

Unterlagen wurden für Sie zusammengestellt von



zum Thema

# Effiziente Energienutzung beim Drucklufteinsatz in Gewerbe und Industrie

erstellt im Auftrag von

Wirtschaftskammer OÖ  
mit der Ökologischen Betriebsberatung  
&  
dem O.Ö. Energiesparverband

erschienen  
1999

**WINenergy! ist eine Gemeinschaftsinitiative von:**





**Branchenkonzept**

**Effiziente Energienutzung**

**beim**

**Drucklufteinsatz**

**in**

**Gewerbe und Industrie**



# Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort/Einleitung
1	Grundlagen
1.1	Einleitung/Geschichte
1.2	Physikalische Grundlagen
1.3	Druckluft in den einzelnen Branchen Druckluftqualität Vor- und Nachteile der Druckluft
2	Druckluftherzeugung
2.1	Bauarten von Verdichtern
2.2	Marktsituation
2.3	Standortwahl
2.4	Druckbehälter
2.5	Steuerungen von Druckluftherzeugern
2.6	Laststeuerung und Lastmanagement
2.7	Kältetrockner
2.8	Wärmerückgewinnung
3	Druckluftverteilung
3.1	Netzdimensionierung
3.2	Druckverlust (Druckabfall)
3.3	Leckverluste
4	Druckluftanwendung
4.1	Endgeräte / Verbraucher
4.2	Alternative Technologien
5	Energiesparmöglichkeiten bei bereits bestehenden Anlagen
5.1	Grundlegende Überprüfung der Funktionen
5.2	Wartung und Unterhalt
5.3	Hauptursachen für uneffizienten Drucklufteinsatz
6	Planung von Neuanlagen
6.1	Bedarfsermittlung
6.2	Betriebsdruck
6.3	Wahl der Maschinengröße und Art
6.4	Wahl der Druckbehälter
6.5	Wahl der Steuerung Sinnhaftigkeit einer Wärmerückgewinnung
7	Anhang
	Normen und Vorschriften
	Generelle Sicherheitsbestimmungen
	Checkliste Wartungsarbeiten
D)	Literaturliste

## 0. Vorwort/Einleitung

Druckluft ist dank ihrer Sicherheit, Elastizität und Umweltfreundlichkeit ein weit verbreiteter Energieträger. Praktisch in jedem Handwerksbetrieb und vor allem in jedem Industriebetrieb befindet sich eine Druckluftanlage. Ziel der vorliegenden Publikation ist es, die Einflüsse für die wirtschaftlich optimale Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung aufzuzeigen.

Den wenigsten Anwendern ist jedoch bewußt, dass, um mit Druckluftwerkzeugen 1 kWh Arbeit zu leisten, ca. 10 kWh elektrische Energie aufgewendet werden müssen.

Ein wichtiges Kapitel um Einsparungen schnell und ohne großem Aufwand zu erzielen, ist ein einwandfreie Wartung der Kompressoren und der Verteilernetze.

Mit folgenden Maßnahmen lassen sich darüber hinaus in den meisten Fällen massive Einsparungen je nach Anlagengröße bis 20 % erreichen.

- Überprüfung des Einsatzes eines anderen Energieträgers (Elektrik, Hydraulik)
- Fachlich fundierte Planung bei Neuanlage
- Überprüfung bestehender Anlagen hinsichtlich Konzept und Zustand
- Abwärmenutzung

Der heutige Wissensstand der Industrie reicht aus, um die Sparmaßnahmen sofort zu verwirklichen. Uns bleibt die Aufgabe, den Betreibern von Druckluftanlagen aufzuzeigen, wieviel Geld die Energie Druckluft kostet und mit welchen Maßnahmen diese Kosten gesenkt werden können.

# 1. Grundlagen

## 1.1. Einleitung/Geschichte

Schon in prähistorischer Zeit bediente sich der Mensch der Druckluft: von dem Augenblick an, in dem er lernte, das Feuer zu beherrschen, setzte er Druckluft ein, um zB ein flackerndes Feuer durch Anblasen voll zu entfachen. Die menschliche Lunge fungierte dabei als eine Art natürlicher Kompressor. Immerhin sind die Leistungsdaten dieses Organs mit bis zu 100 l/min bei 0,02 bis 0,08 bar doch recht beachtlich.

Aus der Notwendigkeit heraus, Metalle wie Gold, Kupfer, Zinn und Blei zu schmelzen, entstand der handbediente Blasebalg und später, etwa 1500 vor Chr., kam der fußbediente Blasebalg auf, der es ermöglichte, auch Kupfer- und Zinnlegierungen herzustellen.

Als im ausgehenden 18. Jahrhundert die Bohrmaschine für Kanonenrohre erfunden war, konnten auch große, exakt bearbeitete gußeiserne Zylinder hergestellt werden; damit war die Voraussetzung geschaffen, einen Kompressor mit Kolben zu bauen. 1776 wurde der erste Kolbenkompressor in einer Maschinenfabrik in England installiert. Er war für einen Druck von nur 1 bar ausgelegt, da die eingesetzten Ventile noch aus Holz bzw. Leder waren und somit keine höheren Verdichtungstemperaturen zuließen. Später ersetzte man diese Ventile durch Stahlplattenventile, sodass auch höhere Drücke erreicht und damit höhere Temperaturen technisch bewältigt werden konnten.

Mit der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Druckluft zunehmend zu einem wichtigen Energie- und Arbeitsmedium. Durch den Einsatz der Druckluft im Handwerk und im Bauwesen wurden viele Arbeiten spürbar erleichtert und zum Teil überhaupt erst möglich gemacht.

Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts mit der fortschreitenden Industrialisierung und Rationalisierung hat sich das Anwendungsspektrum der Druckluft ständig erweitert. So ist Druckluft heute ein wichtiger Bestandteil unserer modernen Arbeitswelt. Ihre Anwendung trägt in hohem Maße zu unserem heutigen Lebensstandard bei.

## 1.2. Physikalische Grundlagen

Luft ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das aus 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff und 1 % anderer Gase besteht. Druckluft ist verdichtete atmosphärische Luft. Sie ist ein gasförmiger Energieträger und ermöglicht es, Energie über eine gewisse Entfernung zu leiten und am Ende bei ihrer Entspannung unter Ausnutzung des Druck- und Wärmegefälles Arbeit zu leisten.

### Gasgesetze:

#### 1. Boyle-Mariottesches Gesetz:

Robert Boyle entdeckte 1662, dass bei konstanter Temperatur das Volumen eines Gases umgekehrt proportional dem Druck ist.

$$P \text{ prop. } T / V \quad \text{bzw.} \quad P * V \text{ prop. } T$$

#### 2. Gay-Lussac Gesetz:

Gay-Lussac veröffentlichte 1802 das Gasgesetz, welches wie folgt lautet: Wird eine bestimmte Gewichtsmenge eines Gases bei unveränderlichem Druck erwärmt, so nimmt ihr Rauminhalt für jeden Grad um 1/273 des Raumes zu, den sie bei 0°C und dem gleichen Druck einnimmt. Bei Abkühlung tritt eine entsprechende Raumverminderung ein.

$$\text{Volumen 1 / Volumen 2} = \text{Temperatur 1 / Temperatur 2} = \text{const.}$$

### Druck

Druck ist die auf eine Fläche wirkende Kraft. Die genormte Druckeinheit ist nach DIN 1314 das Pascal. Es entspricht dem Druck von 1 Newton pro Quadratmeter.

1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	1 N = 0,102 kp
1 Pa = 0,102 kp/m <sup>2</sup>	1 bar = 1,02 kp
1 Pa = 0,000001 bar	1 bar = 100000 Pa

Der Begriff „Druck“ wird in der Praxis häufig für verschiedene Druckgrößen oder –differenzen benutzt. Der **Normdruck** wurde auf 1,01325 bar festgelegt. Der **Umgebungsdruck** ist wetter- und höhenabhängig und weicht in den meisten Fällen vom Normdruck ab. Der **absolute Druck** ist die Summe von *Umgebungsdruck* und *Überdruck*. Die Differenz zweier Drücke wird als *Druckdifferenz* bezeichnet. Technisch nutzbar sind nur der Überdruck oder das Vakuum.

### Temperatur

Normalerweise messen wir Temperaturen in Grad Celsius (°C).

0 °C ist der Gefrierpunkt, 100 °C der Siedepunkt des Wassers.

Die Temperatur, bei der alle Moleküle bewegungslos sind, heißt absoluter Nullpunkt. Er liegt bei – 273,2 °C und ist der Anfang der Kelvinschen Temperaturskala.

1 K entspricht 1 °C.

### 1.3. Druckluft in den einzelnen Branchen

Druckluftmotoren, ursprünglich für Antriebsaufgaben im explosionsgefährdeten Bereich von Kohlebergwerken und Chemiebetrieben bestimmt, haben inzwischen eine unübersehbare Zahl der verschiedenen Einsatzarten gefunden.

Druckluft wird jedoch auch als Prozeßluft benötigt, wobei vor allem in der Nahrungsmittel- und in der chemischen Industrie hohe Standards angewandt werden. Als Pneumatik (Drucklufttechnik) wird die technische Verwendung der Druckluft zum Antrieb und zur Steuerung von Maschinen bezeichnet.

Anwendungen in verschiedenen Branchen in Übersicht							
Anwendung ⇒ Branche ↓	Steuern	Mech. Bewegung	Maschinenantrieb	Lackieren Beschichten	Pressen, Spannen	Prüfen	Dosieren
Kfz		•	•	•	•	•	
Metall	•	•	•	•	•	•	•
Holz	•	•	•	•	•		•
Papier	•	•	•		•	•	•
Kunststoff	•	•	•	•	•		•
Umwelttechnik	•	•				•	•

### 1.4. Druckluftqualität

Die vermehrte Druckluftanwendung in der Steuertechnik, Oberflächenbearbeitung und -behandlung sowie vor allem in Arbeitsprozessen, bei denen die Druckluft mittel- oder unmittelbar mit dem Produktionsgut in Berührung kommt, hat die Anforderungen an die Druckluftqualität steigen lassen.

Die an die Druckluft zu stellenden Anforderungen werden durch den einzelnen Verwendungszweck bestimmt. Entsprechend individuell ist somit die Wahl des Verdichtungsprinzips (ölfrei oder öleingespritzt verdichtend) und der zu treffenden Druckluftaufbereitungsmaßnahmen. Da die Druckluftqualität die Investitions- und Betriebskosten direkt beeinflusst, sind übersteigerte Qualitätsanforderungen zu vermeiden. Andererseits steht fest, dass bei Verwendung von trockener und entsprechend staub- und ölfreier Druckluft die Anwendung wirkungsvoller und wirtschaftlicher wird, weil durch Wasser oder Eis und Staub verursachte Störungen (Korrosion, Reduzierung der Wirkung von Schmiermitteln, Verstopfungen von Steuerkanälen und Düsen, Verschleiß) wegfallen und so Ausschuß und Produktionsausfall vermieden werden.

## 1.5. Vor- und Nachteile der Druckluft

### Günstige Aspekte:

- Druckluft kann in Rohr- oder Schlauchleitungen einfach über größere Entfernungen befördert werden.
- Rückleitungen entfallen, da die Druckluft nach verrichteter Arbeit ins Freie abgelassen wird.
- Sie lässt sich in Druckbehältern lange speichern, brennt nicht, verursacht keine Funken und löst deshalb keine Explosionen aus.
- Sie ist zusammendrückbar (kompressibel) und dämpft harte Stöße.
- Vorschubkräfte und Vorschubgeschwindigkeiten können stufenlos eingestellt werden.
- Pneumatikzylinder und Druckluftmotoren erreichen hohe Geschwindigkeiten.
- Sie können ohne Überlastung bis zum Stillstand abgebremst werden.
- Pneumatische Motoren haben gegenüber Elektromotoren ein geringeres Leistungsgewicht.
- Die meisten Betriebe verfügen über eine Druckluftanlage, an die pneumatische Aggregate angeschlossen werden können.

### Ungünstige Aspekte:

- Der Überdruck in pneumatischen Anlagen beträgt meist etwa 6-10 bar. Dies lässt nur begrenzte Kolbenkräfte und Drehmomente zu.
- Durch die Kompressibilität der Luft sind gleichförmige Kolbengeschwindigkeiten bei wechselnder Belastung nur bedingt möglich.
- Die Kompressoren benötigen als Antriebsenergie Elektrizität. Bei der Energieumwandlung entstehen hohe energetische Verluste.
- Verdichter, Ventile und Druckluftmotoren verursachen erhebliche Geräusche und müssen schallgedämpft werden.

## 2. Drucklufterzeugung

### 2.1. Bauarten von Verdichtern

Wie schon erwähnt, wird Druckluft durch Komprimieren atmosphärischer Luft erzeugt. Dabei gibt es viele Möglichkeiten dies zu bewerkstelligen:

#### Kolbenkompressor

Sie werden überall dort eingesetzt, wo mittlere und hohe Drücke und kleine Massenströme benötigt werden. Einsatzgebiete sind in erster Linie die Handwerks- und Gewerbebetriebe.

Vorteile von Hubkolbenverdichtern	Nachteile von Hubkolbenverdichtern
Verdichtung nahezu aller technischen Gase möglich	höherer Bedarf an Verschleißteilen
wirtschaftlich bei Drücken über 15 bar	
wirtschaftlich als Nachverdichter	

#### Aufbau und Arbeitsweise:

Unter Kolbenkompressoren versteht man Verdrängermaschinen, bei denen mit einem Kolben, der eine Hubbewegung ausführt, Gase meist durch selbsttätige Ventile (Saug- und Druckventil) in einen Zylinder gesaugt und dann auf ein höheres Druckniveau verdichtet werden. Kolbenkompressoren eignen sich dank der guten Abdichtung zwischen Kolben und Zylinderwand generell für hohe Druckverhältnisse – auch bei kleinen Massenströmen. Entsprechend dem geforderten Druckverhältnis werden Kolbenverdichter ein- oder mehrstufig ausgeführt.

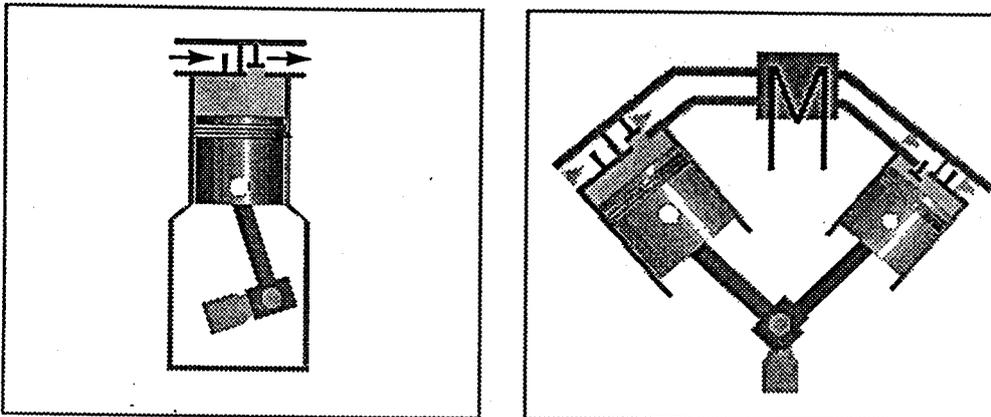


Bild 1 : Kolbenkompressor

#### Schraubenkompressor

Sie werden hauptsächlich in Handwerksbetrieben angewendet, vorausgesetzt es werden größere Luftmengen benötigt. Das zur Zeit für Maschinengrößen ab 7,5 kW meist eingesetzte System. Vorteile der Schraubenverdichter sind ihre geringe Baugröße, der Wegfall freier Massenkräfte, die kontinuierliche Luftförderung, ihre Wartungsarmut und der zuverlässige Betrieb. Ölüberflutete Schraubenverdichter zeichnen sich darüber hinaus durch relativ niedrige Verdichtungsendtemperaturen aus.

Für Drücke von 3 bis 20 bar.

