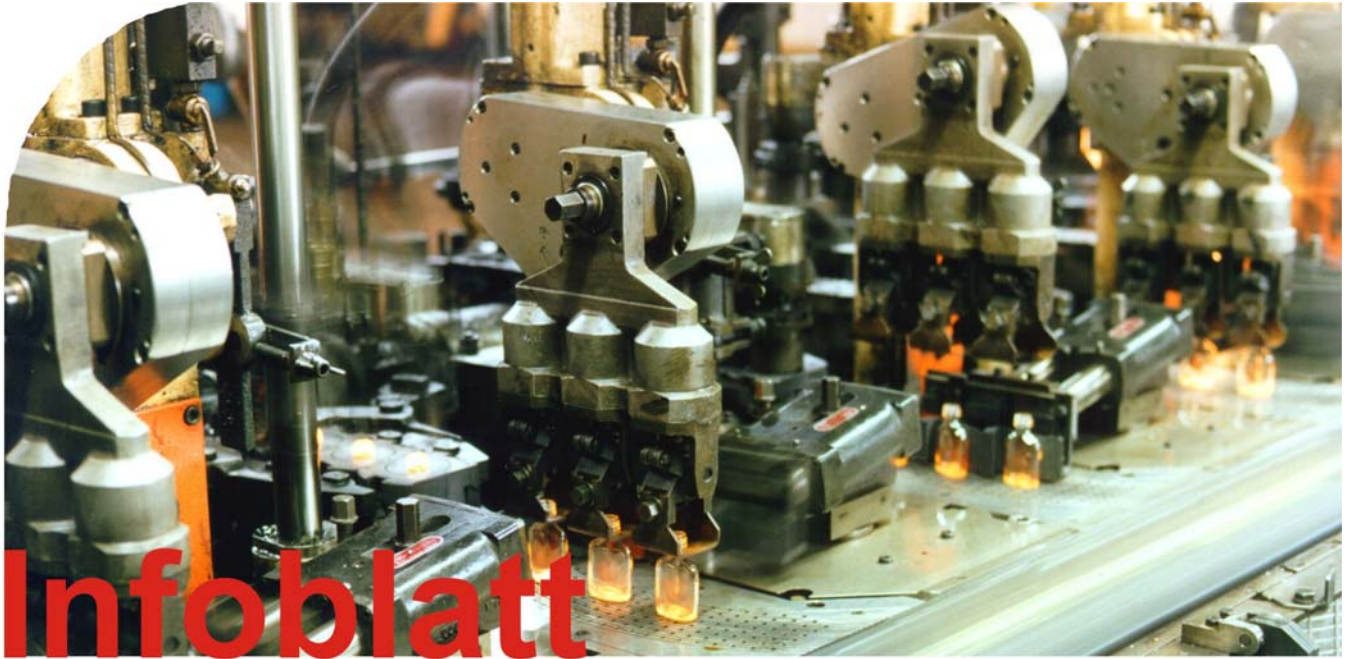
Weitere Informationen finden Sie unter [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)

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



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



# Gesamtsystemoptimierung

## Stationen der Optimierungsbetrachtung:

1. **Bestandsaufnahme: Beurteilung des Ist-Zustands**
2. **Engineering – Konzeption**
3. **Gesamtsystembetrachtung**
4. **Schnittstellenreduzierung**
5. **Wirtschaftlichkeit der Druckluftherzeugung**
6. **Systemnachführung – Systemoptimierung**
7. **Outsourcing der Druckluftversorgung**
8. **Organisatorische Änderungen.**

Die Optimierung von Komplettsystemen ist im Zeitalter der Rationalisierung in Industrieanlagen auch in der Drucklufttechnik ein sehr wichtiges Werkzeug zur Effizienzsteigerung.

Erscheint es zu Beginn einer Betrachtung meist, als wäre in den vergangenen Jahrzehnten die Planung und Projektierung der entsprechenden Druckluftanlage und eventueller Erweiterungen zu kurz gekommen, so erweist sich die Problematik bei näherer Betrachtung doch als vielschichtiger. So fiel beispielsweise in der Vergangenheit die Druckluftanlage oftmals in die Zuständigkeit von gänzlich „technikfernen“ Abteilungen und wurde dort so „nebenbei“ mit-

betreut. Dieser „Wildwuchs“ wurde noch durch den Vorteil der Druckluft „Ihrer Unfallsicherheit“ gefördert bzw. verstärkt. Dass die Druckluft eine der teuersten Energien ist, wurde dabei oftmals aus den Augen verloren.

Durch die Betrachtung des Gesamtsystems mit seinen vielfältigen Stellschrauben sind, teilweise mit geringem Aufwand, ganz beachtliche Einsparungen zu erzielen. Hierbei gibt es aber einige Dinge zu beachten, wobei hier die Lieferung von Denkanstössen und Hilfestellungen für die Praxis im Vordergrund steht.

Im Folgenden werden einige Möglichkeiten der Anlagenoptimierung im Rahmen einer Gesamtsystembetrachtung dargestellt.

## **Bestandsaufnahme: Beurteilung des Ist-Zustands**

### **Das Druckluftsystem besteht aus den Bereichen:**

- **Erzeugung**
- **Aufbereitung**
- **Verteilung**
- **und zugehörige Verbraucher.**

Zur Beurteilung des Anlagenzustandes sollte durch die Aufnahme des Anlagen-, Raum- und Rohrschemas ein erster Überblick über den Ist-Zustand der

Anlage gewonnen werden. Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Messtechnik (Abb. 1), können die relevanten Parameter wie Volumenstrom, Fliessdruck, Druckluftqualität (Temperatur, Feuchte, Druck) aufgenommen werden. Zusätzlich können alternativ Werte für die Stromaufnahme der Verdichter (Last-/Leerlaufmessungen), mit anschliessender Darstellung von Lastprofilen oder der Messung von Leckagemengen vorgenommen werden (siehe dazu das Infoblatt Messtechnik).



