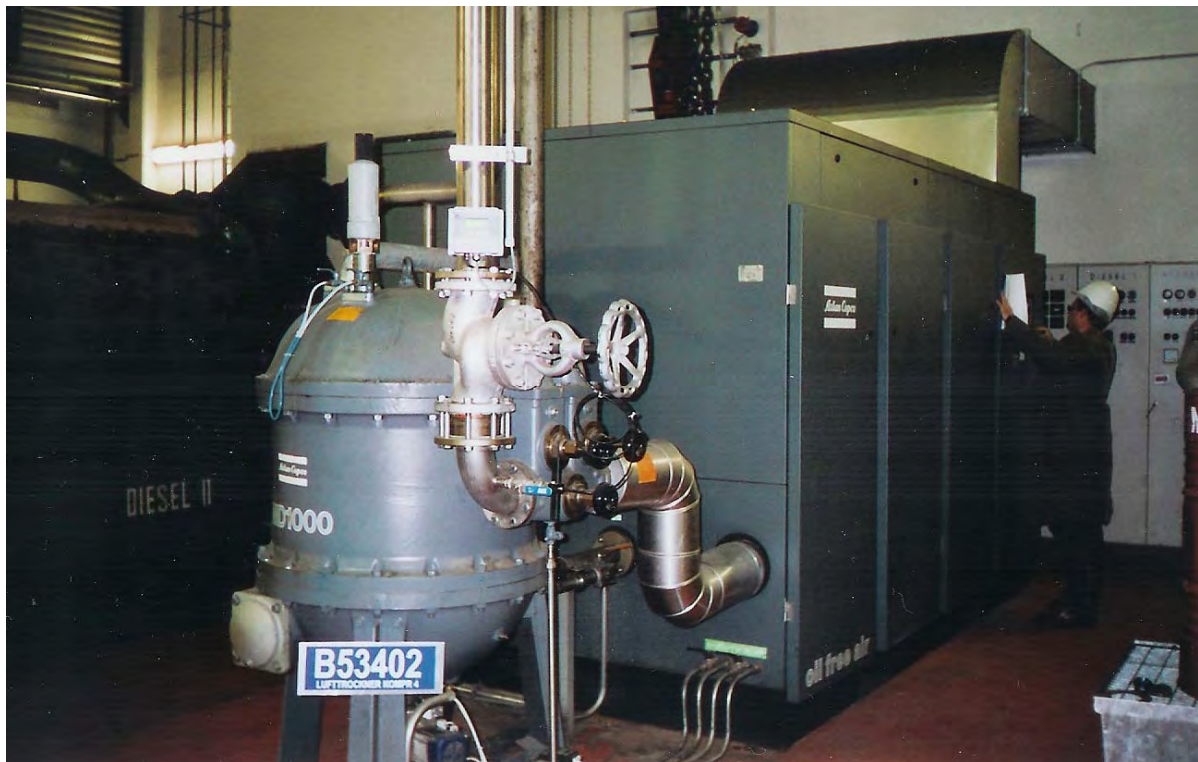


# Energieeffizienz in Druckluftsystemen

Beraterinformation klima:aktiv Programm energieeffiziente Betriebe



## Inhaltsverzeichnis

<b>Bestandaufnahme</b>	<b>3</b>
<b>Steuerung / Regelung</b>	<b>5</b>
<b>Verteilnetz und Leckagen</b>	<b>8</b>
<b>Druckverlust / Druckniveaureduzierung</b>	<b>11</b>
<b>Analyse der Verbrauchsanalyse</b>	<b>13</b>
<b>Ansaugung und Druckluftaufbereitung</b>	<b>15</b>
<b>Speicherung von Druckluft</b>	<b>21</b>
<b>Wartung</b>	<b>23</b>
<b>Wärmerückgewinnung</b>	<b>24</b>
<b>Quellen und weitere Informationen</b>	<b>27</b>

Diese Information wurde mit größter Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit der Beteiligten erstellt. Wir möchten jedoch darauf hinweisen, dass kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Richtigkeit der angeführten Informationen besteht. In keinem Fall kann die Europäische Kommission oder die Österreichische Energieagentur daher für die Verwendung der darin gegebenen Information verantwortlich gemacht werden. Der Inhalt gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Gemeinschaft wieder. Die Herstellung dieser Information wurde gefördert aus den Mitteln des EIE Programms (Projekt DEXA-MCP N° EIE/04/164/S07.38650) und des Lebensministeriums im Rahmen des klima:aktiv Programms.

### Impressum

---

Herausgeberin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency,  
Otto-Bauer-Gasse 6, A-1060 Wien; Tel. +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 40;  
E-Mail: [office@energyagency.at](mailto:office@energyagency.at), Internet: <http://www.energyagency.at>

Für den Inhalt verantwortlich: Dr. Fritz Unterpertinger

Gesamtleitung: DI Michael Harhammer

Autor: Mag. DI Konstantin Kulterer

## Bestandsaufnahme

Als ersten Schritt zur Identifizierung potentieller Energiesparmaßnahmen sollte eine **Bestandsaufnahme** der Druckluftsystemkomponenten und der wesentlichen Systembetriebsparameter erstellt werden.

### Allgemeine Systembeschreibung

Die allgemeine Systembeschreibung umfasst im Wesentlichen folgende (Typenschild-) Daten, die aus Firmenunterlagen oder mit Hilfe einfacher Messungen erhoben werden können. In vielen Unternehmen können betriebliche Mitarbeiter die meisten oder gar alle genannten Informationen zusammenstellen.

1. Geräteliste und Auslegung: Kompressorleistung und .typische Hauptanwendungen für Druckluft, Alter der Systemkomponenten
2. Netzdruck am Schlechtpunkt im Netz
3. Sind Verbraucher mit unterschiedlichem Mindestdruck vorhanden?
4. Druck nach dem Kompressor
5. Druck hinter der Druckluftaufbereitung
6. Betriebsstunden/Jahr
7. Bedarfsprofil: geschätzte Schwankung während eines Tages/einer Woche
8. Geforderte Luftqualität
9. Wird das System abgeschaltet, wenn kein Druckluftbedarf besteht?
10. Größe des/der Druckluftspeicher

### Dokumentation und Messung der Systembetriebsparameter

Die Dokumentation bzw. Messung folgender Parameter sollte nach Möglichkeit bei allen Druckluftsystemen des jeweiligen Unternehmens, mindestens jedoch bei Systemen mit Leistungen von mehr als 100 kW erfolgen.

1. Bestimmung der Gesamtleckagemenge (durch einfache Behälterentleerungsmessung oder durch Installation eines Durchflussmessers)
2. Ansauglufttemperatur im Verhältnis zur Umgebungslufttemperatur
3. Druck vor der Aufbereitung
4. Verhältnis von Last-/Leerlaufstunden
5. Art und Funktionsweise der Systemsteuerung und einzelner Kompressorsteuerungen
6. Stromverbrauch: Gesamtverbrauch und Anteil für Druckluft
7. Wird ständig das gesamte Druckluftnetz genutzt? Gibt es Abschaltungen für unbenutzte Teile?
8. Ist an den Abnahmestellen Wasser im Verteilungsnetz?
9. Schließen alle Endanwendungsgeräte ordnungsgemäß?
10. Für große Systeme sollten ein Datenlogger und geeignete Messgeräte verwendet werden (die möglicherweise nur für die Phase der Bestandsaufnahme installiert werden müssen), um den Druck, die Temperatur, den Durchfluss, Leistung/Strom und relative Feuchte zu messen. Für kleinere Systeme sind die besten verfügbaren

Daten zu verwenden hinsichtlich: der Last-/Leerlauf Zeiten des Kompressors, des Stromverbrauchs sowie des Drucks am Kompressor- und am Hauptverbraucher.