**Aufbau und Arbeitsweise:**

Der Schraubenkompressor hat zwei drehende Teile (Haupt- und Nebenläufer), die durch Öleinspritzung keine metallische Berührung haben. Saug- bzw. druckseitige Ventile sind nicht vorhanden. Dadurch entsteht auch bei langer Laufzeit kein Verschleiß und eine immer gleichbleibende Liefermenge ist gewährleistet. Als Folge des schraubenförmig stark verwundenen Profils der Rotoren bilden sich beim Umlauf geschlossene, sich zur Druckseite hin verengende Räume, in denen die angesaugte Luft transportiert und verdichtet wird.

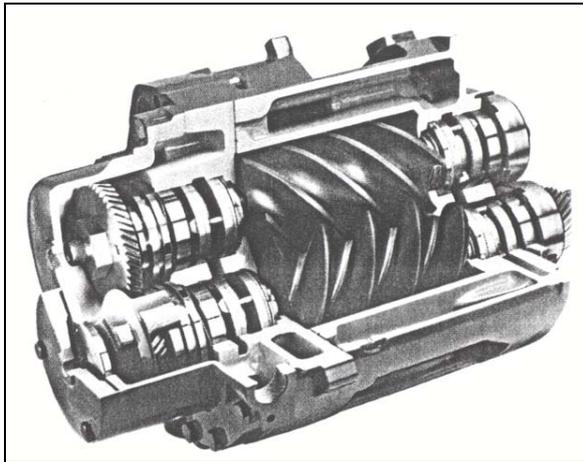


Bild 2 : Schraubenkompressor

**Membrankompressor**

Eine Sonderbauart des Kolbenkompressors, geeignet für niedere Drücke unter Verwendung von Membranen aus Gummi oder Kunststoff, die den Kompressorraum vom Antrieb luftdicht trennen und mit kleinen Hübten arbeiten.

**Dreh- oder Wälzkolbengebläse (Roots-Gebläse)**

Überall dort, wo große Luftmengen mit geringen Drücken und möglichst ölfrei benötigt werden, setzt man Wälzkolbengebläse ein, zB beim pneumatischen Transport von staubförmigen Gütern, Gegenspülungen von Filtern, Belüftung von Wasserspeichern oder Klärbecken. Diese Kompressoren haben keine innere Verdichtung. Der Druck baut sich auf, wenn die durch den Wälzkolben eingeschlossene Luft gegen den Staudruck in der Leitung ausgeschoben wird.

**Radial-Kompressor**

Er ist eine Strömungsmaschine und kann deshalb in einer Stufe nur geringe Drücke erreichen, dafür eignet er sich für sehr große Liefermengen.

**Vielzellenverdichter (Drehschieber-Verdichter)**

Ein exzentrisch gelagerter Rotor teilt mittels Lamellen immer enger werdende Zellen. Für Drücke zwischen 1 und 8 bar.

Neben der Art der Verdichtung können Kompressoren auch noch nach der Art der Schmierung und nach der Art der Kühlung unterschieden werden. Man unterscheidet also

**ölgeschmiert**

Triebwerke, Führungen und die Kolben sind mit Öl geschmiert. Das Öl kommt mit der zu verdichtenden Luft in Berührung und vermengt sich mit dieser.

**öleingespritzt**

Das Öl wird nicht nur zu Schmierzwecken eingesetzt, sondern als Kühlmittel direkt in die Luft eingespritzt.

**ölfrei**

Weder die Kolben noch das Triebwerk werden mit Öl geschmiert. Es werden dauer- und fettgeschmierte, geschlossene Lager verwendet.

**trockenlaufend**

Die Kolbenringe sind aus Teflon und laufen ohne Schmierung oder berührungslos wie die Labyrinth und trockenlaufenden Schraubenkompressoren.

**luftgekühlt**

Die an den Zylindern, Zylinderköpfen und Zwischenkühlern auftretende Wärme wird mit einem Luftstrom abgeführt. Bei öleingespritzten Schraubenkompressoren wird das Öl in einem Ölkühler mit Luft gekühlt. Die Ab- und Zuluftweiterleitung von großen Wärmemengen bedingt große Querschnitte der Zu- und Abluftkanäle.

**wassergekühlt**

Die Wärme wird am Zylinder und am Zylinderkopf in einer Ummantelung mit Wasser abgeführt, bei öleingespritzten Schraubenkompressoren im wassergekühlten Ölkühler. Die Wasserkühlung ermöglicht die Wärme mit geringem Querschnitt weit zu transportieren.

**ölgekühlt**

Ölgeschmierte Schraubenkompressoren sind im Grunde genommen ölgekühlt. Das Öl wird etwa im Verhältnis 5:1 in die vorverdichtete Luft eingespritzt und entzieht der Luft so während des Verdichtungs Vorganges die Wärme, welche erst sekundär mit Luft oder Wasser weggeführt wird.

## 2.2. Marktsituation

### Kleinkompressoren bis 3 kW

#### Verbreitung

Kompressoren dieser Größenordnung machen zahlenmäßig den größten Teil aus. Bis 2,2 kW werden sie mehrheitlich mit Einphasen-Lichtstrom 220 V betrieben.

#### Anwendung

Ein Einsatzgebiet ist der Hobby- und Freizeitmarkt. Große Verbreitung findet man unter den Kleinhandwerkern, Kleingaragen und im Malergewerbe. Kleinkompressoren werden auch als Steuerluftkompressoren, Druckhaltekompressoren für Wasserversorgungen und für pneumatische Türen etc. gebraucht.

#### Art

Meist werden kleine, leichte Kolbenkompressoren in einstufiger Bauart eingesetzt. Deren Wirkungsgrad ist schlecht. Verursacht ist dies vor allem wegen der Einstufigkeit, den hohen Drehzahlen und dem beschränkten technischen Aufwand zur Erzielung von besseren Wirkungsgraden. Da die Kompressoren nur wenige Betriebsstunden pro Jahr aufweisen, wäre dieser Aufwand auch nicht gerechtfertigt und würde vom Markt nicht honoriert.

### Kompressoren von 4 bis 15 kW

#### Verbreitung

Eine genaue Statistik existiert nicht. Aufgrund von Erhebungen bei den wichtigsten Anbietern von Kompressoren dieser Größenordnung weiß man, dass ab 4 kW diese Kompressoren etwa 50 - 60 % der jährlich neu verkauften Stückzahlen ausmachen.

#### Anwendung

Das Haupteinsatzgebiet ist die kleine und mittlere Industrie. Praktisch in jeder Werkstatt stehen solche Kompressoren zum Ausblasen, Steuern, Zylinderbetätigen, Farbspritzen, Pressen, Schleifen, Schrauben etc.

#### Art

In dieser Größenordnung werden hauptsächlich Schraubenkompressoren eingesetzt. Nur dort, wo Drücke größer als 13 bar verlangt werden, ist der Kolbenkompressor konkurrenzlos - sowohl preislich als auch vom Wirkungsgrad her. Bei Anlagen ab 11 kW sind die Aggregate auch von den Behältern getrennt. Wegen der geringeren Lärmentwicklung und Vibration ist trotz des schlechteren Wirkungsgrades der Trend zum Schraubenkompressor ungebrochen.

## **Kompressoren von 18,5 bis 90 kW**

### **Verbreitung**

Diese Kompressorgrößen findet man hauptsächlich in der Industrie. Die Stückzahlen, die jährlich neu verkauft werden, umfassen 15 - 20 % des Marktes.

### **Anwendung**

Das Einsatzgebiet ist die Druckluftversorgung von ganzen Industriegebäuden, innerhalb denen die Druckluft für die unterschiedlichsten Zwecke gebraucht wird.

### **Art**

Hier hat der Schraubenkompressor den Kolbenkompressor bei Neuanschaffungen praktisch verdrängt. Bei älteren Anlagen ist auch der Rotationskompressor gut vertreten. Für niedere Drücke, z.B. in Kläranlagen zum Belüften der Becken, werden Drehkolbengebläse eingesetzt.

## **Kompressoren ab 110 kW**

### **Verbreitung**

Der Markt von 2 - 3 % verteilt sich auf die wenigen größeren Industrien. In dieser Kategorie finden sich auch die ölfreien Schraubenverdichter.

### **Anwendung**

Zum Teil dient die Druckluft zur Versorgung der Fabriken und zum anderen Teil handelt es sich ausschließlich um Prozeßluft.

### **Art**

Neben dem Schraubenkompressor wird in relativ wenigen Fällen für große Liefermengen der Turboverdichter eingesetzt.

### 2.3. Standortwahl

Nicht immer hat man tatsächlich die freie Wahl zur Aufstellung der Kompressoranlage. Bei allen Planungen sollten jedenfalls folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

- Umgebung: Der Raum soll staubfrei sein, die Ansaugluft möglichst frei von Schadstoffen. In keinem Fall dürfen entzündbare Gase oder Dämpfe angesaugt werden.
- Belüftungsmöglichkeit: Besonders bei luftgekühlten Maschinen kann die Führung der Kühlluftkanäle den Standort mitbestimmen. Eine ausreichende Raumbelüftung muss dafür sorgen, dass die Temperatur im Kompressorraum 35°C nicht übersteigt.
- Druckluftverteilung: Anzustreben ist die Nähe zum Hauptverbraucher, doch auch eine zusätzliche dezentrale Versorgung weit entfernter Verbraucher oder Abnehmer mit höherem Druck kann sinnvoll sein.
- Energiezufuhr: Bei großen Anlagen ist die Entfernung zum Trafo u.U. mitentscheidend.
- Geräusch: Bei großen Kompressoren in ungedämpfter Ausführung kann ein ohnehin vorhandener Lärmschwerpunkt als Standort für den Kompressor gewählt werden.
- Den Kompressor im Freien aufzustellen kann nur als Notlösung gesehen werden, da die Umweltverhältnisse sehr stark schwanken und dadurch die Druckluft-Erzeugung leidet (Frost, Hitze, Staub, Feuchtigkeit).
- Schallgedämpfte Anlagen ermöglichen die Aufstellung in Produktionsräumen. Der Vorteil ist, dass sich kurze Rohrlängen ergeben.

Bei umfangreicheren Anlagen ist ein eigener Kompressorraum vorzuziehen. Vom Fachmann geplant, können dort Kompressor, Speicherbehälter und Geräte zur Druckluftaufbereitung übersichtlich und gut zugänglich angeordnet werden.

## 2.4. Druckbehälter

Der Druckbehälter oder Kessel gehört zu den wichtigsten Bestandteilen eines Druckluftsystems. Er wurde früher bei Kolbenkompressorstationen hauptsächlich dazu benötigt, die Pulsation der geförderten Luft einzudämmen. Diese Funktion wird heute kaum mehr benötigt, da zB Schraubenkompressoren, die inzwischen in der überwiegenden Zahl der Anwendungsfälle die alten Kolbenkompressoren ersetzt haben, die Luft nahezu pulsationsfrei fördern.

Die Aufgabe, die Druckluft abzukühlen und als Grobabscheider das Kondensat aus der Druckluft herauszuholen, ist dem Druckbehälter jedoch auch in vielen modernen Kompressorstationen geblieben.

Weiters hat er die Aufgabe, Druckabfälle durch übergroße Belastungen zu kompensieren. Bei Start-Stop Regelung fällt ihm auch die Aufgabe zu, die Motoreinschalhäufigkeit auf ein zulässiges Maß zu begrenzen.

### **Behältergröße:**

Die häufig gestellte Frage, ob sich ein zu großer Druckbehälter negativ auf den Betrieb eines Druckluftsystems auswirkt, lässt sich nur so beantworten:

**Ein zu großer Druckbehälter kann die Wirtschaftlichkeit eines Druckluftsystems verschlechtern. Ein zu kleiner Behälter dagegen kann das System funktionsuntüchtig machen.**

Das tatsächlich erforderliche Volumen ist von den realen Betriebsverhältnissen abhängig.

### **Behälterstandort:**

Bei der Aufstellung großer Druckbehälter ergibt sich für den Betreiber oft das Problem mangelnden Platzes. Er sollte es auf gar keinen Fall durch Unterschreiten der erforderlichen Behältermindestgröße lösen, denn damit sind Störungen der Druckluftversorgung praktisch schon vorprogrammiert. In solchen Fällen wäre die Außenaufstellung der Druckbehälter eine Lösungsmöglichkeit, allerdings müssten dann die Kondensatableiter beheizbar sein, um sie vor Frost zu schützen.

Natürlich gibt es auch zu dieser Regel eine Ausnahme, die vor allem auf Großbetriebe zutrifft. Diese Betriebe haben oft 5 bis 10 oder gar 20 km lange Rohrleitungen mit DN 400 oder DN 500. In diesen Fällen stellt schon das Rohrleitungssystem ein gewaltiges Speichervolumen dar, und das erklärt auch, weshalb bei den größten Druckluftstationen in der Regel kaum Druckbehälter vorzufinden sind. In großen Betrieben ist auch das Volumen der Leitung als Speicher zu berücksichtigen.

Bei kleinen und mittleren Betrieben sind dagegen die Rohrleitungsdimensionen so gering, dass sie kaum ein anrechenbares Speichervolumen darstellen.

## 2.5. Steuerung von Druckluftherzeugern

Druckluft ist heute neben elektrischem Strom der in Industrie und Handwerk am häufigsten genutzte Energieträger. Dieses Kapitel möchte den heute so bedeutsamen Bereich Energieeinsparung durch moderne Steuerungs- und Verbundsysteme beleuchten.

Noch immer arbeiten in vielen Betrieben die Kompressoren weitgehend unkoordiniert miteinander. Das heißt, es gibt keine ausreichende Abstimmung zwischen Druckluft-erzeugung und -verbrauch, der häufig je nach Schicht und Arbeitsauslastung extrem unterschiedlich sein kann. Die Folge ist unwirtschaftliche Energienutzung besonders im Teillastbereich, die zu einer erheblichen Kostenbelastung für den Betrieb wird. Je nach jährlichen Betriebsstunden können die Energiekosten bis zu 87 % der gesamten Aufwendungen für die Druckluftherzeugung beanspruchen.

Viele Betreiber versuchten deshalb, eine Abstimmung zwischen Druckluftherzeugung und schwankendem Verbrauch dadurch zu erreichen, dass sie statt eines großen mehrere kleine Kompressoren einsetzten. Das hatte allerdings den Nachteil, dass zur stufenweisen Einschaltung der Kompressoren eine Drucküberhöhung von 1 bis 2 bar nötig war. 1 bar mehr bedeutet jedoch auch 5-10 % mehr Energieaufwand. Elektronische Druckaufnehmer und SPS-Steuerungen konnten hier Abhilfe schaffen.

Inzwischen bieten die Hersteller der Druckluftbranche jedoch zahlreiche Möglichkeiten an, Kompressoren leistungsabhängig zu steuern. Sie reichen von der individuellen, kompressororientierten Steuerung bis hin zu umfassenden Verbundsteuerungssystemen. Im folgenden wollen wir der Frage nachgehen, was die einzelnen Systeme leisten können, worin ihre Stärken und Schwächen liegen und für welche Anwendungsbereiche sie eine wirtschaftlich vertretbare Lösung darstellen.

Die Frage, welche Steuerungsart und welche Kompressorengröße die richtige ist, lässt sich für den konkreten Bedarfsfall nur dann zutreffend beantworten, wenn bekannt ist, wieviel Druckluft zu welcher Zeit benötigt wird. Es empfiehlt sich deshalb, sich nicht nur auf Schätzungen zu verlassen, sondern durch Messungen und Berechnungen den Druckluftbedarf während der gesamten Arbeitszeit möglichst exakt zu ermitteln. Im Gegensatz zu früher bietet sich heute eine Vielzahl von Steuerungsmöglichkeiten an:

### **Proportionalregelung**

Durch Drosseln des Ansaugquerschnittes wird nur so viel Luft gefördert, wie verbraucht wird. Der Kompressor läuft, ohne abzustellen, durch. Durch die Drosselung wird das Druckverhältnis stark verändert, sodass auch bei 50% Förderleistung immer noch 80% oder bei Nullförderung 70% der maximalen Kraft aufgewendet werden muss.