Abb. 1: Messtechnik

Gerade auf die vorherrschenden Druckverhältnisse muss dabei ein starkes Augenmerk gelegt werden. Oftmals ist der wichtigste Abnehmer am letzten Ende des Netzes (eventuell sogar über eine Stichleitung versorgt) angeordnet und damit bestimmend für den Erzeugungsdruck der Station. Teilweise wird auch eine „historisch entwickelte Druckhöhe“ gefahren, die im Wesentlichen aus Netz- und Anlagenerweiterungen entstanden ist, die bei näherer Betrachtung und zum Teil durch geringe Änderungen im Netz, z. B. durch Ringschlüsse reduziert werden können.

Aus den zuvor genannten Einzelmessungen können wertvolle Informationen zum Anlagenzustand (z. B. Zu- und Abluftprobleme, Überlastung von Aufbereitungseinheiten, Kühlung usw.) gewonnen werden. Zu überprüfen sind in diesem Zuge auch die Vorgaben für die benötigte Druckluftqualität. Alle Forderungen, die vom üblichen Standard (ölgeschmierte Luft mit Kältetrockner aufbereitet, mit einfachem Filter mit  $1\text{ }\mu\text{m}$  Partikelgrösse und  $1\text{ mg/m}^3$  Restölgehalt, Drucktaupunkt  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) abweichen, erfordern zusätzliche Investitionen und Betriebskosten durch dann notwendige Aufbereitungsmassnahmen (siehe Infoblatt Aufbereitung).

Sobald die Anforderungen an die Menge, Druckluftqualität und erforderlicher Verfügbarkeit und der damit verbundenen Redundanz geklärt sind, kann der Anlagenbestand daraufhin geprüft werden, was für den weiteren Betrieb der Anlage hinsichtlich Zustand, Altersstruktur, Energieeffizienz usw. noch weitergenutzt werden kann.

Für die Beurteilung des nachgeschalteten Druckluftnetzes ist es sinnvoll, im Rahmen einer Leckagebetrachtung die auftretenden Netzverluste, die im Normalfall zwischen 15 und 40 % (Erfahrungswerte) liegen werden, zu beziffern.

Die Erfassung der Leckagen kann entweder über die Nachspeisung des Netzes bei Betriebsstillstand oder, sofern dies nicht möglich ist, während des Betriebes aus den gemessenen Druckkurven errechnet werden. Hierzu ist ein mathematisches Auswerteverfahren verfügbar. Zur Abschätzung des Leckagepotenzials ist bei laufendem Betrieb ebenfalls die Leckagedetektion mittels Ultraschalltechnologie hilfreich.

Ein weiterer Aspekt stellt die übergeordnete Steuerung von mehreren Verdichtern in einer Station und damit in einem Netz dar. Hier sind insbesondere in den letzten Jahren mit der integrierten Prozessortechnik sehr grosse Innovationen am Markt verfügbar, so dass eine separate Betrachtung der Steuerung und Leittechnik auf jeden Fall Sinn macht.

Nach aktuellen Untersuchungen werden Leerlaufzeiten, beispielsweise bei unregelmässigen Schraubenverdichtern von bis zu 30 % und elektrischer Leistungsbedarf im Leerlauf von ebenfalls 30 % der Antriebsleistung als Ansatzpunkte für eine mögliche Optimierung in Verbindung mit dem Einsatz modernster Steuerungs- und Regelkonzepte angeführt (siehe Infoblatt Steuerung).

Die Bestandsaufnahme sollte durch einen detaillierten Bericht, über sämtliche durchgeführte Arbeiten und Vorgänge mit entsprechender Bebilderung und Darstellung von Messkurven, P&IDs (evtl. durchgeführter Potenzialanalysen), sowie der Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen abgeschlossen werden.

## Engineering – Konzeption

Bei der Umsetzung der aus der Bestandsaufnahme erlangten Kenntnisse muss ein ganz besonderes Augenmerk auf die Gesamtkonzeption, (gewissermassen ein Blick über den Tellerrand hinaus) gelegt werden:

Die Rahmenparameter, wie z. B. die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften und eines evtl. vorhandenen Entsorgungskonzepts (z. B. für Kondensat) müssen zwingend eingehalten werden.

Das Energiekonzept ist nicht als abgeschlossene Einheit zu betrachten, sondern muss in Verbindung mit einer evtl. möglichen Wärmerückgewinnung und Synergieeffekten anderer benötigter Energien, wie z. B. Stickstoffbedarf betrachtet werden. Ferner kommt es bei Erweiterungen, Erneuerungen und Neuerrichtungen darauf an, dass schon bei der Auswahl der einzelnen zum Einsatz kommenden Komponenten einschliesslich Redundanzen, richtig, im Sinne des Gesamtkonzeptes, ausgewählt wird.

Anhand moderner integrierter Leittechnik (Stichworte Tele-Service, Fernüberwachung und Fernsteuerung) kann die Verfügbarkeit der Anlage deutlich erhöht werden. Dabei ist i. d. R. die grösste Verdichtereinheit abzusichern bzw. für diese die entsprechende Anlagenredundanz bereitzustellen. Eine entsprechende Ausfallsicherheit kann durch geschickte Verschaltung des Verteilnetzes (Vermaschung) erzielt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Gesamtkonzeption des Wartungs- und Servicekonzeptes, die ganz wesentlich die anfallenden Folgeaufwendungen mitbestimmt.

### **Gesamtsystembetrachtung**

Bei der Betrachtung beispielsweise der betrieblichen Messtechnik muss ein sehr starkes Augenmerk auf den sinnvollen Einsatz der Technik gelegt werden. Es ist festzulegen, welche permanenten Messungen von z. B. Energieaufnahme, Leckageüberwachung, Druckverluste, spez. Gesamtleistung zur Systemüberwachung neben den „normalen“ Betriebsmessungen wie Volumenstrom, Druck und Drucktaupunkt vorgenommen werden sollen. Dabei ist entsprechend der Massnahmen sinnvollerweise eine Kosten-Nutzen-Analyse aufzustellen.

Hinsichtlich einer möglichen Steuerung gilt es zu prüfen, ob eine automatische Regelung bzw. eine stufenlose Regelung installiert werden sollte (siehe Infoblatt Steuerung).