Eine strukturierte Vorgangsweise zur Erhebung der wichtigsten Informationen könnte in folgender Form erfolgen (in Klammer finden Sie die jeweiligen Kapitel in denen Sie nähere Informationen dazu erhalten):

- A) Aufnahme der Kompressordaten (Erhebungsblatt Kompressoren) (kW, Last-, Leerlaufzeiten, Jahresbetriebsstunden); errechnen des Energieverbrauchs (Leerlauf Energiebedarf ca. 25% der Volllast)
- B) Begehung des Druckluftnetzes (Erhebungsblatt Druckluftnetz), Druckabfall aufzeichnen, Erzeugter Druck, notwendiger und tatsächlicher Druck bei Verbrauchern
- C) Analyse der Regelung, Lastgänge (Steuerung)
- D) Leckagenberechnung durchführen (mehrere Möglichkeiten, meist Betriebsstillstand nötig!) (Verteilung, Leckagen)
- E) Verbrauchsanalyse, Werkzeuge (Verbraucher)
- F) Analyse der Druckluftaufbereitung (Druckluftaufbereitung)

### Energieeinsparungen sind möglich

- bei der Erzeugung und Aufbereitung von Druckluft,
- in Druckluftnetzen,
- bei Endgeräten sowie
- der Auslegung und dem Betrieb des gesamten Systems.

Natürlich hängt die Anwendbarkeit bestimmter Maßnahmen und das Kostenreduktionspotential von der Größe und spezifischen Situation Ihres Betriebs ab. Nur durch eine Analyse und Bewertung des jeweiligen Druckluftsystems und der Bedürfnisse des Unternehmens lässt sich feststellen, welche Maßnahmen sowohl anwendbar als auch profitabel sind.

## Steuerung / Regelung

Ziel der Steuerung ist die Anpassung der Druckluftbereitstellung an den tatsächlichen Bedarf, das heißt z.B. auch das Ausschalten der Kompressoren, wenn sie nicht benötigt werden.

Im Normalfall wird ein sehr variabler Druckverbrauch eine komplexeres Steuerungssystem erfordern, um ein stabiles Druckniveau zu erhalten. Daher sollten auch Überlegungen zur Steuerung mit einer Analyse des Druckluftverbrauchs und der Bereitstellung beginnen.

Lange Leerlaufzeiten, langes Verweilen in Teillast oder oftmaliges Schalten sind ein Zeichen für Verbesserungspotenziale entweder im Bereich der Steuerung oder auch für die falsche Dimensionierung der Kompressoren.

**Interne Regelungen** oder Steuerung (Einsparpotenzial 15%) passen die jeweilige Kompressoreinheit an die geforderten Luftverbräuche an und verhindern eine Überlastung der Kompressoreinheit.

**Diskontinuierliche Regelung** werden über die Druckgrenzen  $p_{\max}$  und  $p_{\min}$  geregelt. Die **Start Stop Regelung** ist der einfachste Kontrollmechanismus und schaltet den Kompressor in Abhängigkeit des Entladedrucks der Maschine über einen Druckschalter ein. Diese Regelung hat den Vorteil, dass Energie nur aufgenommen wird, wenn tatsächlich Druck bereitgestellt wird. Allerdings ist sie nur im Fall von wenigen Schaltzyklen einsetzbar, da sonst der Motor überhitzt.

Die **Volllast - Leerlauf - Aussetzregelung** ist derzeit eine der am häufigsten vorkommenden Regelungen bei nicht drehzahlgeregelten Antrieben.

Sinkt der Betriebsdruck auf  $p_{\min}$  wird der Kompressor gestartet und fördert Druckluft. Bei Erreichen von  $p_{\max}$  geht der Kompressor in den Leerlauf. Erst ab dem Ablauf einer bestimmten Leerlaufzeit geht der Kompressor in den Stillstand. Der Nachteil bei dieser Regelung besteht darin, dass die Kompressoren bei falscher Dimensionierung aufgrund von hohen Leerlaufzeiten der Kompressoren sowie großen erforderlichen Druckbändern einen schlechten Anlagenwirkungsgrad aufweisen. Während des Leerlastbetriebs wird zwischen 15 und 35 % (typischer Wert 25%) der Volllastleistung benötigt.

**Mittels moderner Druckaufnehmer** sind die Druckdifferenzen auf 0,2 bar reduzierbar, während sie bei mechanischen Druckschaltern bei ca. einem bar liegen.

**Leerlaufregelung** mit variabler Nachlaufzeit kann besonders bei Grundlastmaschinen zu erheblichen Einsparungen im Bereich der Leerlaufkosten beitragen.

## Kontinuierliche Regelung

Regelungen sind insbesondere für Kompressoren mit variabler Last sinnvoll (rund ein Viertel aller installierten Kompressoren). Die **Motordrehzahlregelung** erfolgt über Frequenzumrichtung (bei Asynchronmotoren) oder über Gleichstrommodulation, sie werden ebenfalls bei einer Druckgrenze  $p_{\min}$  gestartet und werden über das Verhältnis Ist-Druck zu Regeldruck gesteuert. Außerhalb des Regelbereichs wird die Anlage in Stillstand oder Leerlauf geschaltet.

Im Regelbereich zwischen 40 und 80% ist diese Steuerung durch eine sehr gute Energieausnutzung gekennzeichnet. Sie vermeidet teure Leerlaufzeiten und es entstehen kein Schaltspiele. Weiters sind die gute Regelbarkeit, die schnelle Reaktion und die Möglichkeit eines sehr schmalen Druckbandes (Differenz des Ein- und Ausschaltdruckes) zu erwähnen, was eine Absenkung des Druckniveaus mit sich bringt.

Als Nachteil seien die hohen Investitionskosten und E-Netzurückwirkungen genannt. Ein Nachrüsten eines FUs auf einen bestehenden Kompressor wird von den Herstellern nicht empfohlen.

Bei der **Ansaugdrosselregelung** wird je nach Abweichung des Regeldrucks im Plus-Minus-Bereich das Einlassventil des Kompressors geschlossen oder geöffnet. Die Energieausnutzung ist sehr schlecht.

## Übergeordnete Regelungen

Übergeordnete Regelungen (Einsparpotenzial 12%) dienen dazu die Einzelanlagen einer Kompressorenstation optimal auszulasten und ihren Einsatz gemäß dem tatsächlichen Luftverbrauch zu koordinieren und zu überwachen.

Bei der **Druckkaskade** wird jedem Kompressor ein bestimmter Schaltbereich zugewiesen. Bei gleich großen Kompressoren werden, je nach Laufzeiten der Kompressor vertauscht, um eine gleichmäßige Auslastung zu erreichen.

Grundsätzlich sollte es das Ziel sein, mit einem oder mehreren Kompressor die Grundlast abzudecken (Nutzungsgrad von rund 100%) und einen (Spitzenlast-) Kompressor zu nutzen, um die Verbrauchsspitzen abzudecken (Nutzungsgrad 70-80%).

Bei Verschaltung über Membrandruckschaltern von vier Kompressoren werden Druckspreizungen von bis zu 2 bar benötigt, moderne Drucksensoren benötigen nur 0,7 bar.

**Druckbandregelungen** steuern die Anlagen über ein Druckband, die kleinste Steuerungsdifferenz ist 0,2 bar, wodurch der maximale Druck verringert werden kann. Erweiterte Druckbandregelung können auch verschiedene Kompressorengrößen lastabhängig auswählen und bei entsprechendem Druckluftbedarf miteinander koordinieren.