## Aussetzregelung

Kleinere Kompressoren, vor allem Kolbenkompressoren bis zu ca. 11 kW, werden mit einer Ein/Ausregelung versehen. Das heißt bei Erreichen des Enddruckes wird der Motor stillgesetzt. Durch die hohen Anlaufströme wird der Motor schnell erwärmt, deshalb ist die Anlaufanzahl pro Stunde beschränkt. Sie ist unter anderem abhängig von der Motorengröße, Polzahl, Isolationsklasse und der Umgebungstemperatur.

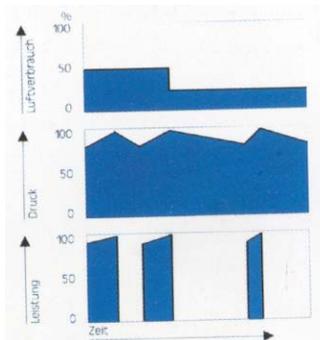


Bild 3 : Aussetzregelung

## Nachlaufregelung

Nach Erreichen des oberen Schaltpunktes wird der Verdichtungsprozess durch Ansaugabsperrung, Ventilabhebung o.ä. unterbrochen. Kompressor und Motor laufen eine gewisse Zeit im Leerlauf nach. Diese Art beschränkt die Anzahl der Anläufe auf ein zulässiges Maximum. Der Nachteil dieser Regelungsart liegt im Verbrauch von 20-30 % Leerlaufstrom.

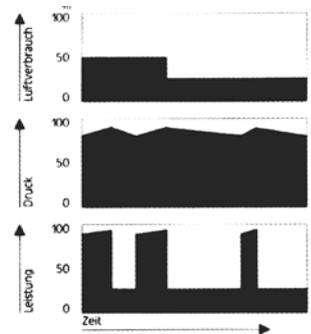


Bild 4: Nachlaufregelung

### Drehzahlregelung

In gewissen Grenzen kann über die Drehzahl die Fördermenge geregelt werden. Grenzen werden durch die Charakteristik der Kühlventilatoren und der minimal notwendigen Umfangsgeschwindigkeit der Schraubenläufer gesetzt. Moderne Anlagen können zwischen 20 und 90 % der maximalen Leistung geregelt werden.

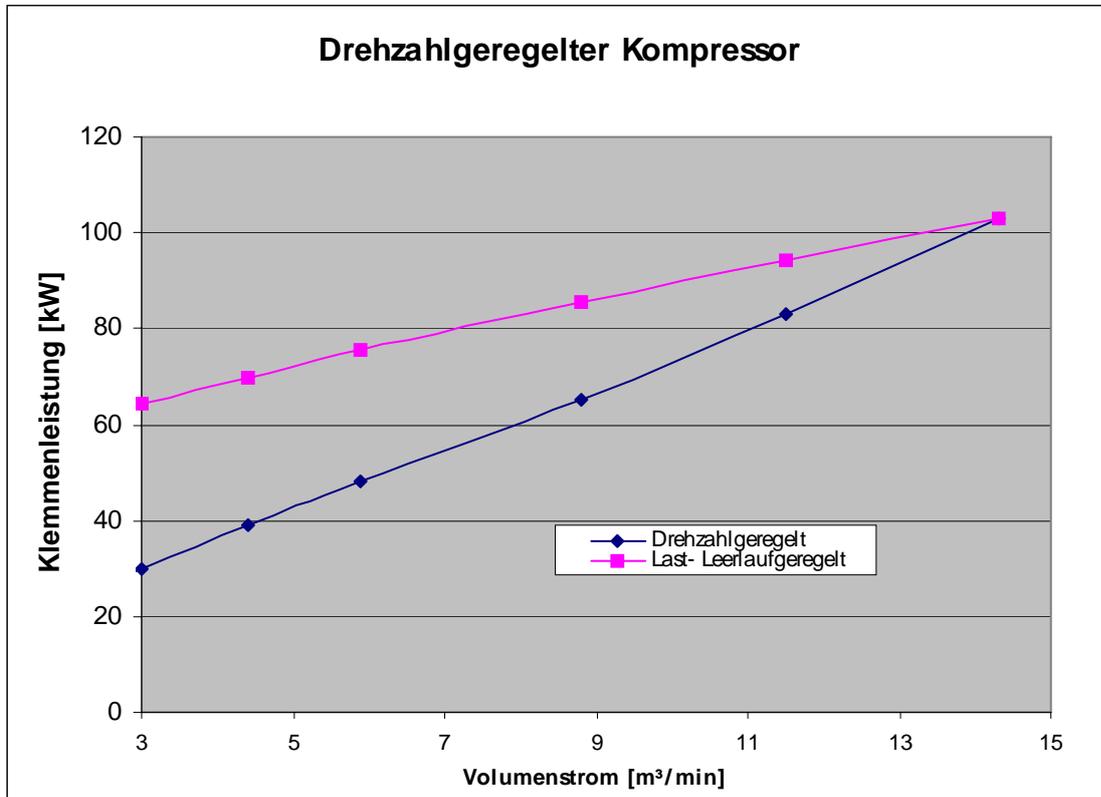


Bild 5: Drehzahlregelung

### Lastabhängige Regelung

Durch den Einsatz der Elektronik lassen sich die Steuerungsarten kombinieren und optimal einsetzen. Je nach Last wird die günstigste Regelungsart eingesetzt.

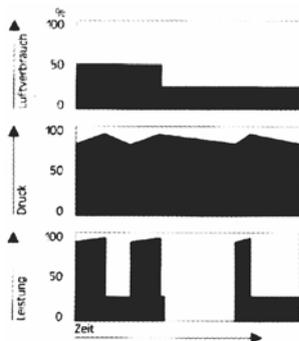


Bild 6 : Lastabhängiger Kombiregler

## Verbundregelung

Eine Verbundregelung dient der Regelung mehrerer Kompressoren. Hier werden unterschiedliche Leistungscharakteristik aber auch der Ausgleich unterschiedlicher Laufzeiten berücksichtigt.



Bild 7 : Verbundregler

## 2.6. Laststeuerung und Lastmanagement

Durch die geltenden Strom-Tarifsysteme sind die elektrischen Leistungskosten im Betrieb ein entscheidender Faktor. Kompressoren sind zudem oft wesentliche Verbraucher in den Betrieben und deshalb praktisch immer auch in den Leistungsspitzen in Betrieb. Daher tritt immer wieder die Frage auf, ob ein bestehender Kompressor in eine zu installierende Laststeuerung (Abschaltung von Verbrauchern in Spitzenlastzeiten) mit eingebunden werden kann.

- Grundsätzlich sollte ein Eingriff in eine optimal ausgelegte Druckluftanlage unterlassen werden.
- Die Erfahrung zeigt jedoch, dass in vielen Betrieben große Überkapazitäten zur Druckluftenerzeugung installiert sind, weshalb auch Eingriffe zur Leistungssteuerung möglich sind. Dabei sind allerdings die Betriebsabläufe zu berücksichtigen.
- Wenn man eine solche Anlage in die Laststeuerung einbindet, muss man den Druck kontrollieren um Probleme zu verhindern. Es ist dann ein Eingangskanal zur Rückmeldung des Druckes erforderlich.
- Auch durch Ausschalten bzw. Nichteinschalten druckluftbetriebener Anlagen können Leistungsspitzen vermieden werden ( zB Filterpresse oder Luftbefeuchtung) können in Spitzenzeiten abgestellt werden.
- Prinzipiell sind Druckluftanlagen außerhalb der Betriebszeit abzustellen und die Behälter vom Netz zu trennen. Eine moderne Laststeueranlage kann diese Aufgabe erfüllen.

## 2.7. Kältetrockner

Die atmosphärische Luft enthält Feuchtigkeit, und zwar Wasserdampf in feinstverteilter Form. Die negativen Auswirkungen, die sich durch Kondensatausfall im Verteilernetz, in den Druckluftverbrauchern und beim Transport von Gütern ergeben, haben dazu geführt, dass Trockner in vorhandene Druckluftsysteme eingebaut und bei Neuanlagen von Verdichterstationen zum weitaus größten Teil Trockner installiert werden. Trockene und saubere Luft erhöht die Lebensdauer der Druckluftverbraucher, senkt Wartungs- und Inspektionskosten und erhöht dadurch die Wirtschaftlichkeit der Produktion. Aufbereitete Luft verhindert Korrosion im Rohrleitungsnetz und in den Verbrauchern, vermindert den Verschleiß an Dichtungen und Manschetten, vermeidet Fehlfunktionen bei Steuerungen und Regelungen, senkt die Ausschußquote, wenn die Luft mit dem Produkt in Berührung kommt, und ist eine Voraussetzung für störungsfreien Transport von Lebens- und Genussmitteln.

Die Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre wird in Prozent relativer Luftfeuchtigkeit angegeben.

$$\text{Relative Luftfeuchtigkeit} = 100\% * \frac{\text{absolute Feuchtigkeit}}{\text{Sättigungsmenge}}$$

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, Druckluft zu entfeuchten :

- durch Abkühlung (Kältetrockner)
- durch Anbindung von Flüssigkeit an ein Trockenmittel (Absorptionstrocknung)

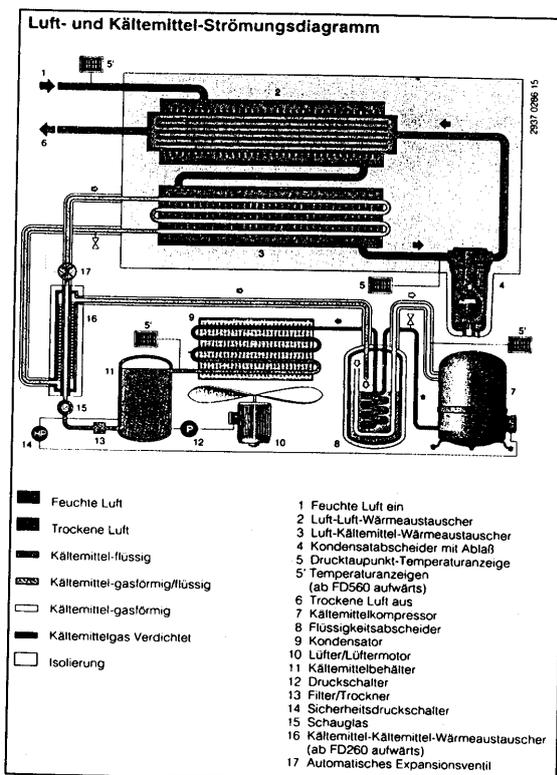


Bild 8 : Kältetrockner

Da kalte Luft weniger Wasser aufnehmen kann als heiÙe, wird bei der Kältetrocknung diese physikalische Bedingung ausgenutzt. Das Kältetrockneraggregat entspricht im Prinzip einem Kùhlschrank. Es umfasst eine Kàltemaschine und einen Wàrmetauscher. Dabei wird die Druckluft normalerweise auf Temperaturen von + 2 bis + 5 °C abgekùhlt. Die Eintrittstemperatur kann bis max. 60° C betragen, allerdings sollte berücksichtigt werden, dass die Trocknungskosten umso höher werden, je größer die Differenz zwischen Eintrittstemperatur und gewünschtem Drucktaupunkt ist. Gleichzeitig werden bei der Kältetrocknung etwa 80 % der in der Druckluft enthaltenen Ölnebel (von der Verdichterschmierung) mit dem Wasserkondensat ausgeschieden. Der niedrigste erreichbare Drucktaupunkt bei der Kältetrocknung liegt bei + 1,5 °C.

### **Kosten der Drucklufttrocknung : etwa 10 bis 20 % der Druckluftherzeugerkosten**

Die erreichbaren Taupunkte liegen bei etwa +2 °C, da unterhalb dieser Temperatur eine Vereisung der Kùhlschlangen einsetzt. Tiefere Taupunkte können erreicht werden, wenn man 2 Kùhler benutzt, von denen einer automatisch abgetaut wird. Dies erfordert einen höheren Investitionsaufwand und zusätzlichen Energiebedarf für die Abtauung.

Betrachten wir jedoch den Einsatz der Kältetrockner praktisch und kùhlen die bereits weiter oben erwàhnte Druckluftmenge von 35 °C auf +2 °C ab:

Bei +2 °C hat die Luft noch einen Wassergehalt von 5,563 g/m<sup>3</sup>. Damit ergibt sich eine mitgefùhrte Wasserdampfmenge von 1610 l/h Die Kältetrockner haben damit 11368 l/h - 1610 l/h = 9758 l/h Wasser aus der Druckluft entfernt. Dies sind immerhin 86 %.

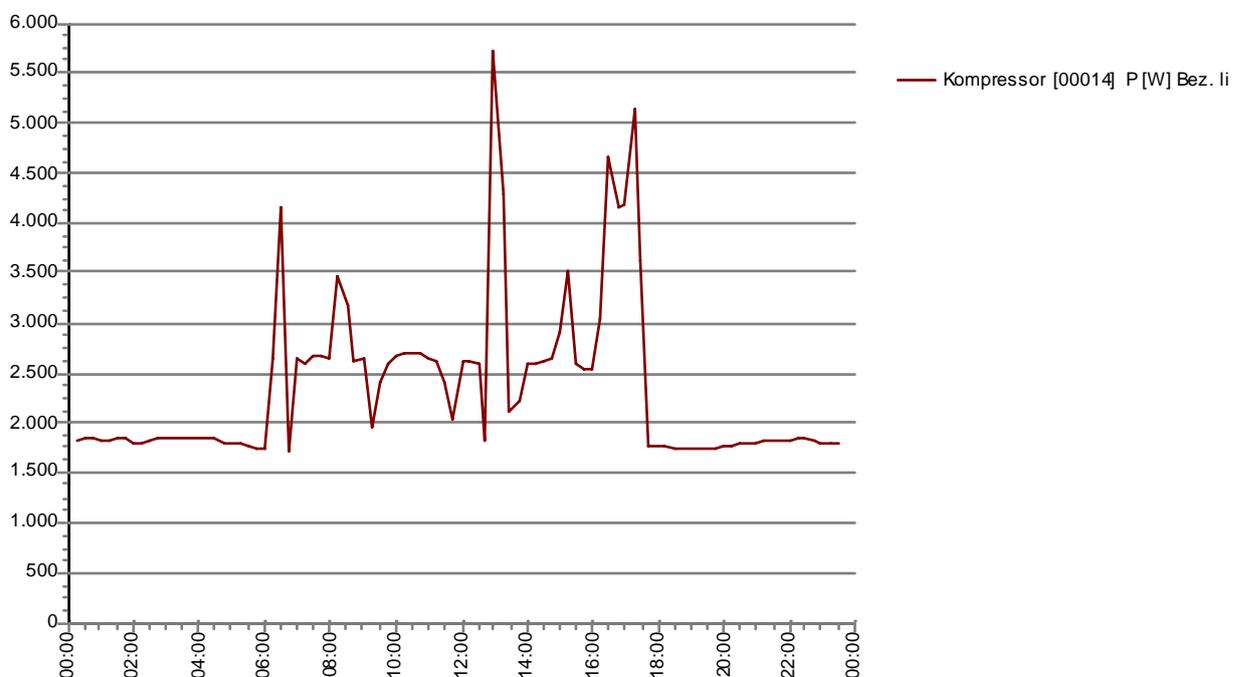


Bild 9 : Energiebedarf für Kältetrockner

Diese Kennlinie zeigt eine Druckluftstation, die auch außerhalb der Betriebszeiten einen konstanten Basisverbrauch hat, obwohl der Kompressor abgestellt wird. Dieser Basisverbrauch wird vom Kältetrockner verursacht, der nicht mit dem Kompressor abgeschaltet wird, um zu garantieren, dass jederzeit trockene Druckluft produziert werden kann. Laut Hersteller muß der Kältetrockner mindestens 10 min vor dem Start des Kompressors in Betrieb genommen werden, damit zu Betriebsbeginn trockene Luft produziert werden kann. Dies kann mittels einer Zeitschaltuhr bzw. einem Zeitrelais verwirklicht werden.

## 2.8. Wärmerückgewinnung

Bei der Luftverdichtung entsteht Wärme, die über Kühler abgeführt werden muss. Die abgeführte Wärme entspricht in etwa der vom Verdichter aufgenommenen elektrischen Arbeit, wenn man von der Wärme in der Druckluft und Abstrahlungen absieht. Diese Energie lässt sich größtenteils zurückgewinnen.