*Anmerkung:* Gemäss der EU-Studie „Compressed Air Systems in the European Union“ ist durch den Einsatz von effizienten und übergeordneten Steuerungen ein Energieeinsparpotenzial von ca. 20 % realisierbar.

### **Schnittstellenreduzierung**

Ein weiterer wichtiger Punkt stellt auch die Überprüfung der organisatorischen Einordnung der Druckluftanlage dar. Hierbei sollte überprüft werden, ob es sinnvoll ist, die Druckluftstation in eine eigene organisatorische Einheit zu überführen. Ein grosser Vorteil ist dabei die Kostentransparenz und damit verbunden eine bessere Kostenkontrolle. Bisher wurde die Drucklufttechnik bewusst oder unbewusst auf verschiedene Konten gebucht, wodurch eine Überprüfung der angefallenen Kosten nur noch sehr schwer möglich war.

Dies ändert sich dann, wenn zur weiteren organisatorischen Verbesserung ein Projekt- und damit Kostenverantwortlicher eingesetzt wird.

Bei der Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen ist die langfristige Planbarkeit der Arbeiten von Vorteil. Dabei sollten in der Praxis die

notwendigen Checklisten und Wartungspläne frühzeitig erstellt werden, um damit die lückenlose Wartung der Anlagenteile zu gewährleisten (Stichwort Störungsmanagement).



Abb. 2: Druckluftanlage

### **Wirtschaftlichkeit der Druckluft-erzeugung**

Zur Feststellung der Wirtschaftlichkeit können die  $\text{m}^3$ -Kosten als Kennzahl für Energie/Wartung/Kapital herangezogen werden. Die Bestimmung der Komponenten durch die spezifische Leistung und Servicekosten ist ebenfalls möglich. Der Quervergleich mit anderen Verbrauchern bzw. Projekten mit anschließenden Optimierungsvorschlägen ist zu empfehlen.

Nach diesen Bewertungen sollte die Abschätzung des Potenzials unter Einbeziehung der Berechnung der zusätzlichen internen Kosten, der Betrachtung der Investitionskosten, der Bestimmung der Ersatzinvestitionen, der Berücksichtigung der Betriebskosten und der Berechnung der Wartungs- und Instandhaltungskosten erfolgen.

Als nächster Schritt ist die Durchführung der Bilanzierung der Druckluftanlage zu empfehlen. Dazu gehört die Ermittlung der spez. Kennzahlen, des Wirkungsgrades, samt zugehöriger Netzparameter.

Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz kann z. B. über eine Untersuchung der Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung erzielt werden. Ferner muss ein wesentliches Augenmerk bei der Systemoptimierung auf die missbräuchliche Verwendung der Druckluft, wie z. B. das Kühlen der Mitarbeiter an heissen Tagen usw. gesehen werden. Hierbei geht es um die Sensibilisierung des Personals für die Thematik.

Schliesslich folgt die Umsetzung von erzielten Verbesserungen in die Praxis.

## **Systemnachführung – Systemoptimierung**

Dazu ist es notwendig, die Grundsatzuntersuchungen wie Überprüfung der Energieeffizienz mit Alternativen und der Untersuchung vorhandener Energieformen wie z. B. von Kraft-Wärme-Kopplung durchzuführen. Verbunden damit ist aber die allgemeine Betrachtung der vorhandenen Betriebs- und Aufstellungsbedingungen und der Wartungsfreundlichkeit.

Es genügt nicht, das System nur einmalig zu optimieren. Vielmehr ist es notwendig, das System regelmässig an die sich ändernden Anforderungen aus der Praxis (Verbräuche, Netzdrücke usw.) anzupassen. Verursacht werden die Veränderungen im Netz durch nicht zentral koordinierte Umbaumassnahmen. Es ist daher sehr wichtig, dass interne Netzveränderungen melde-, besser noch genehmigungspflichtig sein müssen.

In der Praxis haben sich in der Vergangenheit auch immer wieder verschiedene Kontrollmechanismen, wie beispielsweise die Kostenkontrolle und Systeme zur Leistungserhaltung bewährt. Ein gutes Werkzeug ist die Prognostizierung des Systems, in der das Verhältnis der heutigen gegenüber der zukünftigen Anforderungen betrachtet werden.

## **Outsourcing der Druckluftversorgung**

Hier muss das Für und Wieder sorgfältig abgewogen werden. Für das Outsourcen der Drucklufttechnik spricht eine Garantie des Contractors auf die Energieaufnahme pro Nm<sup>3</sup> Druckluft. Damit steht es im Interesse des Contractors, dass die Anlage effizient läuft. Zusätzlich ist eine fachkompetente Betreuung der Anlage gewährleistet und das eigene Personal kann von artfremden Aufgaben entlastet werden.

Dagegen spricht, dass die Kernkompetenzen für die Druckluftoptimierung, für die Planung von Druckluft-Neuanlagen und für die Wartung der Druckluftanlagen beim Kunden verloren gehen. Bei Wiedereinbindung der Druckluftanlagen müssen die Kompetenzen neu aufgebaut werden. (Siehe hierzu den Contracting-Leitfaden.)

## **Organisatorische Änderungen**

Hierbei hat sich in der Praxis gezeigt, dass im Allgemeinen die Wertschätzung durch die Geschäftsführung für die Druckluftanlagen fehlt. Für diesen Umstand sind die Zuständigen grösstenteils aber selbst verantwortlich, da sie wichtige Vorgänge in der Druckluftanlage nicht an die Geschäftsleitung weitergeben und damit ein „Mauerblümchendasein“ führen.

Die Personalsituation muss beleuchtet werden. Nötigenfalls muss das Personal für die entsprechenden Aufgaben geschult werden. Eine weitere Möglichkeit ist auch die Einsetzung eines Druckluft-Beauftragten.

## **Fazit**

Neben dem Einsatz energieeffizienter Einzelkomponenten bei der Erzeugung, Aufbereitung, Verteilung und Nutzung der Druckluft kommt der optimalen Abstimmung aller Komponenten untereinander eine besondere Bedeutung zu. Die Summe effizienter Komponenten führt nicht zwangsläufig zu einem vernünftigen Gesamtergebnis. Das vorhandene Optimierungspotenzial ist dabei beträchtlich.