Reduktion des Druckniveaus

Durch die Reduktion des Druckniveaus um 1 bar kann eine Energieeinsparung von 6-8% erzielt werden.

Bei Verwendung von mechanischen Druckschaltern, sollten diese, da sich die Einstellung oft selbstständig ändert in gewissen Zeitabständen wieder eingestellt werden.

## MASSNAHMEN STEUERUNG

- Erstellung eines Druck- und Bedarfsprofils
- Identifikation von Endverbrauchern, die durch Druckprobleme betroffen sind
- Überprüfung des Zustandes der bestehenden Geräte
- Vermeidung von ungeeigneten Anwendungen, Schließen von Leckagen, Einführen eines Leckagenprogramms.
- Vorschlag eines Spezialisten einholen, um die Steuerungseinheit an die tatsächlichen Erfordernisse anzupassen
- Kompressoren während der bedarfsfreien Zeit abschalten, gegebenenfalls über eine in die Steuerung integrierte Schaltuhr. Vorher prüfen, ob der Druckverlust zu keinen Schäden in mit pneumatischen Zylindern automatisierten Prozessen führen kann.
- Regelung der Anlage prüfen: Wirtschaftlichster Betrieb wäre die Aussetzregelung, diese ist jedoch durch die maximal zulässige Schalthäufigkeit pro Stunde der Elektromotoren nur eingeschränkt möglich. Sinnvoll ist in vielen Fällen (insbesondere bei schwankendem Druckluftbedarf) ein verzögerter Aussetzbetrieb, bei dem der Verdichter über eine gewisse Zeit im Leerlauf nachläuft. Dabei Leerlaufregelung prüfen.
- Prüfen der Schaltdifferenz (größer als 0,5 bar?)
- Durch den Einsatz von Elektronik wird je nach Last die günstigste Regelungsart eingesetzt (lastabhängige Regelung)
- Ideale Regelungsart ist eine drehzahlgesteuerte Leistungsregelung, die die Leistungsaufnahme linear zur Liefermenge reduziert.
- Durch ausreichende Größe des Druckbehälters für verringerte Schalthäufigkeit des Kompressors sorgen.
- Beim Betrieb einer zentralen Druckluftstation mit mehreren Kompressoren sorgt eine intelligente Verbundsteuerung für
  - Eine gleichmäßige Auslastung
  - Die Auswahl der Kompressors mit jeweils passender Leistungsgröße
  - Minimierte Leerlaufzeiten
  - Eine möglichst geringe Schaltdifferenz

## Verteilnetz und Leckagen

Die Aufgabe des Leitungsnetzes besteht darin Druckluft in ausreichender Menge, mit dem nötigen Druck und der erforderlichen Qualität mit geringstem Druckabfall ausfallssicher und kostengünstig zur Verfügung zu stellen.

Grundsätzlich kann man zwei Arten von Verteilnetzen unterscheiden:

Stichleitung	Ringleitung
Vorteil: weniger Material als Ringleitungen	Materialaufwand höher
Nachteil: Größere Dimensionierung als Ringleitungen bei der Hauptleitung	Kürzerer Weg der Druckluft zum Verbraucher
Höhere Druckverluste	Geringerer Druckabfall
Geringere Ausfallsicherheit	Kleinere Dimensionierung (halbe Rohrlänge und halber Volumenstrom)

Eine weitere Variante ist die **Einzelversorgungsleitung**, die größere Leitungsquerschnitte als bei der Ringleitung erfordert.

Zielwerte für den Druckverlust innerhalb des Verteilnetzes:

- Rohrleitungsnetz  $\Delta p \leq 0,1$  bar
- Hauptleitungen:  $\Delta p \leq 0,03$  bar
- Verteilerleitungen:  $\Delta p \leq 0,03$  bar
- Anschlussleitungen:  $\Delta p \leq 0,04$  bar
- Anschlusszubehör:  $\Delta p \leq 0,3$  bar

Richtige Dimensionierung der Rohrleitungen eines Netzes ist wesentlich, zu kleine Rohrleitungsquerschnitte verursachen hohe Druckverluste.

Die Haupteinflussgrößen auf den optimalen Rohrrinnendurchmesser sind die folgenden:

- Volumenstrom (Reserve einkalkulieren für nachträgliche Erweiterungen)
- Strömungstechnische Rohrleitungslänge (strömungstechnisch günstige Komponenten einsetzen, z.B. Bogen - Krümmer anstatt T-Stücke)
- Betriebsdruck (niedriger Betriebsdruck bedeutet geringe Druckverluste im Netz)

## Anschlusszubehör, Endverbraucher

Diese Systemkomponenten sind die kritischen Punkte eines Systems und bedürfen großer Aufmerksamkeit: Bei Kupplungen, Schläuchen und Spiralen finden sich auf kurzem Raum viele Verbindungen, die leckagebehaftet sein können. (siehe Endverbraucher und Werkzeuge)

## Leckagen

Leckagen sind die fleißigsten Verbraucher, die 365 Tage im Jahr „arbeiten“. Ein Leckagenanteil von 50% ist nicht ungewöhnlich, als Zielwert können sie bis auf 10 % gesenkt werden. Um den Ist-Stand zu erheben, sollte bei jedem Betriebsstillstand eine Leckagemessung durchgeführt werden, bzw. lässt sich aus einem Leitsystem auch nachträglich die Laufzeit der Kompressoren während des Betriebsstillstandes ermitteln.

### MÖGLICHKEITEN ZUR LECKAGENBERECHNUNG

#### Abschätzung der Leckagen über Stundenaufzeichnungen oder interne Leitsysteme

Grobabschätzung der Leckagen über Laufzeiten an Tagen oder zu Tageszeiten an denen wenig oder kein Verbraucher läuft. (ZB Sonntag Vormittag)

#### Leckagemessung über Laufzeit der Kompressoren bei Betriebsstillstand:

Nur möglich, wenn gesamtes Druckluftnetz geöffnet ist und alle Verbraucher abgestellt sind (am besten bei Betriebsstillstand z.B. Wochenende). Nur einen Kompressor einschalten und diesen stoppen. Die Mindestmesszeit beträgt einen Zyklus bis zur nächsten Belastung (Belastet, Entlastet, Stopp)

Leckagen [kWh/a] =  $[(T)/(T+t)] * kW * \text{Jahresbetriebsstunden}$

T = Zeit im Belastungszyklus [s]

kW = Leistung im Belastungszyklus des Kompressors

t = Zeit außerhalb des Belastungszyklus (Entlastet, Stop) [s]

#### Leckagenberechnung bei laufendem Betrieb durch Fachfirmen:

Mittels im Druckluftsystem einzubauenden Drucksensors über Kupplung oder zölligen Anschluss an Druckluftnetz werden die Druckkurven ermittelt. Diese werden über mathematisches Verfahren anschließend bearbeitet und die Leckagemenge ermittelt.

#### Druckverlust im Druckbehälter

$$V_l = \frac{V_b * (p_A - p_E)}{t} * 60$$

$V_l$  = Leckagemenge [m<sup>3</sup>/min]

$V_b$  = Druckbehältervolumen plus Druckluftnetz [m<sup>3</sup>]

$p_A$  = Druckbehälteranfangsdruck [bar]

$p_E$  = Druckbehälterenddruck [bar]

t = Messzeit [s]

Die Verminderung von Leckagen ist wahrscheinlich die wichtigste Einzelmaßnahme zur Energieeinsparung, die für fast alle Systeme anwendbar ist. Das Bewusstsein über die Bedeutung eines regelmäßigen Leckagensuchprogramms ist allerdings

niedrig, einerseits weil Druckluftleckagen unsichtbar sind, andererseits weil sie normalerweise keinen Schaden anrichten. Richtige Planung und korrekte Installation des Druckluftnetzes kann Druckluftleckagen stark reduzieren. Dennoch ist der wichtigste Punkt ordnungsgemäße Wartung (siehe Maßnahmenliste).