Bei wassergekühlten Kompressoren geht der Hauptteil der Wärme in das Kühlwasser, sodass nur 15 – 20 % über die Raumbelüftung abgeführt werden müssen. An luftgekühlten Kompressoren führt der Kühlstrom 95 % der aufgenommenen elektrischen Energie als Wärme ab, sodass hier größere Querschnitte für Zu- und Abluft vorgesehen werden müssen. Eventuell sind beim Anschluss an Belüftungskanäle Zusatzventilatoren einzuplanen.

Die Abwärme setzt sich wie folgt zusammen:

- ca. 72 % vom Kühler
- ca. 13 % vom Druckluftnackkühler
- ca. 9 % vom Motor als Verlustwärme
- ca. 4 % in der abgeführten Druckluft (nicht verwertbar)
- ca. 2 % Wärmestrahlung an die Umgebung

**Bei luftgekühlten Schraubenkompressoren** und gekapselten Kolbenkompressoren kann die gesamte Wärme am Kühlluftaustritt in einem Abluftkanal gefasst und meist ohne zusätzlichem Ventilator in einen Nebenraum zum Heizen geblasen werden.

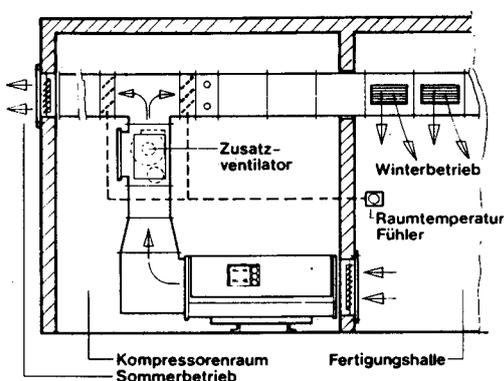


Bild 10 : Wärmerückgewinnung

**Bei luftgekühlten Kolbenkompressoren** ohne Verschalung fällt die Wärme verteilt über die ganze Maschine mit unterschiedlichem Niveau an und erwärmt die gesamte Raumluft. Diese erwärmte Abluft kann mit einem Ventilator und entsprechendem Kanalsystem in angrenzende Räume zum Aufheizen geblasen werden. Die so wiederverwertete Wärmemenge entspricht bei 100%-Auslastung des Kompressors dh dem Anschlußwert des Elektromotors. Zu beachten ist dabei, dass die Kanalquerschnitte genügend groß gewählt werden und für ausreichende Zuluft gesorgt wird. Günstiger ist natürlich die Aufstellung schallgedämpfter Kompressoren direkt in den Fabrikräumen, dh dort, wo die Wärme benötigt wird und nur kurze Luftkanäle für die Fortleitung der Wärme notwendig sind.

Bei **wassergekühlten Anlagen** kann das Kühlwasser über einen Wärmetauscher zB in einen Heizkreislauf eingespeist werden.

### 3. Druckluftverteilung

Das Ziel eines optimal ausgelegten Verteilnetzes ist, die Druckluft möglichst verlustfrei zu den Verbrauchern zu transportieren. Das heißt, vor allem ohne Minderung von Qualität (Wasser, Rost, Zinkpartikel), Druck (unzureichende Querschnitte) und Luftmenge (Leckverluste).

#### 3.1. Netzdimensionierung

Für die Dimensionierung (Querschnitt) eines Druckluftnetzes sind zwei Hauptkriterien maßgebend:

- Strömungsgeschwindigkeit  
Werte unter 10 m/s in der Rohrleitung sind anzustreben, um Strömungsgeräusche an Stellen mit örtlich höherer Geschwindigkeit zu vermeiden (Armaturen, Umlenkungen).
- Druckabfall  
Um nicht unnötige Energiekosten aufzuwenden, soll der gesamte Druckabfall niedrig sein. Bei Neuplanung geht man von 0,1 – 0,2 bar aus, da fast immer mit später hinzukommenden Verbrauchern zu rechnen ist.

Beide Werte sollten überprüft werden, denn es hängt von mehreren Faktoren ab, welcher für die Wahl der Nennweite maßgebend ist. Bei kleinerem Durchmesser und großer Leitungslänge ergibt sich trotz geringerer Strömungsgeschwindigkeit schnell ein zu hoher Druckabfall – während bei großen Durchmessern oft die Strömungsgeschwindigkeit die Dimensionierung bestimmt.

#### **Profi -Tip :**

Der Rohrdurchmesser sollte mindestens DN 25 sein; kleinere Nennweiten bringen keine Kostenvorteile bei Material und Montage.

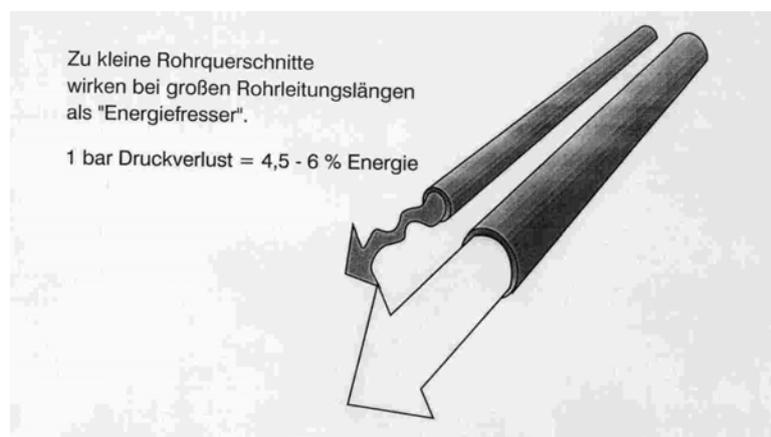


Bild 11: Rohrdurchmesser und Druckverluste (siehe Anhang)

Den Einfluß der Armaturen und Umlenkungen am Gesamtwiderstand einer Installation zeigt Bild 12. Dort ist die äquivalente Rohrlänge gleicher Nennweite angegeben, welche bei Widerstandsberechnung zu den geraden Leitungslängen addiert werden muß.

Ventile, etc.		Äquivalente Rohrlängen in m						
		Innendurchmesser in mm						
		25	40	50	80	100	125	150
Sitzventil		3-6	5-10	7-15	10-25	15-30	20-50	25-60
Membran-ventil		1.2	2.0	3.0	4.5	6	8	10
Absperr-schieber		0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5
Kniebogen		1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Bogen R=d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
Bogen R=2d		0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5
T- Stück		2	3	4	7	10	15	20
Reduzierung		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.5	4.0

Bild 12: Widerstände von Armaturen und Umlenkungen

### 3.2. Druckverlust (Druckabfall)

Druckabfall in den Leitungen entsteht durch:

- innere Reibung (Moleküle)
- Reibung an den Wandungen
- Turbulenzen
- hohe Strömungsgeschwindigkeiten (kleine Rohrleitungsquerschnitte)

Da Druckabfall die Leistung des Druckluftverbrauchers vermindert, erhöhen sich die Kosten für die Druckluftherzeugung und die Produktion. Die meisten Druckluftwerkzeuge erbringen ihre Nennleistung bei einem Druck von 6 bar. Bei niedrigeren Drücken sinkt die Leistung beträchtlich und fällt schon bei 5 bar auf 75 % der Nennleistung ab.

Faustregel :

Je 0,1 bar Druckabfall kommt es zu einer Maschinen-Leistungsverminderung um 2,5%

Wird der Druck in der Verdichterstation zum Ausgleich von Netzverlusten erhöht, kostet dies nicht nur Investitionen sondern vor allem hohe Betriebskosten! Der Energiebedarf des Kompressors nimmt in gleichem Maße zu, wie der Druckluft-Enddruck.

### Druckverlust im Zubehör

Nicht nur die Leitungen und Hähne verursachen Druckverlust. Einen ganz erheblichen Anteil davon machen die Filter, Kühler und Wartungseinheiten aus. Die folgenden Werte sollten aus energetischen Gründen nicht überschritten werden :

Filter (max 0,1 bar)

Filter sollen nicht nach passender Anschlußgröße ausgewählt werden, sondern nach der Durchflußleistung, angegeben bei einem bestimmten Druckverlust. Billige Filter sind meist in der Wirkung nicht schlechter, weisen aber einen höheren Anfangsdruckverlust auf.

### Trockner/Kühler (max. 0,2 bar)

Das Gleiche wie bei den Filtern gilt für Kühler und Drucklufttrockner. Kühlung von Druckluft ist aus physikalischen Gründen immer mit Druckverlust verbunden.

### Wartungseinheiten (max. 0,1 bar)

Wartungseinheiten bestehend aus Filter, Öler und Reduzierventil müssen dem Verbrauch und nicht der Leitungsgröße angepaßt sein.

### Steckkupplungen

Der meist größte Druckverlust entsteht in den Steckkupplungen und Zuführschläuchen zu den zu versorgenden Apparaten. Auch da gibt es große Unterschiede, was den Druckverlust betrifft.

Beispiel:

Ein Druckabfall von 1 bar vermindert den Wirkungsgrad eines druckluftbetriebenen Werkzeuges um 26 %, dh die Herstellung dauert länger und verursacht erheblich höhere Lohnkosten.

## 3.3. Leckverluste

Leckstellen in der Verteilerleitung oder an den Anschlussstellen zum Verbraucher sind ein hoher Kostenfaktor. Die undichten Stellen wirken wie Düsen, aus denen die Luft mit hoher Geschwindigkeit austritt. Aus der Praxis sind Leckverluste von 30 und mehr Prozent durchaus an der Tagesordnung.

### Beispiel für die Ermittlung der Leckagenkosten:

Eine Verdichterstation liefert einen Volumenstrom von 48 m<sup>3</sup>/min; die Leckverluste betragen 25 %, also 12 m<sup>3</sup>/min. Um 1 m<sup>3</sup> Luft auf 8 bar zu verdichten, benötigt man ca. 0,1 kWh.

Wird das Druckluftnetz ganzjährig unter Druck gehalten, bedeutet das

$$365 \text{ Tage} \times 24 \text{ Stunden} \times 60 \text{ Minuten} \times 12 \text{ m}^3/\text{min} =$$
$$6\,307\,200 \text{ m}^3/\text{Jahr} \times 0,1 \text{ kWh/m}^3 = 630\,720 \text{ kWh/Jahr}$$

Bei einem Preis von 1,40 ATS/kWh entstehen Kosten in der Höhe von 883.008.-- ATS.

## Leckagen und ihre Kosten

Lochdurchmesser mm	Luftverlust bei 6 bar l/s	Energieverlust	
		kWh	ATS (bei 1,4 ATS/kWh)
1	1,238	0,3	3.675,--
3	11,14	3,1	38.017,--
5	30,95	8,3	101.787,--
10	123,8	33,0	404.712,--

Die Leckverluste bei 0 zu halten bleibt ein Wunschtraum. Bei richtiger Gestaltung des Netzes und entsprechenden Armaturen und Anschlüssen können aber immerhin folgende Richtwerte erreicht werden:

Kleine Industrienetze	5-8%
Größere Industrienetze	10 -15%
Rauhe Betriebe	15 - 20%

Durch regelmäßige Messungen sollten die Leckverluste überprüft und beseitigt werden :

### **Profi-Tip : Leakage Kontroll Check**

1. Maschinen abschalten
2. Kompressor auf 7 bar bringen
3. Zeit stoppen bis der Druck auf 4 bar abfällt
4. Wert in Tabelle im Kompressorraum eintragen

**Wenn die Zeit der nächsten Messung kürzer wird, sind die Leckagen zu beheben.**

Die meisten Leckagen sind mit freiem Auge sichtbar ...



*Bild 13 : sichtbare Leckage an einem Öler*

oder deutlich hörbar :



*Bild 14 : deutlich hörbare Leckagen an Übergängen und Verbindungen*

Sie treten meist an den Übergängen zwischen starren Elementen und flexiblen Schläuchen auf.

Die Größe der Leckageverluste wird zB dadurch sichtbar, dass man den Stromverbrauch des Kompressors am Wochenende untersucht :

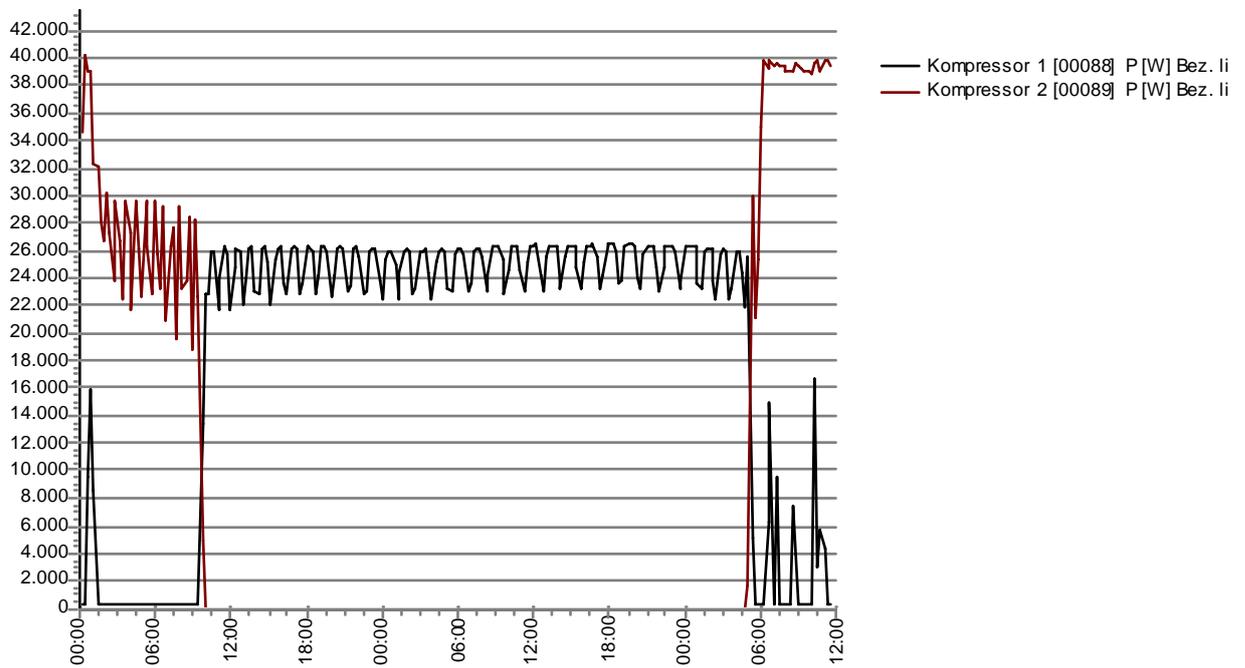


Bild 15: Leckagen werden oft am Wochenende sichtbar (Vossen)

## 4. Druckluftanwendung

### 4.1. Endgeräte/Verbraucher

#### Druckluftmotoren

Druckluftmotoren finden in allen Industriezweigen für Antriebs-, Steuer- und Regelungsaufgaben ein breites Anwendungsfeld. Der Druckluftantrieb kann eine Reihe von Eigenschaften vorweisen, über die andere Antriebsarten nicht oder nur unvollkommen verfügen:

- Leistung, Drehmoment und Drehzahl innerhalb weiter Grenzen stufenlos regulierbar
- ohne Schaden überlastbar bis zum Stillstand
- hohes Anfahrmoment, Anlauf auch gegen Last
- beliebige Schalzhäufigkeit, 100 % Einschaltdauer möglich
- kein Nachlauf beim Abschalten
- kleine Abmessungen, geringes Gewicht, beliebige Einbaulage
- Unempfindlich gegen Schmutz und Staub, Wasser, Dämpfe, Hitze, Kälte usw.
- robust, langlebig, einfach zu reparieren
- explosions- und unfallsicher

Im Wesentlichen treten auch bei den Werkzeugen Verluste auf. Es sind dies **Reibungsverluste** ( Lamellenreibung und Lagerreibung), **Strömungsverluste** (durch Querschnittsänderungen, Umlenkungen und Übergänge) sowie **Leckverluste** (analog zum Verteilnetz) auf.