Hier ist sicher häufig professionelle Hilfe von aussen erforderlich, es kommt jedoch auch darauf an, die richtigen Fragen im Projektvorlauf, bei der Planung und Ausführung zu stellen.

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 Stromsparerfonds 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, Prematic, Servatechnik, Vektor.

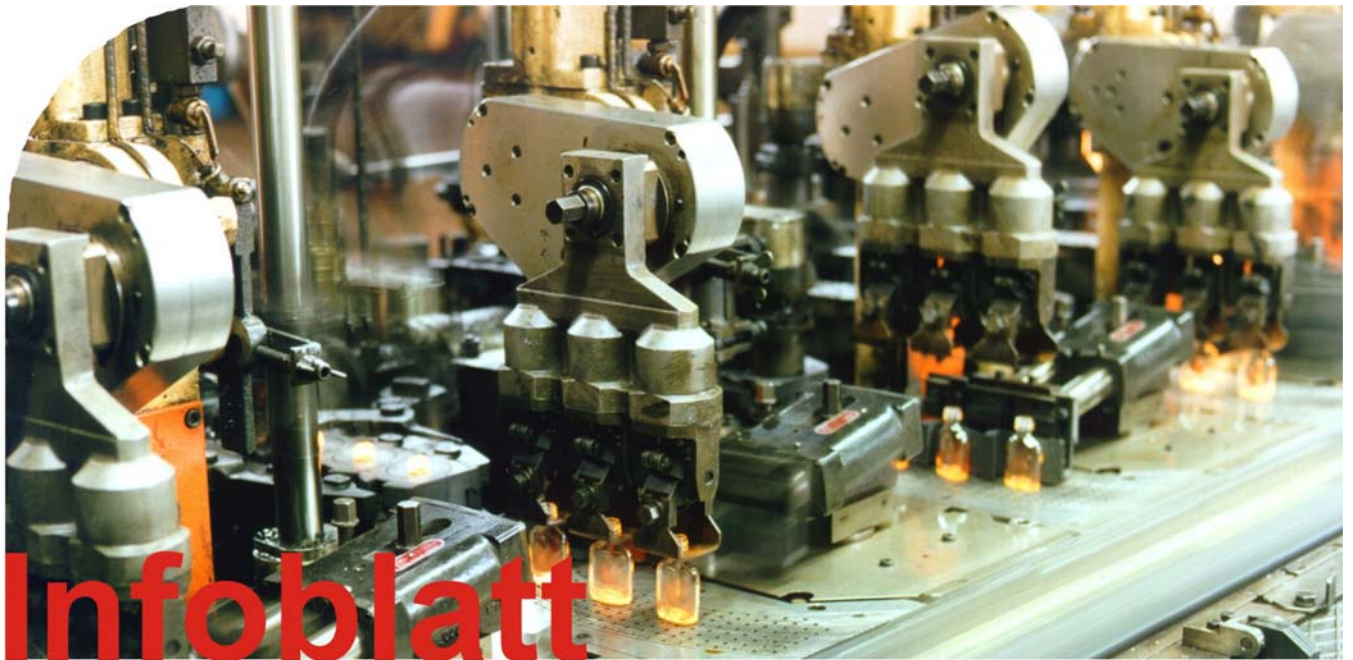
Weitere Informationen finden Sie unter [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch)

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



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



# Infoblatt Druckluftwerkzeuge

## Was „vor“ dem Werkzeug kommt

Die Druckluft als Energiequelle für Werkzeuge hat starken Einfluss auf die Effizienz der Arbeit, die mit dem Werkzeug verrichtet wird.

Massnahmen am Arbeitsplatz zur Optimierung der Druckluftversorgung des Werkzeugs können oft zu deutlicher Produktivitätserhöhung und Senkung der Energiekosten beitragen.

Wesentlich für die Effizienz ist eine korrekt ausgelegte Gesamtanlage, vom Kompressor bis zum Werkzeug. Viele Anlagen sind „gewachsene“ Gebilde, deren ältere Komponenten den aktuellen Gegebenheiten nicht immer angepasst wurden. Falsch dimensionierte oder zu lange laufende Kompressoren verursachen ebenso hohe Kosten, wie Leitungsverluste und Leckagen.

Nähere Informationen zur Auslegung der einzelnen Komponenten und zu Abstimmung aufeinander finden Sie in den Infoblättern Druckluftherzeugung, Steuerung und Druckluftverteilung.

## Massive Produktivitätsverschlechterung durch zu geringen Arbeitsdruck!

Druckluftwerkzeuge sind auf einen bestimmten Arbeitsdruck ausgelegt (üblich 6,3 bar). Zu beachten ist, dass es sich dabei um Fließdruck handelt und nicht

um den – oft an der Wartungsstation angezeigten – statischen Druck.

Der Fließdruck kann entweder durch ein beim Arbeiten vor das Werkzeug geschalteten Manometer oder durch ein Werkzeugsimulator gemessen werden. Das Unterschreiten des optimalen Arbeitsdruckes führt zu verminderter Leistung des Werkzeuges. Als Beispiel hier der Materialabtrag einer Winkelschleifmaschine:

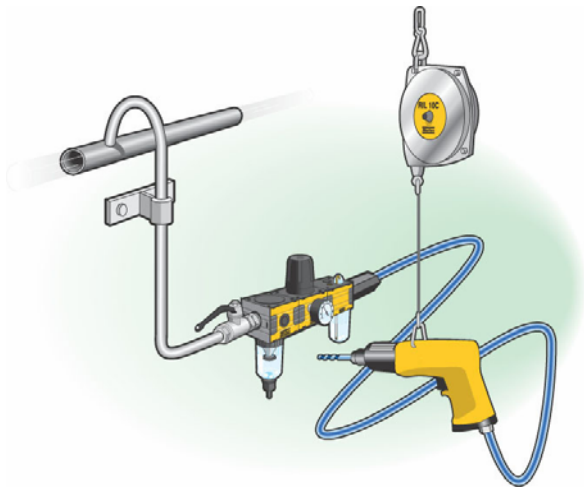
| Arbeitsdruck in bar | Materialabtrag in kg/h |
|---------------------|------------------------|
| 6,3                 | 5,5                    |
| 5,8                 | 4,5                    |
| 5,3                 | 4,0                    |

Das Beispiel zeigt, dass bereits ein um 0,5 bar zu niedriger Arbeitsdruck zu einer deutlichen Senkung der Produktivität führt. Doch nicht nur die notwendige Arbeitszeit erhöht sich, sondern auch die Energiekosten.