### MASSNAHMEN ROHRLEITUNGSNETZ

- Bei Auslegung von Rohrleitungsnetzen auch Ausbaupläne und damit den Druckluftbedarf der nächsten Jahre einplanen. Daher besser größere Querschnitte wählen, da zu kleine Rohrdurchmesser zu deutlich höherem Energieeinsatz führen.
- Falls nur bestimmte Anwendung erhöhten Druckbedarf haben, alternative Lösungen überlegen:  
Getrennte Netze mit unterschiedlichen Druckniveaus, Qualitäten  
Netz mit niedrigerem Druckniveau und lokalen Einheiten zur Druckerhöhung  
Spezifisches Filtern vor Verbraucher mit hohen Qualitätsanforderungen
- Vermeiden von Druckschwankungen durch Installation von lokalen Druckspeichern (falls große Anlagen mit starken Verbrauchsschwankungen vorhanden)
- Einsatz von strömungstechnisch günstigen Komponenten (Bogen - Krümmer)
- Betriebsdruck senken, an Verbraucher anpassen.
- Bei zeitlich unterschiedlichen Anforderungen Sektoreneinteilung durchführen und Teilstränge z.B. für Labor oder Werkstatt oder nicht genutzte Maschinen, in der Nacht oder am Wochenende vom Netz nehmen.
- Provisorische Leitungen vermeiden, Schlauchklemmen durch Quetschverbindungen ersetzen.
- Moderne Schnellkupplungen hoher Qualität vorschreiben
- Kondensattrocknungsanlagen ohne Luftverlust einsetzen (z.B. elektronisch niveaugeregelte Ableiter)
- Demontage aller überflüssigen Zapfstellen.
- Regelmäßige Leckagesuche, evt. mit einem Ultraschall- Handgerät und Kopfhörern durchführen und die Beseitigung veranlassen. (Gegebenenfalls Dienstweisung erstellen, besonders bei Betriebsstillstand sinnvoll)
- Bei Betriebsstillstand Messung des Energieverbrauchs für Leckagen

## Druckverlust / Druckniveaureduzierung

### Reduktion des Druckabfalls

Folgende Komponenten verursachen Druckabfall auf der Bereitstellungsseite: Druckluftnachkühler, Druckluft/Ölabscheider, Feuchtigkeitsabscheider, Trockner und Filter;

Der maximale Druckverlust auf der Bereitstellungsseite wird auftreten wenn das Fördervolumen und die Temperatur am höchsten ist. Jeder Lieferant der Einzelkomponenten sollte Informationen über den Druckabfall bei diesen Bedingungen bereitstellen. Bei Filtern ist dabei auch der Druckabfall im verschmutzten Zustand entscheidend.

Zur Erhebung des Druckabfalls im Druckluftnetz bzw. zur Zuordnung des tatsächlichen Druckabfalls der Einzelkomponenten sollten folgende Daten erhoben werden.

- Tatsächlicher Druck ab Kompressoren
- Tatsächlicher Druck ab Druckluftbehältern
- Tatsächlicher Druck bei Hauptverteilern
- Tatsächlicher Druck bei Verbrauchern (FlieSSdruck während Verbraucher in Betrieb ablesen!)

### Druckniveaureduktion

Nach Überprüfen des erforderlichen Arbeitsdrucks für die Verbraucher, der Verminderung des Druckabfalls bei der Bereitstellung, dem Netz und den Verbrauchern kann eine Absenkung des Druckniveaus erfolgen. Eine Absenkung um einen bar führt zu einer Energieeinsparung von 6-8%.

## MASSNAHMEN DRUCKNIVEAUREDZIERUNG

### DRUCKLUFTBEREITSTELLUNG

- Reduktion der Netzdruckspanne (größere Druckluftbehälter, drehzahlgeregelte Kompressoren, siehe Steuerung)
- Unnötige Filter, Ventile, T-Stücke in den Leitungen austauschen
- Wartung und Betrieb der Filter und Trockner um die Auswirkungen von Feuchtigkeit, insbesondere Rohrleitungskorrosion zu vermeiden
- Auswahl von Trocknern, Kühlern, Nachkühlern mit geringstem Druckabfall bei ausgewählten Bedingungen
- Spezifizierung von Druckreglern, Ölern, Schläuchen und Verbindungen (Kupplungen) mit der besten Leistungscharakteristik und dem geringsten Druckabfall.

### DRUCKLUFTNETZ

- Nach Erfahrungswerten könnte das Druckniveau oft um ca. ein bar auf ca. 6,9 bar gesenkt werden – ohne Auswirkungen auf die Verbraucher - was einer Energieeinsparung von 6,7% bringen würde.
- Auswahl von Verbrauchern, Werkzeugen, die mit niedrigerem Druck betrieben werden können (größere Luftzylinder). Außerdem sollte bei der Spezifikation nicht das durchschnittliche Druckniveau angesetzt werden, sondern der Druckabfall von Filtern berücksichtigt werden.
- Vermeidung von langen Wegen im Netz
- Korrekte Dimensionierung der Rohrleitungen und des Netzes (inkl. Vermeidung von flexiblen Schläuchen), schlechten Kupplungen (siehe Verteilnetz);
- Verbraucher hinterfragen:  
 Druckluft zur Reinigung vermeiden  
 Druckluft zur Kühlung vermeiden  
 Zerstäuben von Flüssigkeiten ohne Druckluft

## Analyse der Verbraucher

### Analyse der Großverbraucher

Druckluft ist die teuerste Energieform für Antriebe zehnmal so teuer (bis zu zehnmal teurer als vergleichbare hydraulische, elektrische oder Niederdruckgebläse). Eine Analyse des Druckluftsystems sollte daher eigentlich mit der kritischen Beleuchtung der Verbraucher beginnen.

Während jedoch der Ersatz und die Optimierung von druckluftbetriebenen Handwerkzeugen, der Ersatz von Kupplungen und Schläuchen kostengünstig ist, ist der Ersatz bei vielen anderen Anwendungen unmöglich oder kostenintensiv. So sind viele mit Druckluft betriebenen Zylinder und Motoren Teile von großen fix installierten Maschinen.

Dennoch sollte man sich einen Überblick über die Druckluftanwendungen im Betrieb verschaffen um Daten für mögliche Maßnahmen (Ersatz, Druckniveauabsenkung, mögliches Absperrern außerhalb der Betriebszeit, regelmäßige Kontrolle) zu erhalten.

Dazu werden zunächst alle Bereiche, in denen Druckluft verwendet wird, erhoben. Zum Beispiel: Labor, Werkstatt, Abblasen von LKWs, Materialtransport, Reinigung, Vakuumpumpen, Filterreinigung, Abfüll-, Verpackungsanlagen, Abblaspistolen, Membranpumpen, Spritzpistolen, Brandlüftungsklappen), Pneumatische Ventilbetätigung, Elektroventile in Schaltschränken (häufig undicht)

Erhebung von:

- Laufzeit (z.B. kein Bedarf am Wochenende)
- Erforderliches Druckniveau
- Tatsächliches Druckniveau
- Leckagenanfälligkeit

#### BEISPIEL GROSSVERBRAUCHER

Eine **Recyclingpumpe** benötigt 1,8 m<sup>3</sup> Druckluft / min (108 m<sup>3</sup>/h) bei einer Laufzeit von 6 h / 24 h. Der Druckluftbedarf entspricht 67,4 % der Leistung des Kompressors (2,57 m<sup>3</sup>/min). Zur Bereitstellung dieser Luftmenge benötigt der Kompressor ca. 14,6 kWh in der Stunde oder 87,6 kWh pro Tag, die Leerlaufleistung ist dabei unberücksichtigt. Pro Jahr (310 Tage) beläuft sich daher der Stromverbrauch auf 27.156 kWh, was **1.629 EUR/a an Kosten** entspricht und grob für Investitionen in mögliche Alternativen zur Verfügung steht.