Eine häufige Anwendung ist

#### Zerstäubung

Eine häufige Anwendung ist die Zerstäubung mit Druckluft. Den hauptsächlichsten Verbrauch stellt die Farbspritzerei dar. Weiters kann durch Zerstäuben von Wasser mit Luft eine Luftbefeuchtung erzielt werden (Holzindustrie).

#### **Profi-Tip :**

Durch moderne Airless-Verfahren, bei denen das Mittel selbst unter Druck gesetzt wird, können dramatische Einsparungen erreicht werden.

#### Abblasepistolen

Ein großer Teil der Druckluft wird zu Reinigungszwecken sowie zum Aus- und Abblasen von Werkstücken gebraucht. Hier entstehen gerade bei hohen Netzdrücken enorme Verbräuche. Wenn es schon sein muss, dann sollten zu diesem Zweck druckreduzierte Pistolen eingesetzt werden. Diese sind zwar in der Anschaffung teurer, verursachen aber im Betrieb erheblich weniger Energiekosten.

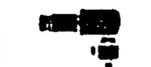
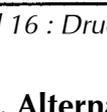
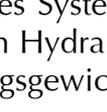
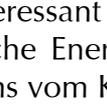
Gerät	Größe mm	Be- triebs- druck bar	Luftverbrauch				Gerät	Größe mm	Be- triebs- druck bar	Luftverbrauch	
			: /min		m³/h					l/min	m³/h
	Farbspritzpistolen Wasserfarben und dünne Zaponlacke Düsen - Durchm. 0,5 mm.	1,0	S t r a h l					Flächenschleifer (Rutscher) Blattgröße 300x100	6,0	250	15
			breit   rund	breit   rund							
	Nitro- und dünne Kunstharzlacke 1,5 mm. 1,8 mm.	2,5	150	110	9	7		Hämmer Zwergniethammer Niet - Durchm. Atu 3 - 5 Stahl 2 - 3	6,0	150-400	
		3,5	215	160	13	10					
	Dicke Nitro- und normale Kunst- harzlacke 2,0 mm.	4,5	270	180	16	11		Niet- und Meißel- hammer Niet- Durchm. warm 10 - 19 kalt 8 - 8	6,0	420-550	26-33
			320	230	19	14					
	Leimfarben Spachtel-Füller 3,0 mm.	5,0	320	230	19	14		Abklopfer	6,0	250	15
			60, 135, 240	4	8	14					
	Ausblesepistole 1 - 1,5 - 2 mm.	6,0	60, 135, 240	4	8	14		Kleinhämmer	6,0	100-200	6-12
	Sprühpistole	3,0	65			4		Aufreißhammer	6,0	1200-1600	72-96
	Spannzylinder (einschwirkend) 70 Ø x 100 100 Ø x 100	6,0	2,0 je Hub 0,12					Heftler	6,0	30	2
		6,0	4,5 je Hub 0,27								
	Bohrmaschinen Stahl 4 - 8 mm.	6,0	300-400		18-24			Nagler	6,0	350	21
			250-500		15-30						
	Schlagschrauber	6,0	250-500		15-30						
			300-1200		18-72						
	Schleifmaschinen Scheiben 20 - 100	6,0	300-1200		18-72						

Bild 16 : Druckluftwerkzeuge

### 4.2. Alternative Technologien

Neben der Drucklufttechnik (Pneumatik) teilen sich noch Hydraulik und Elektromechanik den Markt der Antriebe.

Jedes System hat seine ausgesprochenen Vorzüge und Nachteile. Zum Beispiel zeichnen sich Hydraulik (bei Anlagen) und Pneumatik bei (Werkzeugsystemen) durch günstige Leistungsgewichte aus (abgegebene Leistung je kg Gewicht der Bauteile).

Interessant ist jedoch zu wissen, dass für 100 W Druckluftmotorenleistung ca. 1 kW elektrische Energie aufgewendet werden muss (Energieaufwand des gesamten Pneumatiksystems vom Kompressor bis zur Nutzenenergie am Antriebsaggregat).

**Profi-Tip:**

Druckluft ist einer der energetisch ungünstigsten Energieträger, deshalb sollte am Anfang aller Überlegungen die Frage beantwortet werden:

*Gibt es einen anderen, günstigeren Energieträger?*

Beispiel:

Um ein Fass Öl mit einer pneumatischen Pumpe in einer bestimmten Zeit umzufüllen, benötigt man einen Kompressor von 4 kW Antriebsleistung. Das gleiche ist mit einer elektrisch angetriebenen Fasspumpe von 0,4 kW zu bewerkstelligen. Neben dem energetischen Mehraufwand ist mit einem zehnmal höheren Investitionsaufwand für die pneumatische Lösung zu rechnen.

## 5. Energiesparmöglichkeiten

### 5.1. Grundlegende Überprüfung der Funktion

Bei bestehenden Anlagen sind nachfolgende Punkte für den wirtschaftlichen Betrieb einer Druckluftanlage zu beachten. Die Überprüfung erfolgt am besten über eine Druckluftverbrauchs-messung während einer repräsentativen Zeit von mindestens einer Woche. Dabei sind folgende Parameter für eine genaue Beurteilung wichtig:

#### **Druckverlauf im Netz**

Dieser sagt aus, wie schnell sich der Verbrauch ändert, zu welcher Zeit die Anlage bezüglich Förderleistung überfordert ist, wann und wie stark unreduzierte Verbraucher oder Verluste das Netz belasten etc.

#### **Ein- und Ausschaltzeiten der Kompressoren**

Diese lassen erkennen, wann die Kompressoren unter Last, Leerlauf oder im Stillstand sind. Daraus ergeben sich die Anzahl Schaltungen pro Zeiteinheit, den Auslastungsgrad und die effektiv geförderten Kubikmeter Druckluft (zusätzlich sollte im Betrieb eine genaue Statistik über die Betriebs- respektive Förderstunden geführt werden).

#### **Kühlwasserverbrauch**

Der Kühlwasserverbrauch, respektive schlecht ausgenutztes Kühlwasser, schlägt sich direkt in den Betriebskosten nieder. Diese Messung kann auch als Grundlage für eine mögliche Nutzung der Kompressorabwärme dienen (Kap. 2.7. Wärmerückgewinnung).

#### **Kühlluft- oder Raumtemperatur**

Eine erhöhte Kühlluft- oder Raumtemperatur verringert den Gesamtwirkungsgrad der Anlage und verursacht höhere Unterhaltskosten.

#### **Förderleistung**

Vor allem bei Kolbenkompressoren nimmt die Förderleistung mit steigender Betriebsstundenzahl ab. Die Ventildfedern erlahmen, brechen oder verrosten. Diese Abnutzungserscheinungen können die ursprüngliche Liefermenge bis zu 50 % und mehr reduzieren.

#### ***Profi-Tip: Kompressor-Service Check „Behälterfüllmethode“***

Bei geschlossenem Abgangshahn wird die Zeit gemessen, die der Kompressor braucht, um im Druckluftbehälter den Druck von z.B. 4 auf 7 bar zu erhöhen.

1. Druck auf 4 bar bringen
2. Ausgang am Windkessel schließen
3. Kompressor einschalten
4. Zeit stoppen, bis Druck 7 bar erreicht
5. Wert in Tabelle im Kompressorraum eintragen

***Wenn die Zeit länger wird ist ein Kompressor-Service fällig!***

Wegen des Messfehlers sollte die Differenz nicht zu klein gewählt werden, andererseits sollte nahe dem Referenzdruck gemessen werden, da bei niederem Druck die Leistung höher ist.

## 5.2. Wartung und Unterhalt

Die bestens geplante Druckluftanlage kann zum Energiefresser werden, wenn sie nicht regelmäßig gewartet und von kompetenten Fachkräften auf Ihre Leistungsfähigkeit überprüft wird. Die täglichen und wöchentlichen Wartungsarbeiten sind in vielen Betrieben Aufgaben des Maschinenwärters. Auftretende Störungen werden der Instandhaltungsleitung gemeldet, die auch die jährlichen Arbeiten und Instandsetzungen veranlasst.

Eine wichtige und effiziente Möglichkeit Energie zu sparen, besteht in der Schulung des Unterhaltspersonals, damit es die Zusammenhänge erkennt und die notwendigen Maßnahmen veranlassen kann.

Beispiel: Ansaugfilter

Der Ansaugfilter hat im Neuzustand einen Anfangswiderstand, der sich mit zunehmendem Gebrauch vergrößert und damit einen Unterdruck im Ansaugstutzen bewirkt. Dieser Unterdruck hat zur Folge, dass sich das Stufenverhältnis stark ändert. Je größer diese Verhältniszahl desto höher ist der Energieaufwand einerseits, andererseits verringert sich die Förderleistung.

Ansaugfilter im Neuzustand:

Ansaugdruck	1 bar (abs)
Verdichtungsdruck	10 bar (abs)
Druckverhältnis	10:1 = 10

Ansaugfilter verschmutzt:

Ansaugdruck	0,8 bar (abs)
Verdichtungsdruck	10 bar (abs)
Druckverhältnis	10:0,8 = 12,5

### Instandhaltung von Verdichtern

Die Wartung der Verdichter ist vom Gesetzgeber zwingend vorgeschrieben. Auch ohne diese Weisung wird normalerweise kein verantwortungsvoller Betriebsleiter die laufende Reinigung und Schmierung der Maschine unterlassen und sich der Gefahr aussetzen, dass sie mangels Wartung ausfällt und die Produktion gefährdet. Der Nutzen der planmäßigen Wartung wird mit wenig Aufwand erreicht. Für die täglich durchzuführenden Arbeiten und Sichtkontrollen reichen im Durchschnitt 10-15 Minuten pro Maschine.

### Betriebstagebuch

Um Wartung und Funktion einer Verdichteranlage einfach zu kontrollieren, legt man ein Betriebstagebuch an. Wichtig ist, dass das Tagebuch vom Maschinenwart sorgfältig geführt, die Eintragungen geprüft und die wichtigsten Daten wie Ölfüllungen, ausgetauschte Teile und die Störungsverursacher monatlich in die Anlagen-Stammkartei übernommen werden.

### 5.3. Hauptursachen für uneffizienten Drucklufteinsatz

Ursachen	Lösung
• Eine schlecht dimensionierte Anlage	Bedarfsorientierte Planung
• Druckluftanlage ohne Regelung	Leistungssteuerung
• Ein außerhalb der Arbeitszeit laufender Kompressor oder Kältetrockner	Wochenschaltuhr
• Ein außerhalb der Arbeitszeit offen bleibender Windkessel	Windkesselausgang schließen
• Den Kältetrockner nicht rechtzeitig einzuschalten	Wochenschaltuhr (30 min vor Beginn)
• Mehr Druck als benötigt (meist über 6 bzw. 7bar)	Verbraucherprofil erstellen
• Versorgung kurzzeitiger Druckluftverbraucher aus einer langen, dünnen Leitung	Montage eines lokalen Luftspeichers
• Wenn sich der Druckluftbedarf an ein paar übermäßigen Verbrauchern orientiert und dadurch der Druck im Gesamtsystem erhöht werden muss	Ev. Umbau auf größere Zylinder (Verbraucher) Druckerhöhungsgerät Eigener lokaler Kompressor
• Qualität der Ansaugluft entspricht nicht den Anforderungen	Filter Belüftung
• Kompressorwärme wird ungenutzt ins Freie geleitet	Verwendung für Trocknung (Holz) und Warmwasseraufbereitung (WRG)
• Schraubenkompressoren, wenn nur gelegentlich Druckluftbedarf besteht	Einsatz eines Kolbenkompressors
• Kolbenkompressor an Orten, an denen dauernd viel Druckluft benötigt wird	Einsatz eines Schraubenkompressors
• Ein großer Kompressor, der die meiste Zeit im Leerlauf vor sich hin heizt	Mehrere sich ergänzende Kompressoren
• Zu kleine Druckluftbehälter die den Wirkungsgrad und die Lebensdauer senken	Größere Behälter
• Keine regelmäßigen Wartungsintervalle	Inspektion (Betriebstagebuch) Wartung (Wartungskalender)
• Druckluftwerkzeuge, die ohne Sicherheits- oder Bedienungseinbußen durch Alternativen ersetzt werden können	Elektrowerkzeuge

## 6. Planung von Neuanlagen

Eine Druckluftanlage hat die Aufgabe, den Verbrauchern die benötigte Druckluft in ausreichender Menge und Qualität, kostengünstig, im notwendigen Druckbereich und zum Bedarfszeitpunkt bereitzustellen. Die Fragen, die bei der Planung einer Druckluftanlage geklärt werden müssen, lauten daher:

- Wieviel Druckluft wird benötigt?
- Welcher Betriebsdruck ist erforderlich?
- Wie muss die Qualität der Druckluft beschaffen sein (Ölfrei)?
- Wieviel Verdichter und Aufbereitungsgeräte sind erforderlich?
- Wohin muss wieviel Druckluft geliefert werden?
- Welche gesetzlichen Vorschriften sind zu beachten?

Erfahrungswerte zeigen, dass die Energiekosten  $\frac{3}{4}$  der Gesamtkosten der Druckluftherzeugung ausmachen. Weitere Kostenfaktoren sind : 6-8% Kühlwasser, 2-4% Schmiermittel, 4-8% Instandhaltung. Die anfänglichen Investitionen für die Druckluftanlage betragen allerdings nur etwa 15 % der Gesamtkosten (Life cycle costs).

### **Profi-Tip :**

Als Hauptursache erhöhter Energiekosten gelten Planungs- und Installationsfehler, weshalb es besonders wichtig ist, gerade bei der Planung fachkompetente Berater beizuziehen.

### 6.1. Bedarfsermittlung

Der benötigte Volumenstrom ergibt sich aus dem mittleren Bedarf aller Verbraucher, dem Spitzenbedarf und den Leckagen. Bei der Festlegung der Verdichtergrößen sollten mittelfristig erwartete Betriebserweiterungen berücksichtigt werden. Weiters sind der Betriebsdruck und die Qualität der Druckluft zu bestimmen.

Eine Bedarfsermittlungsliste (nächste Seite) kann helfen, den Druckluftbedarf zu berechnen. Der maximale Druckluftverbrauch für die Einzelverbraucher lässt sich den Unterlagen der Lieferanten entnehmen.

Abgesehen von Förderluft und den wenigen Druckluftdauerverbrauchern (z. B. Ventilatoren, Antriebsmotoren) werden die meisten Druckluftmaschinen und -geräte nicht durchgehend genutzt. Deshalb muss ihre Einschaltdauer ermittelt werden. Sie setzt sich zusammen aus der Einschaltzeit pro Arbeitsvorgang und der Zahl der Einschaltungen in einer Zeiteinheit und bildet einen Faktor, der mit dem maximalen Druckluftverbrauch multipliziert den mittleren Luftbedarf ergibt.

Leckagen sind nicht ganz zu vermeiden, können aber bei richtig ausgeführten Leistungsnetzen in gewissen Grenzen gehalten werden (siehe Abschnitt 3.3). Die Schwierigkeit, Einschaltdauer und Spitzenbedarf korrekt zu berechnen, hat auch dazu geführt, dass man sich bei kleineren Druckluftanlagen eines Korrekturfaktors zur Ermittlung des Gesamtbedarfes bedient. Er richtet sich nach der Anzahl der eingesetzten Geräte und wird mit dem maximalen Druckluftverbrauch multipliziert.

Der Druckluftverbrauch ist nicht so gleichmäßig, wie es der errechnete mittlere Druckluftbedarf erscheinen lässt. Es kommt zu ungleichmäßigen Luftentnahmen, die einen Spitzenbedarf verursachen. Legt man den zu erzeugenden Volumenstrom nach dem mittleren Druckluftbedarf aus, fällt bei auftretenden Verbrauchsspitzen der Druck ab. Deshalb erhöht man ihn in der Kalkulation um 50-60%. Der errechnete Wert enthält dann auch die Zuschläge für den Druckluftmeherverbrauch verschlissener Maschinen und Geräte.

Bei der Festlegung des Volumenstromes der zu beschaffenden Verdichter sollte der überschaubare Bedarf der nächsten 2-4 Jahre mit einkalkuliert werden. Der Gesamtbedarf setzt sich somit zusammen aus:

mittlerer Luftbedarf	100% = Faktor 1
+ Leckagen (z. B.)	10% = Faktor 1,1
+ Spitzenbedarf (z. B.)	50% = Faktor 1,65
+ Erweiterungen (z. B.)	20% = Faktor 2,0

(Die Zuschläge sind jeweils auf den erhöhten Wert gerechnet.)