Zwar sinkt der Luftverbrauch pro Zeiteinheit, aber auch hier kommt die längere Arbeitszeit zum Tragen.

## Beispiel

Am Beispiel einer Bohrmaschine – wie in Abbildung 1 dargestellt – sollen die Gesamtkosten aufgezeigt werden.



| Arbeitsdruck in bar | Bohrzeit Beispiel in s |
|---------------------|------------------------|
| 6,3                 | 2,0                    |
| 5,8                 | 3,2                    |

Abb. 1: Bohrmaschine mit Wartungseinheit und Zuleitung

Das bedeutet, dass sich die reine Bohrzeit durch den geringeren Druck um 60 % (!) erhöht. Dabei ist ein um 0,5 bar zu geringer Arbeitsdruck keineswegs die Ausnahme, sondern oft teure Realität.

In dem Beispiel des Bohrers würden sich die Kosten wie folgt um jährlich 4060 CHF erhöhen:

bei

|                                        |              |
|----------------------------------------|--------------|
| Luftverbrauch Bohrmaschine bei 6,3 bar | 15 l/s       |
| effizienter Bohrzeit                   | 1 h/Tag      |
| Arbeitskosten                          | 30 CHF/h     |
| Energiekosten                          | 0,15 CHF/kWh |
| folgen pro Monat Mehrkosten für        |              |
| Arbeit                                 | 360,00 CHF   |
| Energie                                | 8,95 CHF     |
| SUMME                                  | 368,95 CHF   |

## Der Weg zur effizienten Werkzeugnutzung

### 1. Optimierung des Umfeldes

Schlauchlänge = Druckverlust!

Daraus folgt, dass Schläuche möglichst kurz zu halten sind, Spiralschläuche sind zu vermeiden. Werden Spiralschläuche z. B. zwischen Netz und Balancer eingesetzt, könnten oft normale Schläuche verwendet werden. Aber auch auf passende Schlauchdurchmesser ist zu achten, damit lassen sich druckfressende Übergänge vermeiden.

Verlustarme Kupplungen installieren!

Die meisten selbstentlüftenden Schnellkupplungen – insbesondere jene aus Messing – kosten viel Druck (0,6-1,3 bar Fließdruck). Grund ist eine im Luftstrom liegende Kugel. Moderne Schnellkupplungen reduzieren die Verluste (auf ca. 0,2 bar) drastisch und amortisieren sich damit innerhalb kürzester Zeit.

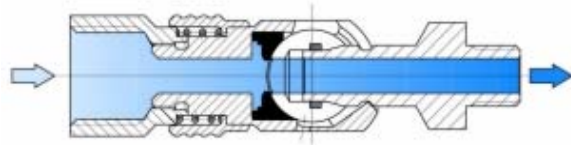


Abb. 2: Moderne Schnellkupplung

„Basteleien“ vermeiden!

Grosse Querschnittstoleranzen, mehr Kupplungen als nötig, zuviel Tüllen und falsche Schlauchdurchmesser summieren sich zu einem grossen Energie-„Vernichter“. Passende Konfektionierung zahlt sich fast immer aus.



Abb. 3: Energie-„Vernichter“ im Druckluftnetz

Ölschmierung in der Luftzufuhr nur wo nötig!

Turbinengetriebene oder mit ölfreien Lamellenmotoren ausgerüstete Werkzeuge benötigen keine Ölschmierung. Öler bewirken Druckverlust. Wenn er benötigt wird, sollte der Öler 3-5 Meter vom Werkzeug entfernt angeordnet werden.

## 2. Messung und Anpassung des Fliessdruckes

Nach der Optimierung des Umfeldes steht wahrscheinlich ein zu hoher Arbeitsdruck am Werkzeug an. Dieser kann nun über den Druckregler der Wartungseinheit reduziert werden. Das Werkzeug arbeitet nun im effizientesten Betriebszustand, der Luftverbrauch wird minimiert.

| Fliessdruck am Werkzeug in bar | Luftverbrauch in % |
|--------------------------------|--------------------|
| 6,3                            | 100                |
| 7,0                            | 110                |
| 8,0                            | 125                |

## 3. Anpassung des Netzdruckes

Oft kann nun auch der Netzdruck deutlich reduziert werden. Dies bewirkt verringerte Kompressorlaufzeiten und reduziert damit massiv die Energiekosten!

**Optimierungen am Umfeld des Werkzeuges amortisieren sich oft innerhalb kürzester Zeit!**

## Wartung der Luftdruckanlage

Nach der einmaligen Optimierung gilt es, die gewonnene Effizienz auf Dauer zu erhalten. Hierzu trägt ganz wesentlich eine regelmässige Wartung der Komponenten bei. Neben dem Entleeren und Reinigen der Filter ist auf regelmässige Leckage-Untersuchung zu achten.

Bei der Erstellung von Wartungsplänen unterstützt Sie der Lieferant der Druckluftanlage.

Dass auch der Wartungszustand des Werkzeuges selbst erhebliche Auswirkung auf die Effizienz hat, sollte nicht vergessen werden.

Ebenso wichtig ist es, bei jeder Veränderung der Druckluftanlage die Konsequenzen für die Druckverhältnisse im System zu beachten.

Sollte dies nicht immer möglich sein, weil Veränderungen sehr häufig durchgeführt werden, bietet sich in regelmässigen Abständen eine Überprüfung der Gesamtanlage an.

## Fazit

Beim Einsatz von Druckluftwerkzeugen zahlt sich eine Betrachtung des Umfeldes schnell aus. Falsche Dimensionierungen, Einstellungen und schlechter Wartungszustand verringern die Produktivität dramatisch.