## Werkzeuge

Sind auf Fließdruck ausgelegt (6,3 bar). Dabei handelt es sich um Fließdruck (im Gegensatz zum an der Wartungsstation angezeigten statischen Druck) der durch ein beim Arbeiten vor das Werkzeug geschalteten Manometer zu messen ist.

Auch zu geringes Druckniveau kann zu Energieverschwendung, z.B. durch Erhöhung der Bohrzeit führen:

Arbeitsdruck in bar	Bohrzeit in s
6,3 bar	2,0 sec
5,8 bar	3,2 sec

Beispiel aus Druckluffeffizient Deutschland

In vielen Fällen ist es möglich elektrische anstatt pneumatische Werkzeuge zu verwenden. Zum Beispiel hochfrequente elektrische Werkzeuge als Ersatz für Druckluft Schrauber und Bohrer.

### MASSNAHMEN VERBRAUCHER, WERKZEUGE

- Verbraucher hinterfragen
- Druckluft zur Reinigung, Kühlung, Trocknung, Transport und Zerstäuben von Flüssigkeiten vermeiden (z.B. Gebläse einsetzen)
- Einsatz von druckreduzierten Pistolen
- Einsatz von elektrischen Schleifern, Bohrern, Schraubern falls leichteres Gewicht und höhere Unfallsicherheit der Druckluftwerkzeuge nicht ausschlaggebend sind
- Beim Einsatz von pneumatischen Zylindern bei automatisierten Prozessen für Linear- und Drehbewegungen ist der Energieverbrauch zehnmal höher als bei elektrischen oder hydraulischen Antrieben.
- Spiralschläuche vermeiden (z.B. zwischen Netz und Balancer)
- Schlauchlänge reduzieren
- Schlauchdurchmesser beachten
- Verlustarme Kupplungen installieren
- Die meisten selbst entlüftenden Schnellkupplungen kosten viel Fließdruck (0,6 – 1,3 bar Fließdruck)
- Moderne Schnellkupplungen reduzieren die Verluste (auf ca. 0,2 bar)
- Ölschmierung in der Luftzufuhr nur wo nötig
- Turbinengetriebene oder mit ölfreien Lamellenmotoren ausgerüstete Werkzeuge benötigen keine Ölschmierung
- Öler sollte 3-5 Meter vom Werkzeug entfernt angeordnet werden.
- Anpassung des Fließdruckes an erforderlichen Arbeitsdruck

## Ansaugung und Druckluftaufbereitung

Die Optimierung des Trocknungs- und Filterprozesses kann jährlich 5% (in manchen Fällen auch 30%!), die Optimierung der Luftansaugung weitere 2% der Energie sparen. Grundlagen für die Druckluftaufbereitung sind: Kontrolle der Luftansaugung, ordnungsgemäße Wartung der Filter und Trockner, und Aufbereitung der Druckluft gemäß den Qualitätsanforderungen der Druckluftverbraucher.

### Druckluftqualität

Die vom Kompressor angesaugte und verdichtete Luft enthält neben einem großen Wasserdampfanteil auch Verunreinigungen anderer Art wie Ölaerosole, Staub, Bakterien u.v.a.

Diese Verunreinigungen können folgende Schäden verursachen:

- Korrosion und Verschmutzung im Leitungsnetz
- Druckverluste durch verunreinigte Rohrleitungen
- Höherer Verschleiß durch verminderte Schmierung
- Ausschuss oder Betriebsausfall an den Produktionsmaschinen, Lackieranlagen
- Störung von Instrumenten und Steuerungen

Bei stark unterschiedlichen Anforderungen an die Druckluft kann es ratsam sein, den Betrieb in Zonen einzuteilen so dass die Druckluft nur für die Verbraucher, die eine hohe Anforderungen an die Reinheit stellen, aufbereitet wird.

**DRUCKLUFTQUALITÄTSKLASSEN NACH DIN ISO 8573-1**

Klasse	Partikelgröße		Restwasser		Restölgehalt [mg/m <sup>3</sup> ]
	[µm]	[mg/m <sup>3</sup> ]	DTP [°C]	[g/m <sup>3</sup> ]	
1	0,1	0,1	-70	0,003	0,01
2	1	1	-40	0,12	0,1
3	5	5	-20	0,88	1
4	15	8	+3	6	5
5	40	10	+7	7,8	25
6	-	-	+10	9,4	-

\*) nicht spezifiziert

## EMPFOHLENE DRUCKLUFTQUALITÄTEN (BEISPIELE)

Anwendung	Partikelgröße		Restwasser		Restölgehalt	
	KL	[µm]	KL	DTP	KL	[mg/m³]
Atemluft	1	0,1	1 – 3	-70/-20°C	1	0,01
Spritzpistolen	1	0,1	2	-40°C	1	0,01
Medizintechnik	1	0,1	3 – 4	-20/+3°C	1	0,01
Meß- und Regeltechnik	1	0,1	4	+3°C	1	0,01
Förderung von Lebensmitteln und Getränken	2	1	3	-20°C	1	0,01
Sandstrahlanlagen	–	–	4 – 3	+3/-20°C	3	1
Allgemeine Werkluft	3	5	4	+3°C	5	25
Aufbruchhammer	4	15	5–4	+7/+3°C	5 – 4	25 – 5

Druckluftqualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1

## Luftansaugung

Saugt der Kompressor heiße oder verschmutzte Luft vom Innenraum an, steigen die Wartungs- und Energiekosten.

Die Lufttemperatur im Kompressorraum sollte möglichst nicht mehr als 20 °C, maximal jedoch 35 °C betragen. Dies vermeidet Schäden des Kompressors durch Überhitzung und führt zu einem wirtschaftlichen Betrieb des Kältetrockners sowie zu einem positiven Massenluftstrom des Kompressors. Pro 10 °C Temperaturabsenkung erhöht sich der Massenluftstrom um ca. 4 %. Daher ist für eine ausreichende Raumlüftung durch Abführung der Kompressorenabwärme zu sorgen. Gegebenenfalls ist die Ansaugluftöffnung nach draußen bzw. in kälteren Bereich zu verlegen. (Quelle WKO, Unterlage EUREM Energiemanagerkurs)

## Kältetrocknung

Das Prinzip der Kältetrocknung besteht darin, die Druckluft bis auf wenige Grad über Null abzukühlen, das anfallende Kondensat vom Druckluftstrom zu trennen und an die Umgebung abzuleiten. Die Kältetrocknung läuft in zwei Phasen ab: In der ersten Phase wird die Druckluft durch den bereits durch den Kältetrockner geströmte Luft vorgekühlt, in der zweiten durchströmt die Druckluft einen Kältemittel-/Luft-Wärmetauscher.

Für ca. 90 % aller Anwendungsfälle für Trockner ist die Kältetrocknung das wirtschaftlichste Verfahren. Nahezu 100% aller Feststoffpartikel und Wassertröpfchen, die größer als 3 µm sind, werden abgeschieden. Der Druckabfall beträgt nur ca. 0,2 bar.