### Bedarfsermittlungsliste

Benennung der Verbraucher	Anzahl Stück	Maximaler Einzelbedarf m <sup>3</sup> /min	Maximaler Gesamtbedarf m <sup>3</sup> /min	Einschaltfaktor	Mittlerer Luftbedarf m <sup>3</sup> /min
<b>Mechanische Werkstatt</b>					
Winkelschleifer	2	0,96	1,92	0,30	0,58
Radialschleifer	2	2,0	4,00	0,25	1,00
Flächenschleifer	2	3,0	6,00	0,25	1,50
Kleiner Meißelhammer	4	0,48	1,92	0,15	0,96
Großer Meißelhammer	2	1,5	3,00	0,15	0,45
Blaspistole	18	0,48	8,64	0,10	0,86
Hebezeug	6	1,8	10,80	0,15	1,62
	<b>36</b>		<b>36,28</b>		<b>6,67</b>
<b>Montagehalle</b>					
Bohrmaschine (13 mm)	4	0,48	1,92	0,35	0,67
Bohrmaschine (24 mm)	3	1,44	4,32	0,30	1,30
Gewindeschneider	3	0,42	1,26	0,30	1,44
Drehschrauber	4	1,2	4,80	0,30	1,44
Schlagschrauber (M 12)	3	0,48	1,44	0,20	0,29
Schlagschrauber (M 32)	2	1,25	2,50	0,20	0,50
Kleinschleifer	4	0,48	1,92	0,25	0,48
Winkelschleifer	2	0,96	1,92	0,30	0,58
Radialschleifer	2	2,0	4,00	0,25	1,00
Flächenschleifer	2	3,0	6,00	0,25	1,50

Blaspistole	10	0,48	4,80	0,10	0,48
	<b>39</b>		<b>34,88</b>		<b>9,68</b>
<b>Lackiererei</b>					
Spritzpistole	6	0,30	1,80	0,50	0,90
Blaspistole	6	0,48	2,88	0,10	0,29
	<b>12</b>		<b>4,68</b>		<b>1,19</b>
<b>Summe</b>			<b>75,84</b>		<b>17,84</b>

## 6.2. Betriebsdruck

### Je höher der Verdichtungsdruck desto höher ist der Energiebedarf.

Ein bar höher zu verdichten kann einen Energiemehrbedarf, je nach Kompressortyp und --art, von 5-10 % zur Folge haben. Als Grundlage muss der erforderliche und niedrigst mögliche Netzdruck gelten. Dazu zu zählen ist die Druckdifferenz, die sich aus den zulässigen Schaltspielen ergeben plus die Verluste für Filter, Trockner und Leitungen.

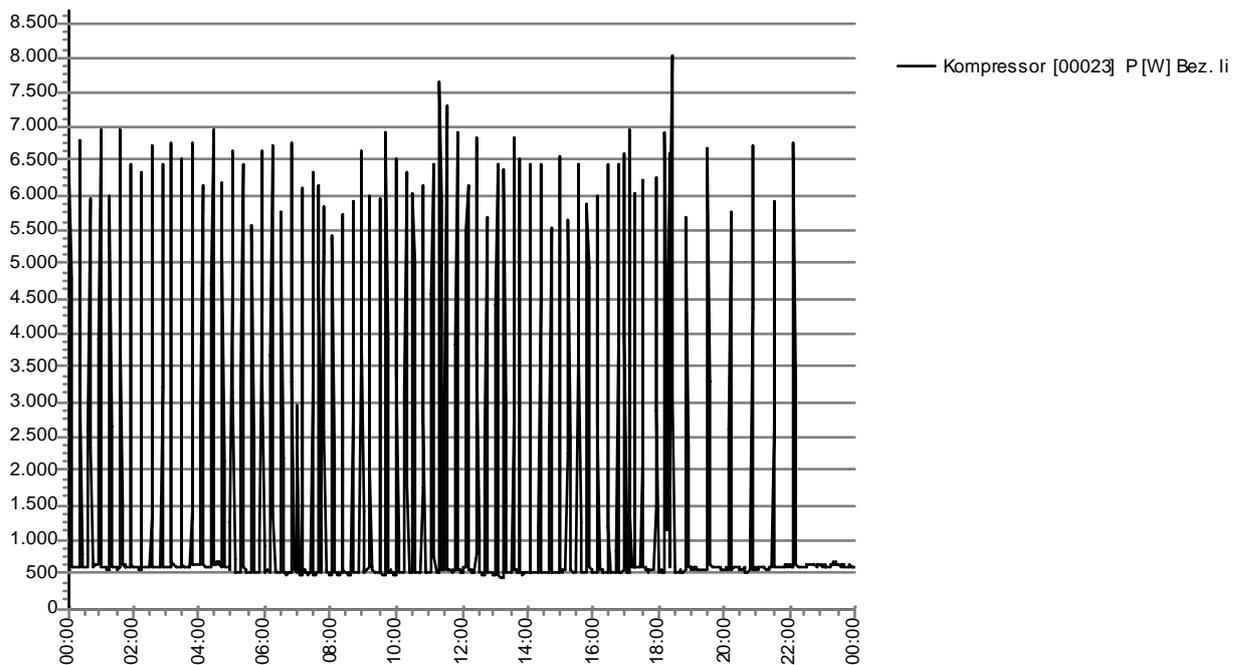


Bild 17 : Zunahme der Verluste bei unterschiedlichem Druck

Das Bild zeigt den Lastverlauf eines Kompressors in Minutenaufösung. Deutlich zu sehen ist der Basisverbrauch während des ganzen Tages (0-24h) durch den Kältetrockner. Zusätzlich lässt sich erkennen, dass während der Nacht (0-6.00) beträchtliche Verluste durch Leckagen auftreten, die der Kompressor immer wieder abdecken muss. Die Einschalthäufigkeit ist auch während des Tages, wenn gearbeitet wird, nicht wesentlich größer. Um ca. 19 Uhr wurde der Druck von 10 auf 9 bar gesenkt, wodurch der Energieverbrauch (Anzahl der Einschaltungen des Kompressors) deutlich gesenkt wurde. Der Kompressor benötigt nach der Druckreduktion nur mehr die Hälfte der Energie um die Verluste abzude-

cken. Das bedeutet, dass sich zusätzlich zum Mehraufwand für den höheren Enddruck (siehe oben) vor allem die Verluste durch Leckagen bei höheren Drücken wesentlich erhöhen.

Der Betriebsdruck ergibt sich aus dem am Verbraucher bereitzustellenden Druck und den Druckverlusten vom Erzeuger bis zum Verbraucher. Der am Verdichter einzustellende Maximaldruck schließt den Druckabfall in der Verdichterstation und den Druckregelbereich ein.

#### Beispiel für die Ermittlung des Maximaldruckes am Verdichter.

Druck am Verbraucher	$p_e$	=	6	bar
Druckabfall vom Behälter/Trockner bis zum Verbraucher	$\Delta p$	=	1	bar
Betriebsdruck	$p_e$	=	7	bar
Druckabfall in der Verdichterstation (Kühler, Trockner etc.)	$\Delta p$	=	0,2	bar
Regelbereich		=	0,8	bar
Maximaldruck der Verdichter	$p_e$	=	8	bar

Die Verbraucher benötigen den Nenndruck um die angegebene Nennleistung zu erbringen. Der Druckabfall sollte so klein wie möglich gehalten werden; denn je niedriger der Betriebsdruck ist, desto geringer sind die Kosten pro Kubikmeter Druckluft. Der Regelbereich wird bei größeren Anlagen auf 0,5 bis 1 bar eingestellt. Je kleiner er ist, desto höher ist die Schalthäufigkeit. Bei kleineren Anlagen nimmt man größere Druckschwankungen in Kauf und streckt den Regelbereich bis auf 2 bar. In einer Reihe von Betrieben werden Drücke benötigt, die einige bar auseinanderliegen. Beispielsweise kann der erzeugte Betriebsdruck  $p=8$  bar sein, während ein Teil der Verbraucher 3 bar benötigt.

#### Lösungsmöglichkeiten:

1. Reduzierung des Betriebsdruckes vor dem Verbraucher.
2. Separate Erzeugung von Druckluft mit einem Betriebsdruck von  $p.= 4$  bar.

Ist der prozentuale Anteil der Niederdruckluft am Gesamtverbrauch sehr niedrig, installieren viele Betriebe Reduzierventile, um diesen Bedarf abzudecken. Bei höherem Verbrauch lohnt es sich nachzurechnen, ob eine separate Erzeugung und Verteilung von Niederdruckluft nicht günstiger ist. Hub- und Drehkolbenverdichter können in vielen Fällen vom Nenndruck 8 bar auf 4 bar reduziert werden.

#### Wahl der Schaltdifferenz:

Die **Schaltdifferenz** ist möglichst **klein** zu halten. Sie ist letztlich ein Kompromiß zwischen möglichst niedrigem Enddruck und möglichst wenigen Schaltspielen pro Zeiteinheit.

**Ideal wäre ein großer Behälter mit möglichst kleiner Schaltdifferenz.**

### 6.3. Wahl der Maschinenart und -größe

**Anlauf, Leerlauf** und die **Entlastung verbrauchen Energie** und sind daher auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren, dh ein Kompressor sollte möglichst einen hohen Auslastungsgrad aufweisen. Dies ist erreichbar mittels:

1. Verbrauch genau errechnen
2. Verbrauchsmessungen vornehmen
3. Unnötige Angstzuschläge unterlassen
4. ggf. auf mehrere Einheiten aufteilen

#### Wahl der Kompressorart:

Für die Auswahl der Verdichterbauart gibt es kein allgemeingültiges Rezept. Die Gegebenheiten im Betrieb, eine Kostenanalyse und eigene Erfahrungen helfen, den Verdichtertyp festzulegen.

Ein Vergleich der Kompressoren bezüglich Leistungsfähigkeit wird durch die verschiedenen Konstruktionsarten und Betriebswerte erschwert. Der spezifische Energiebedarf ist bei Vergleichen von Maschinen ungefähr ähnlicher Größe ein taugliches Mittel für die Beurteilung.

**Je kleiner der Wert, desto besser ist die Maschine bezüglich des Energieverbrauchs.**

**Spezifischer Energiebedarf = Gesamtenergiebedarf kW min/ eff. Liefermenge m<sup>3</sup>**

Die verschiedenen Kompressorarten haben einen unterschiedlichen Leistungsbedarf zum Verdichten von 1 m<sup>3</sup> Luft zB von 0 auf 10 bar.

Kolbenkompressor einstufig	10,31 kW/m <sup>3</sup> /min
Schraubenkompressor einst.	10,06 kW/m <sup>3</sup> /min
Kolbenkompressor zweistufig	8,36 kW/m <sup>3</sup> /min

Je kleiner die Zahl mit der Dimension kW/m<sup>3</sup>/min, desto energieeffizienter wird Druckluft produziert.

**Ölfreie** bzw. trockenlaufende Kompressoren benötigen wegen der schlechteren Abdichtung der Kompressionsräume eine **höhere Antriebsleistung**.

**Schnelldrehende Kompressoren** haben in der Regel einen **schlechteren Wirkungsgrad** wegen der größeren Reibungs- und Ölumwalzverluste und wegen des schlechten Füllungsgrades beim Absaugen. Diese Anlagen sind jedoch in der Anschaffung meist günstiger.

Gegebenenfalls ist auch die Leerlaufleistungsaufnahme ein Entscheidungskriterium. Sie beträgt zB (bei mittlerem Volumenstrom und 7-8 bar Betriebsdruck)

bei Kolbenverdichtern	7 - 12 %
Schraubenverdichtern	15 - 28 %
Radialverdichtern	15 - 24 %
Drehschieberverdichtern	20 - 28 %.

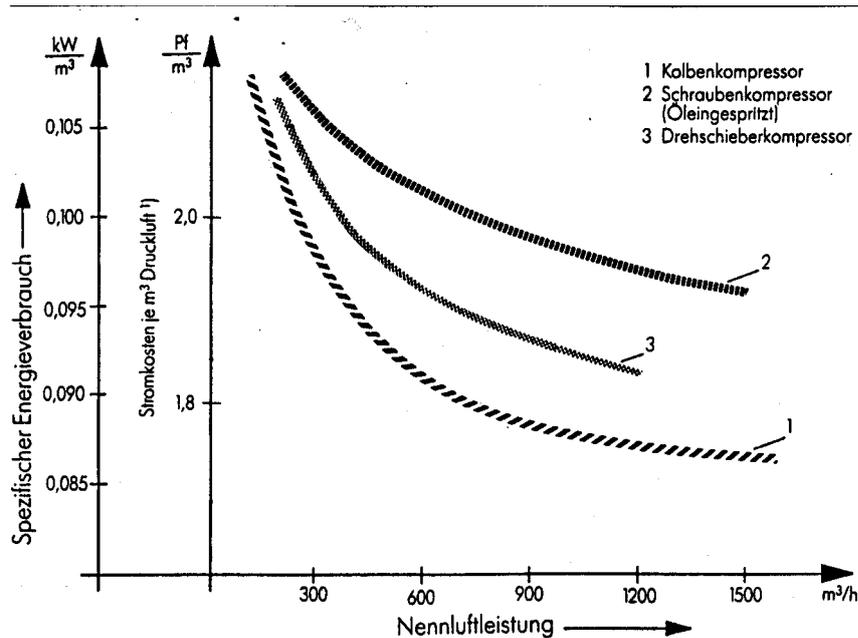


Bild 18 : Effizienzvergleich

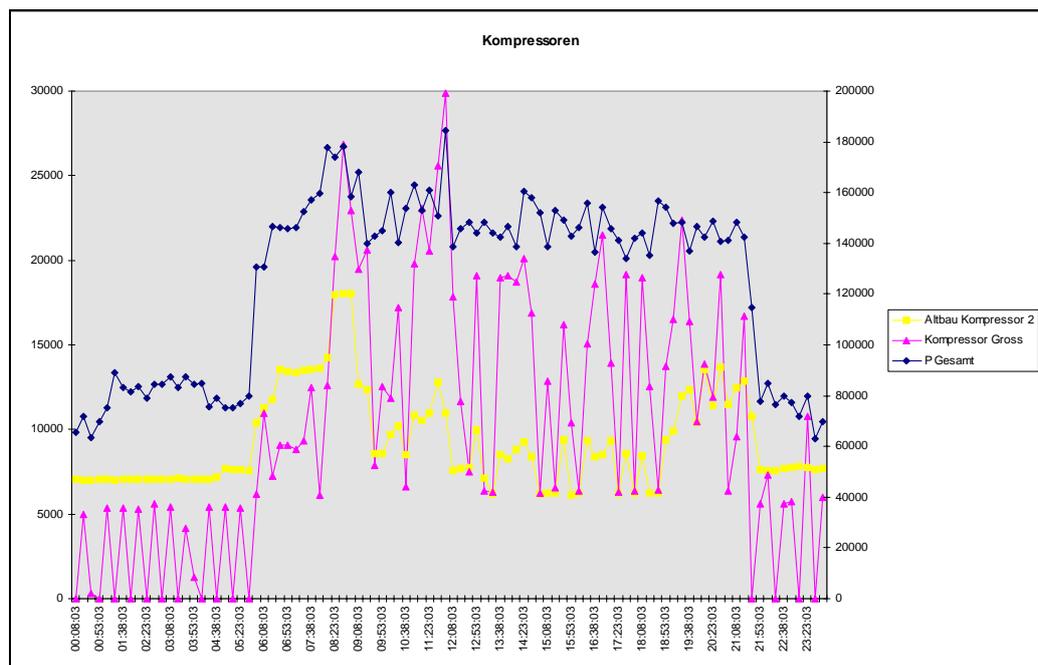


Bild 19 : Zusammenspiel zweier Kompressoren (Galvano Spindler aus Samples)

Oft werden in einer Druckluftstation ein Schrauben- und ein Kolbenkompressor gemeinsam betrieben. Dabei deckt der Schraubenkompressor die Grundlast während der Kolbenkompressor die Spitzen abdeckt.