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, Promatic, 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)



## Ermittlung der Druckluftleckagen

### Behältermethode

Eine vereinfachte Bestimmung der Leckagen ist über eine Messung mittels der Entleerung des Druckbehälters möglich. Zur Durchführung der Messung werden lediglich eine Uhr und ein Manometer benötigt. Bekannt sein muss zudem das Speichervolumen des Behälters sowie ggf. des Druckluftnetzes. Zur Messung werden der Behälter und das Druckluftsystem zunächst auf den oberen Abschaltdruck gebracht, während alle Druckluftverbraucher ausser Betrieb sind. Dann wird der Kompressor ausgeschaltet, und es erfolgt keine weitere Druckluftnachspeisung in das System.

Gestoppt wird nun die Zeit  $T$ , die vergeht, bis aufgrund der Leckagen ein Druckabfall von 1 bis 2 bar eingetreten ist. Abb. 2 zeigt ein typisches Druckprofil bei einer solchen Messung. Dabei kann die Wahl der Drücke zwischen denen die Messung erfolgt, frei gewählt werden.

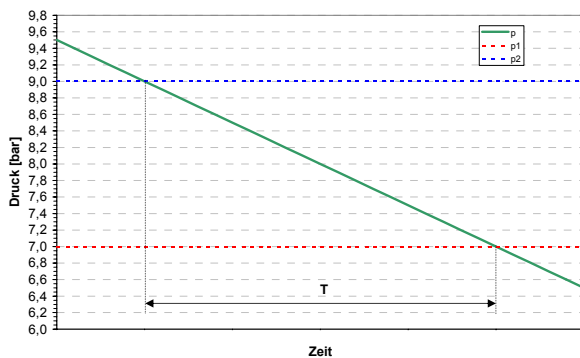


Abb. 2: Messung des Druckabfalls im Druckluftsystem über die Zeit bei abgetrennter Erzeugung

Mit den Angaben zum oberen Druck und dem unterem Druck kann nun anhand der gestoppten Zeit und des Speichervolumens die Leckagemenge bestimmt werden. Es gilt:

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \times (p_A - p_E)}{t}$$

$\dot{V}_L$  = Leckagemenge

$V_B$  = Druckbehältervolumen

$p_A$  = Druckbehälteranfangsdruck

$p_E$  = Druckbehälterenddruck

$t$  = Messzeit

Sofern das Speichervolumen in den Verteilungen im Verhältnis zum Behältervolumen gross ist, sollte es bei der Berechnung mitberücksichtigt werden (Faustregel: Liegt der Leitungsanteil unter 5 %, kann die Berücksichtigung entfallen).

### Methode der Nachspeisemengen

Eine weitere Methode zur Feststellung der Leckagen ist die Ermittlung mit Hilfe der Nachspeisemengen. Vorteil dieser Methode ist, dass das Speichervolumen des Systems nicht bekannt sein muss. An seine Stelle tritt stattdessen die Kenntnis der Liefermenge des für die Durchführung der Messung betriebenen Kompressors. Nach Abschaltung aller Druckluftverbraucher und aller Kompressoren, ausser dem für die Messung einzusetzenden Kompressor, stellt sich das in Abb. 3 gezeigte Profil des Systemdrucks ein. In den Zeiten  $t_i$  arbeitet der Kompressor im Lastbetrieb und speist Luft in das System ein, wodurch der Systemdruck ansteigt. Nach dem Abschalten des Kompressors bei Erreichen des oberen Systemdruckes fällt der Druck durch die Leckagen im System wieder langsam ab, bis bei Erreichen des unteren Systemdrucks der Kompressor wieder zuschaltet.

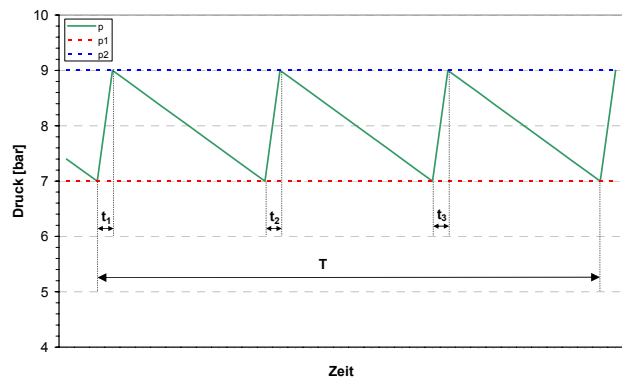


Abb. 3: Bestimmung der Leckagemengen mit der Methode der Nachspeisemengen

Für die Leckageermittlung werden nun mehrere solcher Schaltzyklen in der Zeit  $T$  durchlaufen. Während dieser Zeit werden die Lastzeiten  $t_i$  ermittelt und addiert. In Verbindung mit der Liefermenge lassen sich die Leckagen dann nach folgender Formel berechnen:

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V}_K \times t}{T}$$

$\dot{V}_L$  = Leckagemenge

$\dot{V}_K$  = Druckbehältervolumen

$t = \sum_{i=1}^n t_i$  = Zeiteinheiten Kompressor belastet [min]

$T$  = Gesamtzeit des Messvorgangs [min]

Dieses Verfahren lässt sich auch automatisiert anwenden, wenn die Daten der Kompressoren auf einem Leitsystem oder über die Kompressorensteuerung verfügbar sind. So kann regelmässig am Wochenende oder nach Betriebsschluss eine automatische Ermittlung durchgeführt werden.

Eine solche automatisierte Ermittlung ermöglicht es, automatisch Warnmeldungen zu generieren, wenn die Leckagen ein bestimmtes Mass übersteigen, so dass eine Leckagebeseitigung sinnvoll ist.

### Abschätzung der Leckagemengen aus geometrischen Daten

Sofern keine Messungen durchgeführt werden können oder sollen, lässt sich die Leckagemenge auch über die Anzahl und Grösse der Leckagestellen abschätzen. Das Ausströmen der Luft aus einer Leckstelle stellt einen Prozess dar, der mit Hilfe der Strömungslehre berechnet werden kann. Da die genaue Geometrie der Leckagestellen nicht bekannt ist, wird dabei mit der Annahme einer kreisrunden Öffnung gearbeitet, die eine obere Abschätzung der möglichen Leckagemenge darstellt. Die sich im Öffnungsquerschnitt der Leckage einstellende Strömungsgeschwindigkeit entspricht typischerweise der Schallgeschwindigkeit. Nur bei kleinen Druckdifferenzen wird die Schallgeschwindigkeit ggf. nicht erreicht. Neben der Bestimmung von Leckagen kann auf die gleiche Art auch die durch Blasdüsen austretende Luftmenge berechnet werden.