## Adsorptionstrocknung

Adsorptionstrockner entziehen der Druckluft die mitgeführte Feuchtigkeit durch das Trockenmittel.

Zur Regeneration des Trockenmittels wird bei der **Kaltregeneration** ein Teil der bereits getrockneten Druckluft auf atmosphärischem Druck entspannt. Diese einfache Technik zeichnet sich durch geringe Investitionskosten aus, führt allerdings zu hohem Druckluftverbrauch und hohen Betriebskosten.

Bei der **Warmregeneration** wird erwärmte Umgebungsluft oder Luft aus dem System genutzt und mittels Gebläse über das Trockenmittelbett gefördert und mit Druckluft gekühlt. In einem Fall konnte ein Druckluftbedarf von 30% für die Regenerierung des Trockenmittels nachgewiesen werden!

Alternativ wird das Trockenmittel in Gebläse-, Saugkühlungs- oder Vakuumregenerationsanlagen ohne Druckluftbedarf regeneriert. Dadurch können die Betriebskosten oft beträchtlich sinken, die Investitionskosten sind dafür etwas höher.

Bei ölfrei verdichtenden Kompressoren kann auch die Kompressorwärme zur Regeneration des Adsorptionstrockner genutzt werden.

**Steuerungen** können über einen Sensor Änderungen des Drucktaupunktes registrieren und die Trockner an die Lastsituation anpassen. Im Standardfall sind Trockner mit zeitabhängigen Steuerungen ausgestattet.

Dynamische Anpassung des Trockners in Abhängigkeit der Außentemperatur kann Energie sparen. Dies gilt dann, wenn das Trocknen nicht zur Einhaltung bestimmter Qualitätsstandards für Prozesse geschieht, sondern im wesentlichen um die Luft über dem Taupunkt zu halten und damit um Kondensation zu vermeiden.

## Filtration

Filter entfernen Ölnebel von ölgeschmierten bzw. öleinspritzgekühlten Kompressoren, sowie Feststoffverunreinigungen und Kohlenwasserstoffe aus der Umgebungsluft, die sich in der Druckluft sonst aufkonzentrieren und die Arbeitsluft beeinträchtigen. Insbesondere sollte daher auch die Luftansaugung für die Druckluftanlage regelmäßig kontrolliert werden.

Je höher der Filtrationsgrad, je höher die Reinheit, desto höher der Differenzdruck und umso mehr Energie muss der Kompressor aufbringen. Zunächst sollte also die erforderliche Reinheit definiert und der Filter mit dem niedrigst möglichen Differenzdruck ausgewählt werden. Zu wenig Filtern oder Trocknen führt zu einem Produktionsverlust oder Produkten verminderter Qualität. Zu intensives Filtern oder Trocknen verschwendet Energie.

Filtertyp	Druckdifferenz	Abscheidegrad	Partikel Größe	Restölgehalt mg/m <sup>3</sup>
Zyklon-abscheider	> 0,05 bar	95 %	> 50 µm	Nicht beeinflusst
Vorfilter	> 0,03 bar	99,99 %	> 3 µm	Nicht beeinflusst
Mikrofilter	> 0,1 bar	99,9999%	> 0,01 µm	0,01
Aktivkohlefilter	> 0,02 bar	99,9999%	0,01 µm	> 0,005

Quelle: EUREM Unterlagen, WKÖ

Wichtig ist auch der **rechtzeitige Austausch** von verschmutzten Filterelementen. Ab einer gewissen Betriebszeit steigt der Differenzdruck sehr schnell an. In der Regel sollte ein Filterwechsel einmal pro Jahr, jedoch spätestens bei einem Druckverlust von 0,35 bar gewechselt werden. Aktivkohlefilter müssen je nach Ölgehalt max. nach 1.500 h bzw. drei Monaten getauscht werden.

Ein automatisches System zur Auslösung eines Alarms bei Überschreitung des definierten Differenzdrucks kann sich rasch rechnen.

Kriterien für die Filterauswahl sind

- Filtrationsleistung,
- Betriebssicherheit und
- Differenzdruck

## Vorabscheidung

Am Kompressorausstritt wird mit einem Zyklonabscheider durch Verwirbelung oder durch einen Druckbehälter durch Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit freies Kondensat ausgeschieden.

## Kondensattechnik

Das Kondensat entsteht durch die in der angesaugten Luft enthaltene Luftfeuchtigkeit. Bei der Verdichtung kommt es zur Übersättigung und bei Abkühlung zum Ausfall als Kondenswasser. Kondensat fällt also immer an, wenn die Temperatur in der Druckluft den Drucktaupunkt unterschreitet. (Nachkühler, Kessel, Zyklonabscheider, Filter, Trockner und bei im Freien verlegten Leitungen) Ölfreie Kondensate wirken säureartig, ölhaltige neigen zum Verkleben. Zur Vermeidung der hohen möglichen Kosten durch Folgeschäden muss der Kondensatableitung ein sehr hoher Stellenwert zugeordnet werden.

Jedoch können ungeeignete Methoden der Kondensatableitung zu hohen Druckluftverlusten führen.

Methode zur Kondensatableitung	Merkmale
Manuelle Bedienung des Ventils	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abhängig vom Personal, ob Ventil zur rechten Zeit und entsprechend lang geöffnet wird</li> <li>• Führt zu Druckluftverlusten, wenn das Ventil zu lange offen gelassen wird</li> </ul>
Schwimmersteuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Kondensatanfall öffnet bzw. schließt ein Schwimmermechanismus ein Ventil</li> <li>• Erfordert hohen Wartungsaufwand</li> <li>• Neigen zur Verstopfung durch Feststoffe und bleiben damit auch in offener Position (führt zu Leckage) oder in geschlossener Position (verhindert Kondensatausfall)</li> <li>• Geringe Investitionskosten</li> </ul>
Zeitgesteuerte Ventile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein über eine Zeitsteuerung geschaltetes Ventil öffnet in einem festen Intervall</li> <li>• Das Intervall kann zu kurz (Kondensat läuft nicht vollständig ab) oder zu lang (Luftverlust) sein</li> <li>• Erfordert Schmutzfänger um eine Verstopfung zu verhindern</li> </ul>
Elektronisch niveaugeregelter Ableiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein im Kondensatsammelraum befindlicher Sensor leitet bei Erreichung eines Sollwertes die Entleerung des Kondensatableiters ein.</li> <li>• Wird als sehr zuverlässig angesehen</li> <li>• Bringt keine Druckverluste mit sich</li> <li>• Der Kondensatsammelraum muss regelmäßig von Verschmutzungen gesäubert werden</li> </ul>

Für die Entsorgung des Kondensats ist für die sachgerechte Entsorgung durch legitimierte Fachfirmen oder auf geeignete Aufbereitung vor Entsorgung zu achten.