## 6.4. Wahl der Druckbehälter

Die für ein Druckluftsystem erforderliche Behältergröße lässt sich berechnen bzw. aus entsprechenden Diagrammen ermitteln. Häufig werden jedoch aus Platz- und/oder Kostengründen die Behälter zu klein gewählt.

Die nachteiligen Folgen daraus: der Kompressor muss im Durchlaufbetrieb arbeiten, dh, die Leerlaufperioden verursachen mit der Zeit erhebliche Strommehrkosten. Wie schon vor 100 Jahren gilt hier nach wie vor der Grundsatz:

**„Die wirtschaftlichste Betriebsart ist ein richtig dimensionierter Druckluftbehälter“**

Arbeiten mehrere Kompressoren auf einem gemeinsamen Druckluftbehälter, so ist dieser auf den *größten Kompressor* auszulegen.

## 6.5. Wahl der Steuerung

### **Profi-Tip :**

„Ein Kompressor, der nicht läuft, verbraucht keinen Strom!“

Genauer gesagt : Die Art der Regelung entscheidet, in welchem Umfang die Leerlaufleistungsaufnahme erbracht werden muss.

Deshalb ist dort, wo eine Ein-Ausregelung machbar ist, diese anzuwenden. Wegen der Investitionskosten werden aber oft kleinere Druckluftbehälter gewählt, die bei den dadurch provozierten kurzen Stillstandszeiten, einen Aussetzbetrieb nicht zulassen.

Schraubenkompressoren sind meist mit einer Nachlaufregelung ausgerüstet, welche die Schaltspiele auf ein Minimum reduzieren, aber sehr viel Leerlaufstrom verbrauchen. Damit der Leerlaufstrom klein bleibt, wird das Verdichtungssystem, Kompressor, Druckleitung und Ölabscheider bis zum Rückschlagventil bei jeder Schaltung auf Druck Null entlastet. Die dabei verlorene Druckluft beträgt bei einem 45 kW 10 bar-Schraubenkompressor 0,4 bis 6 m<sup>3</sup>, was ebenfalls einen Energieverlust bedeutet.

Nachlaufzeiten sind deshalb mit geeigneten Maßnahmen möglichst kurz zu halten. Dies sind:

- nicht zu große Einheiten
- lastabhängige Steuerungen
- einstellbare Nachlaufzeiten
- wenig Schaltspiele

## 6.6. Sinnhaftigkeit einer Wärmerückgewinnung

Die praktisch erreichbare Wärmenutzung liegt bei einer Verdichteranlage bei 85 - 95 % der Leistungsangabe des Elektromotors.

Voraussetzung für eine Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung ist der Ersatz eines anderen, teureren Energieträgers durch die Kompressorabwärme. Mögliche Anwendungen sind :

- Warmluftheizung für Betriebsräume
- Galvanik
- Warmluft für Trockenprozesse
- Einspeisen in Zentralheizsystem
- Schwimmbeckenaufheizung
- Aufbau von Warmluftschleusen
- Warmwasser für Duschräume und Waschräume
- Nutzwasser für Kantinen und Großküchen
- Vorerwärmung von Brennerluft
- Reinigung von Werkstücken

### **Dabei sind, was die Wirtschaftlichkeit anlangt, einige Fakten zu beachten:**

- Wärmebedarf kann nur dann gedeckt werden, wenn auch Druckluftbedarf besteht.
- Genügende Ersatzheizleistung (Heizkessel) muss für Verdichterstillstandszeiten vorgehalten werden.
- Zur Wärmegewinnung sind in der Regel zusätzliche Investitionen notwendig.
- Die zurückgewonnene Wärme fällt überwiegend zwischen 50-60 °C bei luftgekühlten und bis ca. 80 °C bei wassergekühlten Anlagen an.
- Bei wassergekühlten Anlagen sind besondere Anforderungen an die Kühlwasser- bzw. Heizwasserqualität zu beachten, um Ablagerungen zu verhindern, zB Filtern von Feststoffpartikeln.
- Es ist darauf zu achten, dass der Verdichter wegen ungenügender Kühlung nicht gefährdet wird oder mit schlechtem Wirkungsgrad arbeitet.

## 7. Anhang

### Anhang A) Normen und Vorschriften

#### Europannorm

<b>EN 1012</b>	Kompressoren und Vakuumpumpen (Sicherheitsgrundlagen)
<b>EN 286-1</b>	Einfache, unbefeuerte Druckbehälter für Luft oder Stickstoff - Teil 1: Konstruktion, Herstellung und Prüfung (bis Druck-Liter-Produkt 10000)
<b>EN 292-1</b>	Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze - Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodik
<b>EN 292-2</b>	Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze - Teil 2: Technische Leitsätze und Spezifikationen
<b>EN 294</b>	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefahrstellen mit den oberen Gliedmaßen
<b>EN 349</b>	Sicherheit von Maschinen - Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen
<b>EN 378</b>	Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
<b>EN 418</b>	Sicherheit von Maschinen - NOT-AUS-Einrichtungen - funktionelle Aspekte; Gestaltungsleitsätze
<b>EN 563</b>	Sicherheit von Maschinen - Temperaturen berührbarer Oberflächen - Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen
<b>EN 626</b>	Sicherheit von Maschinen - Grundsätze für Maschinenhersteller zur Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen
<b>EN 837-1</b>	Druckmessgeräte - Teil 1: Druckmessgeräte mit Rohrfedern - Maße, Messtechnik, Anforderungen und Prüfung
<b>EN 1127</b>	Maschinensicherheit - Brände und Explosionen - Teil 1: Explosionsschutz
<b>EN 31688</b>	Recommended practise in design - Low noise machinery
<b>EN 50014</b>	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche - Allgemeine Bestimmungen
<b>EN 50081-2</b>	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Fachgrundnorm Störaussendung - Teil 2: Industriebereich
<b>EN 50082-2</b>	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Fachgrundnorm Störfestigkeit
<b>EN 50099-1</b>	Sicherheit von Maschinen - Grundsätze für Anzeiger, Bedienteile (Stellteile) und Kennzeichnung, Teil 1: Sichtbare, hörbare und tastbare Signale
<b>ENV 1070</b>	Sicherheit von Maschinen - Terminologie
<b>EN 953</b>	Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Anforderungen an die Gestaltung und Konstruktion von trennenden Schutzeinrichtungen (feststehend, bewegliche)
<b>EN 60204-1</b>	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen

## Internationale Normen

<b>ISO 1217</b>	Abnahmeversuch von Verdränger-Kompressoren
<b>ISO 7183</b>	Drucklufttrockner-Spezifikation und Messung
<b>ISO 8573</b>	Druckluft für allgemeinen Gebrauch (Verunreinigungen und Qualitätsklassen)
<b>ISO 3266</b>	Ringschrauben für allgemeine Hebezwecke
<b>ISO 3457</b>	Erdbau- und Straßenbaumaschinen Schutzeinrichtungen - Begriffe und Anforderungen
<b>[ISO 3864</b>	Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen
<b>ISO 3857-1;-2</b>	Verdichter, Druckluftwerkzeuge und -maschinen - Begriffe, Teil 1: Allgemeines - Teil 2: Verdichter
<b>ISO 4126</b>	Sicherheitsventile - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
<b>[ISO 6743-3A</b>	Schmierstoffe, technische Öle und verwandte Produkte (Klasse L) Klassifikation - Teil 3A: Familie D (Kompressoren)
<b>ISO 6743-3B</b>	Schmierstoffe, technische Öle und verwandte Produkte (Klasse L) Klassifikation - Teil 3B: Familie D (Gas- und Kälteverdichter)
<b>ISO 7000</b>	Graphische Symbole zur Anwendung an Einrichtungen Index und Übersicht
<b>IEC 417</b>	Graphische Symbole zur Anwendung bei Geräten - Sachregister, Übersicht und Zusammenstellung der einzelnen Blätter

## Nationale Normen

<b>DIN 1945</b>	Abnahmeversuche von Verdränger-Kompressoren
<b>DIN 1952</b>	Durchfluss-Messregeln
<b>DIN 45635</b>	Geräuschemessung
<b>DIN 2481</b>	Wärmeanlagen
<b>DIN 43903</b>	Feuchte in der Druckluft
<b>DIN 51506</b>	Kompressor-Schmieröle
<b>DIN 3188</b>	Druckluft für Atemgeräte
<b>DIN 13260</b>	Versorgungsanlagen für medizinische Gase
<b>DIN 43668</b>	Schlüssel für Zellen - oder Schranktüren von elektrischen Anlagen
<b>DIN 2403</b>	Kennzeichnung von Rohrleitungen
<b>GSG(V)</b>	Gerätesicherheitsgesetz und dazu ergangene Verordnungen
<b>B1mSchV</b>	Verordnungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>WHG</b>	Wasserhaushaltsgesetz

## Richtlinien

<b>VDI 2040/41</b>	Bestimmungsgrundlagen für Durchflussmessungen
<b>VDI 2045</b>	Abnahme und Leistungsversuche
<b>VDE 01 00</b>	Bestimmung für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannung bis 1 000 Volt
<b>VDE 01 05</b>	Bestimmungen für den Betrieb von Starkstromanlagen
<b>VDMA 4362</b>	Kleinkolbenverdichter bis 2,0 m <sup>3</sup> /min Bestimmung der Liefermenge (Volumenstrom)
<b>89/392/EWG</b>	EG-Maschinenrichtlinie Anhang 11 A: Konformitätserklärung, Anhang 11 B: Herstellererklärung
<b>73/23/EWG</b>	Niederspannungsrichtlinie
<b>84/404/EWG</b>	Richtlinie über einfach unbefeuerte Druckbehälter
<b>89/336/EWG</b>	Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit
<b>84/533/EWG</b>	Zulässiger Schalleistungspegel von Motorkompressoren (für Anlagen mit Verbrennungsmotor)

## Empfehlungen (Pneurop)

<b>PN 8 NT C 2.2</b>	Messung von Schallemissionen für Kompressoren und Vakuumpumpen
<b>PN 2 CPT CI</b>	Abnahmeversuch für Verdrängerkompressor-Elemente
<b>PN 2 CPT C2</b>	Abnahmeversuch für elektrisch getriebene Verdrängerkompressor-Komplettanlagen
<b>PN 2 CPT C3</b>	Abnahmeversuch für verbrennungsmotorgetriebene Verdrängerkompressor-Komplettanlagen

## Vorschriften

<b>VBG 4</b>	Unfallverhütungsvorschrift 7.0 des Verbandes für Berufsgenossenschaften: Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
<b>VBG 1</b>	Verdichter (UVV 13.4)
<b>VBG 20</b>	Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen
<b>DruckbehV</b>	Druckbehälterverordnung
<b>TRB</b>	Technische Regeln Druckbehälter (über Druck - Liter - Produkt 1 0000 und bei Sonderbehältern)

## Verbände

<b>PNEUROP</b>	European Committee of Manufacturers of Compressors, Vacuum Pumps and Pneumatic Tools
<b>CAGI</b>	Compressed Air and Gas Institute USA
<b>VDMA</b>	Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer

## Das CE-Zeichen

<b>CE</b>	= Communis Europeennes; Bedeutung: Das Produkt erfüllt die entsprechenden Richtlinien. Gültig seit dem 01.01.1995.
-----------	--

## **Anhang B) Generelle Sicherheitsbestimmungen**

Ausreichende Kühlung muss jederzeit sichergestellt sein. Die Aufstellungsbedingungen des Herstellers sind zu beachten.

Es dürfen keine gefährlichen Beimengen, zB giftige oder explosionsfähige Gase, aber auch Stäube und andere Schadstoffe angesaugt werden und keine offenen Flammen bzw. Funkenflug auftreten.

Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungsvorschriften des Herstellers müssen eingehalten werden; entsprechende Arbeiten sind nur von unterwiesenem Personal oder von Fachkräften durchzuführen.

### **Vorbeugende Brandschutzmaßnahmen**

Für Kompressorleistung > 40 kW bzw. mehrere Anlagen: Eigener Kompressorenraum empfohlen.

Boden, Decke und Umfassungswände mindestens feuerhemmend (Feuerwiderstandsklasse F30) ausgeführt, ebenso Öffnungen in diesen Bauteilen.

Oberhalb des Kompressors keine brennbaren Anlageteile, zB Kabeltrassen, installieren.

Eventuell auslaufendes Öl muss aufgefangen werden können.

Keine brennbaren Stoffe in einem Umkreis von drei Metern um die Verdichter lagern.

Bei Nutzung der Abluft zur Raumheizung müssen in die Lüftungskanäle selbstschließende Feuerschutzklappen (DIN 4102, Teil 6) eingebaut werden.

## Anhang C)

### Checkliste Wartungsarbeiten

Die Wartungsarbeiten für Hub- und Drehkolbenverdichter sind nicht sehr verschieden. Die nachstehend beschriebenen Tätigkeiten besitzen daher Allgemeingültigkeit. Besonderheiten sind den Bedienungsanleitungen der Hersteller zu entnehmen. Turboverdichter sind ausgenommen, da sie eine typenabhängige Behandlung erfordern.

## C1) Tägliche Wartungsarbeiten

### a) Ölstand prüfen, bei Bedarf Öl nachfüllen.

Ein **zu geringer Ölstand** oder zu geringer Ölverbrauch können zum Abreißen des Schmierfilmes führen, die Reibung vergrößern, Verschleiß hervorrufen, Leistungsaufnahme und Betriebstemperatur erhöhen, Maschinenstörungen und verkürzte Nutzung der Anlage zur Folge haben.

**Zu hoher Ölstand** im Kurbelgehäuse vergrößert die Leistungsaufnahme. Überschmierung fördert bei Verdichtern mit Verlustschmierung Rückstandsbildung und Ablagerungen an Ventilen, Kolbenringen und Schiebern, mit all den schädigenden Folgen. Die während der Einlaufperiode überhöhte Schmierstoffzufuhr muss nach wenigen Wochen gedrosselt werden.

Ein betriebsgünstiger Zustand ist erreicht, wenn das Innere der Druckräume einen dünnen Ölfilm aufweist und Druckventile sowie Druckleitungen keine Ablagerungen erkennen lassen.

Werden fortlaufend Ölablagerungen festgestellt, muss die Ölsorte gewechselt und notfalls auf synthetische Öle umgestellt werden. Die Ölverluste öleingespritzter Verdichter sind kurzfristig zu ergänzen, da eine verminderte Ölmenge die Kühlleistung herabsetzt und zu erhöhten Luftaustrittstemperaturen führt. Das Mischen verschiedener Ölsorten ist zu vermeiden. Die nachgefüllten Ölmengen sind im Betriebstagebuch zu notieren.

### b) Verschmutzungs- oder Vakuumanzeige des Luftansaugfilters kontrollieren.

Verschmutzte Filter vergrößern den Strömungswiderstand und erhöhen dadurch das Druckverhältnis in der nachfolgenden Verdichterstufe. Die Folgen sind ein Anstieg der Verdichtungsendtemperatur und der Leistungsaufnahme. Zur Überwachung des Filterzustandes dienen Vakuum- oder Verschmutzungsanzeiger. Sie können aber nur dann wirkungsvoll sein, wenn sie kontrolliert werden. Bleiben Hinweise auf Verstopfung unbeachtet, werden die Papierfilter zerrissen und der Schmutz in den Verdichter gesaugt.

### c) Regelung Kontrollieren.

Schließt man das Luftaustrittsventil hinter dem Druckstutzen des Verdichters, muss die Maschine während des Vollastbetriebes entlasten und in den Leerlaufbetrieb gehen. Ist das nicht der Fall, liegt eine Störung vor.

### d) Kondensatauslaß prüfen.

Durch Sichtprüfung wird kontrolliert, ob Kondensat aus den offenen Ableitungen austritt. Die Funktion automatischer Wasserabscheider kann leicht überprüft werden, wenn Handablässe vorhanden sind. Ist das nicht der Fall, muss zur Kontrolle die Zeit aufgewendet werden, die erfahrungsgemäß zwischen 2 Ausstößen liegt, um festzustellen, ob eine regelmäßige Abscheidung erfolgt.