### Leckageermittlung aus Klemmen- oder Volumenstrommessung

In Betrieben, in denen der Betrieb am Wochenende oder abends ruht, kann die Leckagemenge auch aus dem Druckluftverbrauchsprofil abgelesen werden.

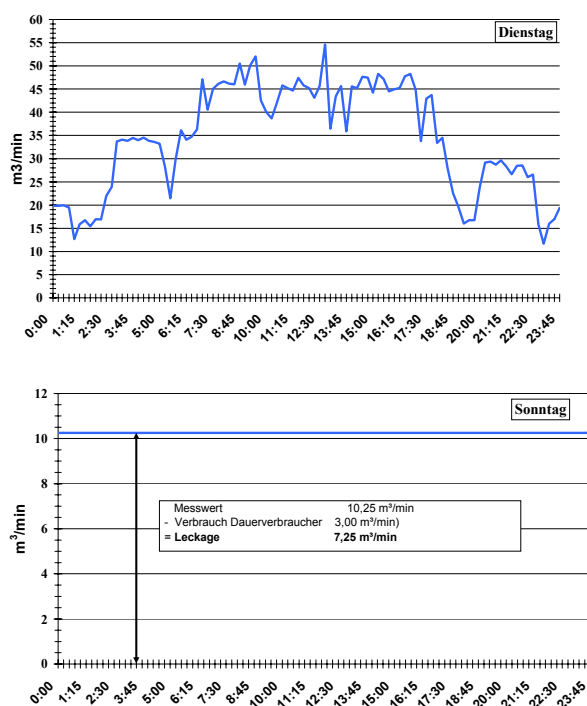


Abb. 4: Bestimmung der Leckagemengen mit Hilfe der Klemmen- oder Volumenstrommessung

Sind keine Dauerverbraucher vorhanden, lässt sich die Leckagemenge so einfach bestimmen. Moderne übergeordnete Kompressorensteuerungen bieten häufig die Möglichkeit die Wochenverbrauchsprofile auszuwerten. Diese Werte können auf einfache Weise zur Kontrolle der Leckagen genutzt werden.

### Leckageermittlung mit Exceltool

Für die Behältermethode, die Methode der Nachspeisemengen und der Leckagebestimmung aus geometrischen Daten wurde für die Kampagne Effiziente Druckluft Schweiz ein Exceltool entwickelt:

[www.druckluft.ch/toolbox](http://www.druckluft.ch/toolbox)

Mit dessen Hilfe kann die Ermittlung der Leckageverluste, der Leckagekosten und der möglichen Einsparpotenziale einfach durch jedes Unternehmen selbst durchgeführt werden. Das Tool erspart die aufwendige Berechnung von Hand, denn aus den von Ihnen ermittelten Daten liefert es die richtigen Argumente, um die Leckagebeseitigung im Unternehmen zu thematisieren.

### Aufspüren von Leckagen im Betrieb

Nach dem Sie Ihre individuellen Einsparpotenziale durch die Reduzierung der Leckagen ermittelt haben, gilt es, im nächsten Schritt Massnahmen umzusetzen um die Leckagen tatsächlich zu reduzieren. Dazu ist es erforderlich, die Leckagestellen im Betrieb aufzufinden. Bekanntermassen treten die Leckagen zum überwiegenden Teil im letzten Drittel der Druckluftverteilung auf. So sind insbesondere Schläuche, Kupplungen, Zylinder, Wartungseinheiten und ähnliche Komponenten anfällig für Leckagen.

In vielen Fällen reicht es, zum Aufspüren von Leckagen schon während der Betriebsruhe durch den Betrieb zu gehen. Leckagen machen sich häufig durch Zischgeräusche deutlich bemerkbar. Auf einfache Weise lassen sich Druckluftleckagen auch durch Ultraschallortungsgeräte finden. In diesem Fall stören auch normale Geräusche die Identifikation der Leckagestellen nicht. Auf dem Markt gibt es hierzu ein Vielzahl standardisierter Geräte mit Preisen ab ca. 800 CHF, von denen zwei Typen exemplarisch in Abb. 5 dargestellt sind.

Die Anschaffung eines entsprechenden Gerätes rechnet

sich also schnell, wobei die Geräte auch bei den Druckluftanbietern für ca. 100 bis 150 CHF/Woche ausgeliehen werden können. Selbstverständlich können Sie die Leckagesuche und Beseitigung als Dienstleistung auch vollständig an einen Dritten vergeben.



Abb. 5: Ultraschallortungsgeräte für das Aufspüren von Leckagen

### Dokumentation von Leckagen

Während der Begehung des Betriebes mit einem Lecksuchgerät sollte wenn möglich stets auch eine Dokumentation der Leckagestellen erfolgen. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Leck nicht sofort beseitigt werden kann. Bei der Leckagekennzeichnung sollte sinnvollerweise zwischen drei Kategorien von Leckagen unterschieden werden.

|  |                                                    |
|--|----------------------------------------------------|
|  | (a) nicht hörbare Leckagen                         |
|  | (b) hörbare Leckagen                               |
|  | (c) starke Leckagen mit sofortigem Handlungsbedarf |

Alle Labels sollten je nach Kategorie unterschiedliche Farben haben und die folgenden Informationen enthalten.

- Nr. der Leckagestelle
- Bezeichnung des Arbeitsplatzes
- Datum der Reparatur
- Datum der Nachkontrolle
- verantwortliche Person.

In vielen Fällen ist es hilfreich, die Leckagestellen zusätzlich mit Hilfe einer Digitalkamera zu dokumentieren. Exemplarisch zeigt Abb. 6 ein solches Photo mit einem Leckagemarkierungslabel.