## MASSNAHMEN DRUCKLUFTAUFBEREITUNG

### TROCKNUNG

- Trocknung in Abhängigkeit von der Außentemperatur (wichtig bei außen verlegten Leitungen und wenn Trocknung nicht prozessbedingte Qualitätsanforderung)
- Meist Kältetrocknung effizienter als Warmregeneration
- Warmregeneration ohne Druckluftbedarf senkt die Betriebskosten
- Druckluftbedarf für Warmregeneration abschätzen (falls zutreffend)

### ANSAUGUNG und FILTER:

- Ansaugöffnung gegebenenfalls nach außen oder in einen kälteren Bereich verlegen. (Raumtemperatur sollte 20 °C, max. 35 °C nicht überschreiten)
- Ansaugöffnung regelmäßig kontrollieren (evt in Nähe von Abluftöffnung, Verkehrsflächen, Lager mit Staubbelastung?)
- Verschmutzte Ansaugluftfilter regelmäßig reinigen bzw. ersetzen, alle 500 h bei Kolbenkompressoren, 2000h bei Schraubenkompressoren, 4000 h Rotationskompressoren
- Nicht mehr Filter als unbedingt nötig einsetzen (in Abhängigkeit von der benötigten Druckluftqualität)
- Zusätzliche Filterkapazität installieren. Einsatz von parallelen Filtern vermindert die Luftgeschwindigkeit und damit den Druckabfall. (bei bestehenden und neuen Systemen einsetzbar.
- Filter regelmäßig wechseln, in Abhängigkeit des Druckabfalls!
- überflüssige Filter und Wartungseinheiten entfernen
- Filter nicht nur nach passender Anschlussgröße, sondern auch nach der Durchflussleistung auswählen
- Billige Filter sind meist in der Filterwirkung nicht schlechter, weisen aber oft einen höheren Anfangsdruckverlust auf.
- Bei Wartungseinheiten darauf achten, dass sie nicht unterdimensioniert sind

### KONDENSATABSCHEIDUNG

- Elektronisch niveaugeregelte Kondensatableiter verwenden
- Einstellung des Öffnungsmechanismus bei zeitgesteuerten Ventilen überprüfen
- Regelmäßige Wartung des Kondensatsammelraums
- Regelmäßige Wartung der Schwimmer

## Speicherung von Druckluft

### Pufferfunktion

Die Förderung von Druckluft muss mit der diskontinuierlichen Abnahme durch die Druckluftverbraucher abgestimmt werden. Dazu können Druckluftbehälter (zentrale Puffer) einen wertvollen Beitrag leisten, indem sie die Schalthäufigkeit von Kompressoren vermindern und große Druckschwankungen im System verhindern.

Folgende Berechnungsformel ermittelt die Minimalgröße für den Druckluftbehälter:

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

$V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [m<sup>3</sup>]

$\dot{V}_1$  = Liefermenge des schaltenden Kompressors [m<sup>3</sup>/h]

$\dot{V}_2$  = Spitzenverbrauch minus Durchschnittsverbrauch [m<sup>3</sup>/h]

$x = \dot{V}_1 : \dot{V}_2$  = Auslastungsfaktor [m<sup>3</sup>/h]

$z$  = zulässiges Schaltspiel [1/h]

$\Delta p$  = Druckdifferenz EIN/AUS [bar]

$z = 45$  für Schraubenkompressoren (Volllast; Leerlauf)

Daumenwert  $(x - x^2) = 0,25$

Kompressorleistung	Gängige z-Werte/h bei Motorschaltung
7,5 kW	20
11-55 kW	8-6
75-160 kW	4
200-450 kW	3

Quelle: [www.agre.at](http://www.agre.at)

Ein dezentraler Puffer dient dazu, Druckluftverbraucher, die schlagartig große Verbräuche haben, mit Druckluft zu versorgen und dabei einen Druckeinbruch im restlichen Druckluftnetz zu verhindern. Er muss gemäß des Druckluftbedarfs, der Laufzeit und der erlaubten Druckschwankung ausgelegt sein und mit einem Ventil zur Vermeidung von ins Netz zurückfließender Druckluft ausgestattet sein.

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

$V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [m<sup>3</sup>]

$\dot{V}$  = Luftverbrauch [m<sup>3</sup>/min]

$t$  = Zeit des Luftverbrauchs [min]

$\Delta p$  = erlaubter Druckabfall [bar]

## Kondensatabscheidung

Weiters wird Kondensat durch Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit und Abkühlung durch Abstrahlung an den Behälterwänden abgeschieden und entlastet damit den Trockner, allerdings ist der Behälter mit 100% gesättigter Luft gefüllt. Im Falle einer plötzlich eintretenden Bedarfsspitze kann der Trockner überlastet werden. Falls der Behälter dem Trockner nachgeschaltet, wird der Pufferspeicher mit trockener Luft gefüllt und ein plötzlicher Bedarf über die Kompressor- und Trocknerkapazität hinausgehend kann mit trockener Luft gedeckt werden. Eine Möglichkeit diesem Dilemma zu begegnen ist die Installation eines Druckluftbehälters vor und eines Behälters nach dem Trockner, wobei der zweite zumindest gleich groß wie der erste sein sollte.

## Wartung

Während die Kosten eines Druckluftsystems über die Gesamtlebensdauer mit 70 bis 80% eindeutig von den Energiekosten geprägt sind, machen die Wartungskosten, d.h. der Ersatz von Komponenten, Öl, Filter und Arbeitskosten, unter 10 % aus. (Der Rest sind Investitionskosten mit 15 bis 20%).

Allerdings darf man daraus nicht auf die Bedeutungslosigkeit der Wartung schließen. Im Gegenteil: eine ordnungsgemäß durchgeführte Wartung kann einen großen Einfluss auf den großen Kostenblock des Energieverbrauchs haben!

Wichtige Einflussgrößen auf die Wartungskosten sind die Qualität der angesaugten Luft, die Qualität der Luftaufbereitung aber auch die Anzahl der Kompressorstandorte.

### MASSNAHMEN WARTUNG

- Erhebung der Wartungskosten (Extern: aus Verträgen, intern: Abschätzung der Arbeitsstunden mal internen Arbeitskosten)
- Erhebung der tatsächlich durchgeführten Wartungsarbeiten
- Betriebsstunden regelmäßig notieren (zwischen Last- und Leerlaufstunden unterscheiden); Alternativ: Auswertung der Aus- und Einschaltzeiten aus zentralem Leitsystem (Anstieg der Betriebsstunden weist auf gestiegene Verluste hin)
- Druckverlust vom Kompressor zu den Verbrauchern überprüfen (nicht über 0,5 bar; Kältetrockner 0,3 bar, Leitungen 0,1 bar, Filter 0,1 bar)
- Reinigung oder Austausch von schmutzigen Saugfiltern (Einsparpotential 15-40%) Normale Austauschintervalle sind alle 500 h bei Kolbenkompressoren, 2000h bei Schraubenkompressoren oder 4000h bei Rotationskompressoren.
- Regelmäßige Überprüfung der Kühler auf Verschmutzung und bei Bedarf Reinigung.
- Regelmäßige Reinigung des Wärmetauscher vom Kältetrockner (monatlich).
- Regelmäßiger Austausch der Druckluftfilter (jährlich); optimaler Druckverlust 0,05 bar.
- Bei Kolbenkompressoren Ventile regelmäßig überprüfen, da sie stetig an Dichtigkeit einbüßen. Ventildfedern können erlahmen, brechen oder verrußen. Dadurch kann die Liefermenge um bis zu 50 % reduziert werden.
- Keil- und Riemenspannung regelmäßig überprüfen, Kupplungslamellen auf Abnutzung untersuchen.
- Regelmäßige Öl- und Filterwechsel
- Regelmäßigen Abscheideelementwechsel (2000h bzw. 4000h) vorsehen.
- Austausch der Lager von Schraubenkompressoren alle 25.000 Betriebsstunden.
- Überprüfung der Leckagen bei Betriebsstillstand!

## Wärmerückgewinnung

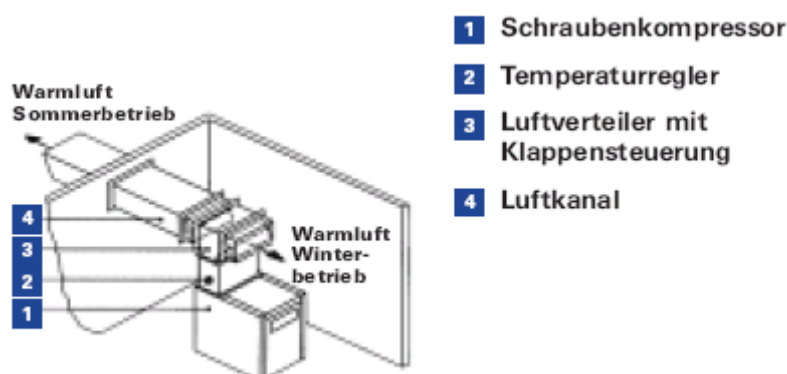
Rund 80% der Kompressor-Nennleistung stehen als nutzbare Wärme zur Verfügung. Da die Luft im Kompressorraum eigentlich 20°C (max. 35°C) nicht überschreiten sollte, kann die anfallende Wärme für die Gewinnung von Heizluft, Brauchwasser-Erwärmung und Heizwasser-Erwärmung oder für andere Anwendungen verwendet werden (Trocknung, Vorwärmung, Reinigungszwecke...). Kriterium sind oft die Kosten für das derzeit genutzte Heizsystem, die bei Nutzung von elektrischer Energie für diesen Zweck besonders hoch sind.

Die Wärme entspricht aber nur in seltenen Fällen dem aktuellen Bedarf des Heizungssystems. Daher kann eine elektronische Steuereinheit für eine bedarfsgerechte Temperaturregelung notwendig sein.

## Raumheizung durch Abluft

Voraussetzung ist ein **luftgekühlter Kompressor**, die erwärmte Kühlluft wird über ein Kanalsystem zur Raumbeheizung verwendet. Durch temperaturgesteuerte Klappen wird eine geregelte, einstellbare Raumtemperatur erzielt. Die Länge der Kanäle ist durch die Restpression des Kompressors und der bei langer Verweilzeit auftretenden Wärmeverluste begrenzt. Für längere Kanäle werden Zusatzventilatoren benötigt. Im Winter wird die Wärme der Abluft ganz oder teilweise für Heizzwecke genutzt, im Sommer wird sie über einen Abluftkanal ins Freie geblasen. Zu beachten ist der mögliche Druckabfall (und damit einhergehend eine reduzierte Energieeffizienz des Kompressors) im Kompressorraum für den Fall, dass die Luft nicht von außen angesaugt wird. Weiters könnte etwas Heizluft für den Kompressorraum notwendig sein, falls die Luft von außen angesaugt wird.

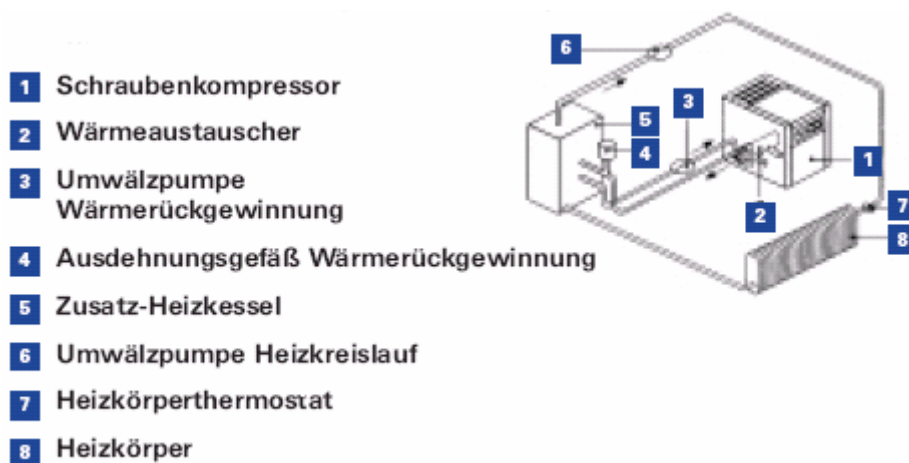
Für die Amortisationszeit können für Heizzwecke nur die Wintermonate herangezogen werden. Weitere ganzjährige Anwendungen: Trocknungsprozesse, Luftvorwärmung für Ölbrenner.



## Warmwasser für Heizzwecke

Bei luft- oder wassergekühlten Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung ist die Rückgewinnung der Wärmeenergie besonders einfach, da allein über den Ölkühler ca. 72% der aufgenommenen Energie als Wärme abgeführt werden.

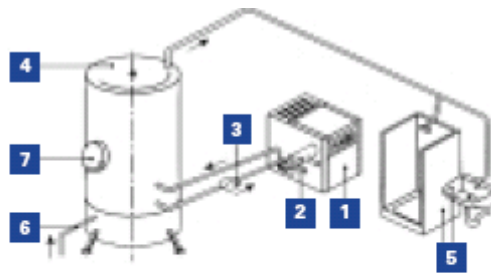
Bei der Heizwasserbereitung kommen einfache Platten-Wärmeaustauscher mit hoher Wärmeausnutzung zum Einsatz, der Heizungswasser um 50 K (auf bis zu 70°C) erwärmen kann. Durch die Einsparung von Heizkosten kann sich die Anlage in weniger als einem Jahr amortisieren. Zu beachten ist, dass nur Heizungswasser erwärmt wird, wenn der Kompressor im Lastbetrieb arbeitet und daher nur zur Unterstützung des Heizungskreislaufs im Winter dienen kann. Warmes Wasser kann auch für industrielle Reinigungsprozesse, für Galvanisierungsprozesse, zum Betrieb von Wärmepumpen oder in der Wäscherei genutzt werden.



## Wärme für Brauchwasser

Der Vorgang der Wärmerückgewinnung ist der gleiche wie bei der Heizwassererwärmung. Der Einsatz von Sicherheits-Wärmeaustauschern bzw. von Zwischenkreisläufen verhindert selbst bei Defekten ein Eindringen des Öls in das Brauchwasser. Das wird durch ein Doppelrohr erreicht, in dem zwei Rohre ineinander stecken. Durch das Innere strömt das Wasser, das erwärmt werden soll. Im Raum zwischen den beiden Rohren steht ein Sperrmedium, das durch einen Druckwächter überwacht wird. Bei einem Durchbruch löst der Wächter einen Alarm aus. Bei diesem System kann Brauchwasser um 35 K auf ca. 55°C erwärmt werden, eine Amortisation ist über das ganze Jahr möglich.

- 1** Schraubenkompressor
- 2** Sicherheits-Wärmeaustauscher
- 3** Umwälzpumpe
- 4** Warmwasserspeicher
- 5** Warmwasserverbraucher
- 6** Wassereinspeisung
- 7** Zusatzheizung (elektrisch)



Bildernachweis: AGRE, Drucklufttechnik 2006/2007, [www.agre.at](http://www.agre.at)

## Quellen und weitere Informationen unter:

AGRE, Drucklufttechnik 2006/2007, [www.agre.at](http://www.agre.at)

Blaustein, E., Radgen, P.: Compressed Air Systems in the European Union, Energy Savings Potential and Policy Actions, Stuttgart, 2001

Das Europäische Motor Challenge Programm, Modul Druckluftsysteme, Brüssel, 2003

<http://www.energyagency.at/projekte/motor.htm>

<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge/>

EUREM European Energy Manager, Unterrichtsunterlagen, Wirtschaftskammer Österreich, 2004/2005

Improving Compressed Air System Performance, a Sourcebook for Industry, United States Department of Energy, 2004

[www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de)

[www.druckluft-effizient.ch](http://www.druckluft-effizient.ch)