Abb. 6: Markierung einer Leckagestelle an einem Filter

Die Suche und Beseitigung stellt dabei keinen einmaligen Vorgang dar, sondern er muss in regelmässigen Zeitintervallen wiederholt werden, da Leckagen stets aufs Neue auftreten, vielfach auch an immer den gleichen Stellen. Deshalb empfiehlt es sich, die Dokumentation der Leckagestellen zu systematisieren und so auch störanfällige Komponenten oder Schwachstellen zu identifizieren. Die Dokumentation kann z. B. anhand von Excellisten erfolgen, die beispielsweise die folgenden Informationen enthalten sollten:

- Nr. der Leckage [laufende Nummer der gefundenen Leckage]
- Ort der Leckage [genaue Bezeichnung des Arbeitsplatzes und der Stelle, an der das Leck auftritt]
- Leckageklasse [(a), (b), (c)]
- Bezeichnung der defekten Komponente [Kupplung, Wartungseinheit, Schlauch, Ventilinsel, Zylinder etc.]
- Hersteller der Komponente
- möglicher Grund der Leckage
- Datum der Identifikation
- Datum der Beseitigung
- verantwortliche Person.

Wird dieses Vorgehen konsequent durchgeführt, so lassen sich Leckagen sicher und zuverlässig erkennen und beseitigen. Aufgrund der mit den Leckagen verbundenen hohen Kosten rechnet sich der Aufwand für die Dokumentation der Leckagen schnell. Gleichzeitig liefert sie auch Hinweise für die vorausschauende Instandhaltung. Über der Identifikation und der Dokumentation von Leckagen darf natürlich die Beseitigung der Leckagen nicht vergessen werden.

### Massnahmen zur Leckagebeseitigung

Die Reduzierung der Leckagen kann sowohl direkt oder indirekt erfolgen. Bei den direkten Massnahmen wird die Anzahl der Leckagestellen reduziert, bei den indirekten Massnahmen bleibt die Grösse und Menge der Leckagestellen unverändert, während die „Betriebszeit“ der Leckagen verkürzt wird.

#### Direkte Massnahmen

Häufig treten Leckagen an losen Verschraubungen auf. Ob Schlauchschellen, Quetschverschraubungen oder Rohrverbindungen, meist hilft ein Nachziehen der Verschraubung, um die Leckage zu beseitigen.

An Zylindern, Kupplungen, Blaspistolen oder Kondensatableitern können z. B. Dichtungen verschleissen. Tauschen Sie wenn möglich defekte Dichtungen sofort aus. Treten Leckagestellen an Schläuchen oder Kupplungen auf, so tauschen Sie diese sofort

aus. Auch Kupplungsstecker sollten auf Abnutzung kontrolliert werden. Bei beschädigtem Profil sollten die Kupplungsstecker durch neue aus gehärtetem Stahl getauscht werden. Halten Sie dazu entsprechende Ersatzteile vorrätig. Häufig können Schläuche auch gekürzt werden, sofern die defekten Stellen in der Nähe der Schlauchenden liegen. Auch Leckagen, die sofort beseitigt werden, sollten dokumentiert werden.

### Indirekte Massnahmen

In manchen Fällen lassen sich die Leckagen nicht sofort beseitigen. Dies gilt insbesondere dann, wenn dazu das Abstellen von Maschinen erforderlich ist. Ggf. muss dann die Reparatur auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Da die Leckagemengen zudem nie auf einen Wert nahe Null gesenkt werden kann, empfiehlt es sich immer, auch die indirekten Massnahmen zu prüfen.

Als eine der wirkungsvollsten Massnahmen ist die **Verkürzung der Leckagen-Betriebszeit**. Dies kann durch die Abschaltung der Druckluftanlage nach Betriebsschluss und an den Wochenenden erfolgen, sofern keine Dauerverbraucher vorhanden sind.

Sofern die Anlage nicht vollständig abgeschaltet werden kann, besteht ggf. die Möglichkeit, einzelne Teilbereiche von der Versorgung abzutrennen. Die in diesem Bereich vorhandenen Leckagen weisen dann kürzere Betriebszeiten und somit niedrigere Leckageraten auf. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den **Betriebsdruck im Netz abzusenken**.

Je niedriger der Netzdruck, umso geringer werden die Leckagen. Wird zum Beispiel der Betriebsdruck des Netzes am Wochenende von 9 auf 7 bar<sub>e</sub> abgesenkt, so reduzieren sich die Leckagen um 22 %. Beträgt die Leckagemenge beim normalen Betriebsdruck 2 m<sup>3</sup>/min, so können durch die Drucksabsenkung jährliche Kosten von ca. 1000 CHF gespart werden.

Vergleichbare Einsparungen lassen sich auch durch das Abschiebern von Teilbereichen des Netzes oder einzelner Maschinen erzielen. Die indirekten Massnahmen sollten jedoch nie die direkte Leckagebeseitigung ersetzen, sondern lediglich ergänzen.

Nicht ausser Acht gelassen werden sollte auch die Sensibilisierung der Mitarbeiter für die Leckageermittlung und -beseitigung. Ein aufmerksamer Kollege, der täglich mit „seinen“ Werkzeugen zugange ist und dabei Verlustgeräusche wahrnimmt, spart Zeit und Kosten bei der Suche.

Mit geringem Kostenaufwand lassen sich durch diese indirekten Massnahmen erhebliche Einsparungen realisieren.

### Fazit

Druckluftleckagen sind die Ursache für die häufigste und grösste Energie- und Kostenverschwendung im Bereich der Druckluftversorgung. Überprüfen und beseitigen Sie Leckagen in Ihrem Druckluftsystem regelmässig (mindestens einmal pro Jahr). Leihen oder kaufen Sie ein Ultraschall-Leckagesuchgerät. Dokumentieren und markieren Sie die bei der Suche gefundenen Leckagen deutlich. Beauftragen Sie ggf. einen externen Dienstleister mit der Suche und Beseitigung, damit es nicht so in Ihrem Betrieb aussieht:



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 Stromsparerfonds 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, Prematic, Servatechnik, Vektor.

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

© Effiziente Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, September 2006

 **energieschweiz**

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