## **C2) Wöchentliche Wartungsarbeiten**

### **a) Geräte und Betriebsraum reinigen**

Maschinenteile und Betriebsraum von Schmutz und Öl befreien und die Oberflächen der Rippen- und Wabenkühler absaugen oder abblasen.

### **b) Filter reinigen**

Die Papierfiltereinsätze der Ansaugfilter sind sogenannte Wegwerffilter. Bei größerem Staubanfall reinigt man sie durch abwechselndes, vorsichtiges Aufklopfen beider Stirnseiten auf eine flache Holzunterlage. Dabei wird der größte Teil des groben, trockenen Schmutzes aus dem Filtereinsatz entfernt.

Danach bläst man trockene, möglichst ölfreie Luft in umgekehrter Richtung zum Ansaugstrom durch den Filtereinsatz. Dabei wird die Ausblasdüse im Abstand von ca. 25 mm längs der Falten des Papiereinsatzes auf- und abgeführt. Eine "feuchte" Reinigung ist nur dann zu empfehlen, wenn die Ansaugluft eine größere Anzahl von Partikeln organischer Verbindungen (zB Öl) enthält und der Filtereinsatz verschmiert ist. Er kann in lauwarmem Wasser gespült werden, dem ein nicht schäumendes Reinigungsmittel beigemischt ist. Den Filtereinsatz wenigstens 15 Minuten im Reinigungbad liegen lassen, dann gründlich mit Wasser abspritzen und an der Luft - ohne Verwendung zusätzlicher Wärmequellen - trocknen lassen. In der Zwischenzeit Ersatz-Filtereinsatz einbauen.

Solche Reinigungsprozeduren können 3-5mal wiederholt werden. Der Filtereinsatz ist nach dem Trocknen mit einer hellen Lampe zu untersuchen. Sind dünne Stellen, Löcher oder Risse zu erkennen, muss er weggeworfen werden. Ein gereinigter Einsatz kann erst dann wieder verwendet werden, wenn er vollkommen trocken ist. Bis dahin wird er staubsicher verpackt und aufbewahrt.

### **c) Ölabscheider kontrollieren**

Die Abscheideelemente der Ölabscheider in öleingespritzten Verdichtern müssen eine hohe Abscheideleistung erbringen. Ihre Standzeit hängt ab von der Anzahl der Festpartikel im Öl, der Öltemperatur und -qualität. Bei Mineralölen werden Standzeiten von 4000-8000 Betriebsstunden erreicht, die sich bei der Benutzung synthetischer Öle erhöhen.

Bei einem Zerbersten der Abscheideelemente fließt das Öl in den Luftstrom. Um den dabei entstehenden Schaden zu vermeiden, sind die Elemente mit einem Unterdruckmanometer versehen: Bei einem Betriebsdruck von 7 bar rechnet man bei neuen Elementen mit einem Druckabfall von 0,1 -0,2 bar. Steigt er auf 0,8 bar, sind die Abscheideelemente auszuwechseln. Eine Reinigung ist nicht möglich.

### **C3) Jährliche Wartungsarbeiten**

Die jährlichen Wartungsarbeiten sind in vielen Betrieben eine Aufgabe des Instandhaltungspersonals.

#### **a) Ölwechsel**

Öl altert und verliert an Schmierkraft. Die Folge sind Ablagerungen und evtl. Verkoksungen. Die Ölwechselintervalle hängen von der Bauart des Verdichters und der Temperaturbelastung des Schmierstoffes ab. Deshalb sind die vom Hersteller vorgeschriebenen Ölwechselintervalle einzuhalten. Sie schwanken zwischen 1 000 und 4000 Betriebsstunden.

Das Öl im betriebswarmen Zustand ablassen und das Kurbelgehäuse mit Spülöl reinigen. Auf keinen Fall hierfür Benzin, sonstige feuergefährliche Flüssigkeiten, Wasser oder alkalische Lösungen verwenden. Bei jedem Ölwechsel das Ölsieb ausbauen und reinigen sowie den Ölfilter auswechseln.

Frisches Öl bis zur oberen Messstabmarke oder bis zur oberen Markierung im Schauglas einfüllen. Verdichter einschalten und bis zur Stabilisierung der normalen Betriebstemperatur laufen lassen. Danach abschalten, Ölrückfluß abwarten (wenigstens 5 Minuten) und Öl nachgießen, um die Füllung des Ölfilters und ggf. des Ölabscheiders auszugleichen. Nicht zuviel Öl einfüllen.

#### **b) Temperaturschalter überprüfen**

Bei vielen Verdichtern wird das Verdichterelement durch Überwachung der Druckluftendtemperatur geschätzt. Ein Thermostat veranlasst die Abschaltung der Anlage, wenn die eingestellte Temperatur erreicht ist.

Beim Prüfen des Temperaturschalters wird der Wärmefühler zusammen mit einem zuverlässigen Thermometer in ein Ölbad eingetaucht, das langsam erwärmt wird. Eine batteriegespeiste Prüflampe wird mit den Schalteranschlüssen verbunden. Die Lampe muss erlöschen, dh der Schaltkontakt öffnen, wenn die gewünschte Schalttemperatur erreicht ist. Geschieht dies nicht, ist die Temperatureinstellung zu korrigieren. Geräte, die eine Schaltereinstellung nicht zulassen, sind auszuwechseln, wenn die Öffnungstemperatur + 10% oder mehr vom Sollwert abweicht.

#### **c) Sicherheitsventile kontrollieren**

Die einfache Funktionsprüfung eines Sicherheitsventiles durch Betätigung des Handhebels sollte alle 3 Monate erfolgen. Sie zeigt, ob der Ventilkegel ohne Schwierigkeit vom Ventilsitz abhebt. Jährlich ist zu kontrollieren, ob das Ventil beim höchstzulässigen Betriebsdruck abbläst. Er ist auf dem Typenschild des Verdichters angegeben. Diese Tätigkeit dürfen nur dazu befugte Personen ausüben. Eine Nachregulierung ist bei Verdichteranlagen dann erforderlich, wenn die Ventile bei einem Druck, der 0,5 bar über dem höchstzulässigen Betriebsdruck liegt, nicht öffnen. Nach der Einstellung ist das Sicherheitsventil erneut zu verplomben.

#### **d) Kühler kontrollieren und bei Bedarf reinigen.**

Die Reinigungsintervalle eines wassergekühlten Kühlers hängen von der Qualität des Kühlwassers und seiner Austrittstemperatur ab. Ablagerungen sind erkennbar am Anstieg

der Drucklufttemperatur hinter dem Kühler. Normalerweise wird er im Verlauf der allgemeinen Überholung des Verdichters gereinigt. Bei vorzeitigem Absinken der Kühlleistung muss die Reinigung früher erfolgen. Spezialfirmen bieten die Durchführung dieser Arbeit an, es kann sie aber auch das eigene Personal erledigen.

### **Vorgangsweise:**

Einem Volumenanteil Salzsäure (Konzentration ca. 30%), werden je nach Art und Grad der Verschmutzung 1-5 Teile Wasser zugesetzt. Die Lösungsmenge sollte um 50% größer sein als das Kühlervolumen und in einem Kunststoffbehälter untergebracht werden. Dazu gibt man einen Inhibitor (Stoff, der eine Reaktion verzögert), der verhindern soll, dass die Lösung Stahl- und Eisenteile der Anlage angreift. 0,1%ige Hexamethylentetraminlösung  $C_6H_{12}N_4$  ist beispielsweise solch ein Reaktionshemmer, der auch in anderen Zusammensetzungen im Fachhandel erhältlich ist.

Eine Umwälzpumpe fördert die Flüssigkeit über einen Zuleitungsschlauch über den Kühlwassereinlassstutzen durch den Kühler; aus dessen Kühlwasseraustrittsöffnung läuft sie durch einen Schlauch in den Behälter zurück.

Die Saugleitung sollte etwas über dem Boden des Gefäßes beginnen, damit gelöste Kesselsteinteilchen nicht erneut in den Kreislauf geraten. Ein Erwärmen der Entkalkungslösung ist nicht zwingend, kann aber den Reinigungsvorgang beschleunigen. Es ist darauf zu achten, dass Stopfen oder andere Teile aus Zink oder Aluminium mit der Spülflüssigkeit nicht in Berührung kommen.

Da die Lösung trotz des beigemischten Inhibitors noch Stahlteile angreift, empfiehlt es sich, den Entkalkungsvorgang nicht über die Zeit hinaus auszudehnen, die zum Lösen des Kesselsteines notwendig ist. Sie darf 5 Stunden nicht überschreiten. Zweckmäßigerweise wird nach Beendigung dieser Tätigkeit die säurehaltige Lösung in einen 2. Behälter gepumpt, der das doppelte Fassungsvermögen des 1. Behälters hat. Dort wird sie später mit Neutralisierungslösung gemischt und die so entstandene unschädliche Flüssigkeit kann in die Abwasserleitung abgeführt werden.

Das Innere des Kühlers wird mit warmem Wasser neutralisiert, dem Kalziniede Soda ( $Na_2CO_3$ ) im Verhältnis von 10 kg Soda auf 90 l Wasser beigemischt wird. Anschließend wird mit klarem Wasser nachgespült, bis das abfließende Wasser frei von Feststoffteilchen oder Trübung ist. Anstelle der Spülungen kann das Kühlerrohrbündel auch gezogen und in den beschriebenen Lösungen gereinigt werden. Diese Reinigung dauert zwar lange, kann aber gut unter Kontrolle gehalten werden.

### **e) Kondensatableiter reinigen**

Die Ölverbindungen und Öltröpfchen im Kondensat führen in den Kondensatableitern zu Ablagerungen und verkleben den Öffnungsmechanismus.

Deshalb sollte er jährlich zerlegt, gereinigt und die beweglichen Teile mit Molykote eingerieben oder eingesprüht werden. Beim Zusammenbau wechselt man die O-Ringe und Dichtungen aus.

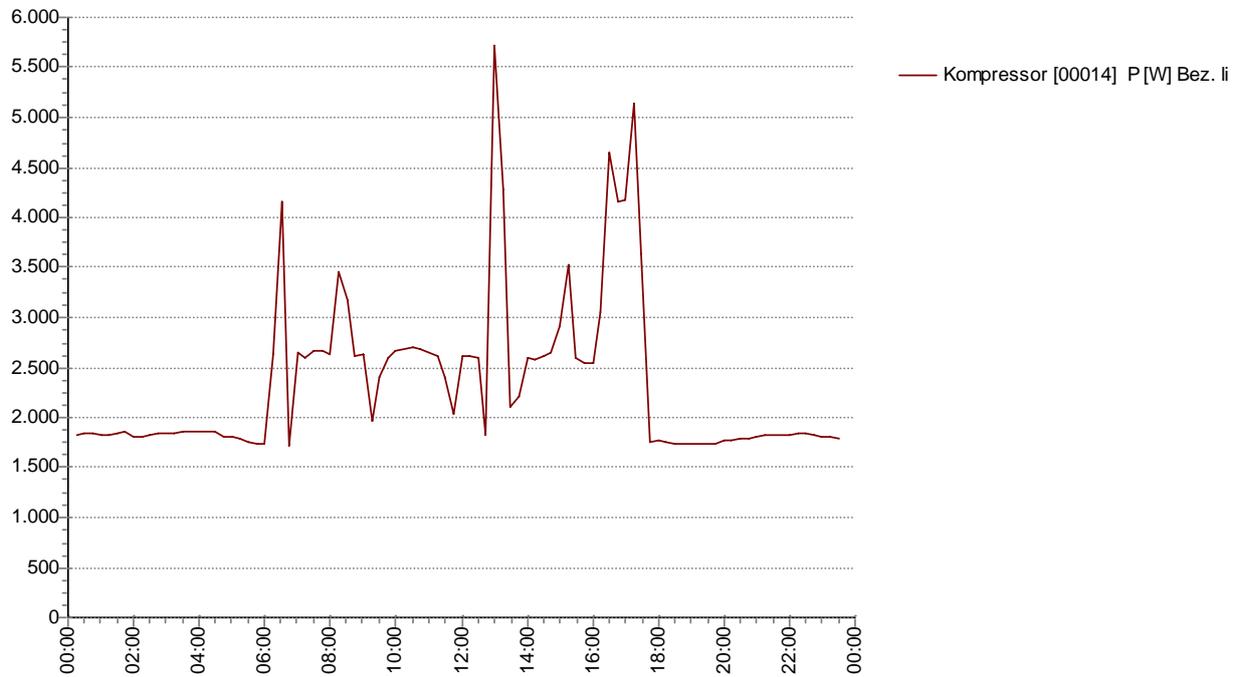
**Anhang D) Literaturliste**

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| (1) Mohrig Werner                   | Druckluft Praxis erzeugen- aufbereiten - verteilen -<br>anwenden<br>Resch-Verlag, 1988                                       |
| (2) Jörg Wieczorek                  | Die wirtschaftliche Druckluftstation - Planung - Installation -<br>Betrieb, Atlas Copco, 1997                                |
| (3) Ernst Hofmann,<br>Richard Stein | Pneumatik in der Konstruktion<br>Vogel Buchverlag, 1987  |
| (4) Joachim E. Albrecht             | Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und<br>elektromechanischer Antriebs- und Werkzeugsysteme,<br>Ravel 1993 |
| (5) Franz Münst                     | Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -<br>verteilung, Ravel 1992  |
| (6) Kaeser Kompressoren             | Druckluftseminar   |
| (7) Kaeser Kompressoren             | Lieferprogramm 97/98   |
| (8) Atlas Copco                     | Lieferprogramm 97/98   |
| (9) CompAir Agre                    | Lieferprogramm 97/98   |
| (10) CompAir Agre                   | Sonderinformationen  |
| (11) Agre                           | Druckluftherzeugung - Ein Leitfaden  |
| (12) Atlas Copco                    | Zum Thema Luftentfeuchtung   |
| (13) Bouse/Arendt                   | Energiesparende Druckluftanlagen - Technik und Wirtschaft-<br>lichkeit, Gewerbeamt Baden Württemberg, 1988                   |

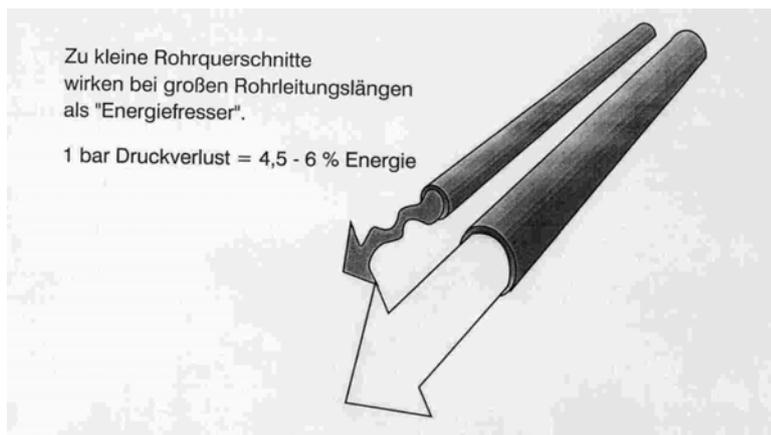
**Bildquellennachweis (ursprüngliche Liste):**

Text Seite	Inhalt	Quelle lt. Literaturliste	Seite	Bild Nr.
9	Kolbenkompressor	6	2/7	1
		1	25	11
9	Schraubenkompressor	8	15	1
		1	45	22
16	Aussetzerregelung	9 Steuerungen	1	A
16	Nachlaufregelung	9 Steuerungen	1	L
16	Verbrauchsabh. Kombiregler	9 Steuerungen	3	MCC
19	Kältetrockner	12	8	?
20	WRG	9 WRG	8	1,2,3
21	Leistungsarmaturen	2	88	8.2-1
30	Werkzeuge	2	15	1-2
32	Effizienzvergleich	13	3	2

## Ergänzende Abbildungen :



**Bild 9 : Energiebedarf für Kältetrockner**



**Bild 11 : Rohrquerschnitte und Druckverlust**



Bild 13 : sichtbare Leckage an einem Öler



Bild 14 : deutlich hörbare Leckagen an Übergängen und Verbindungen

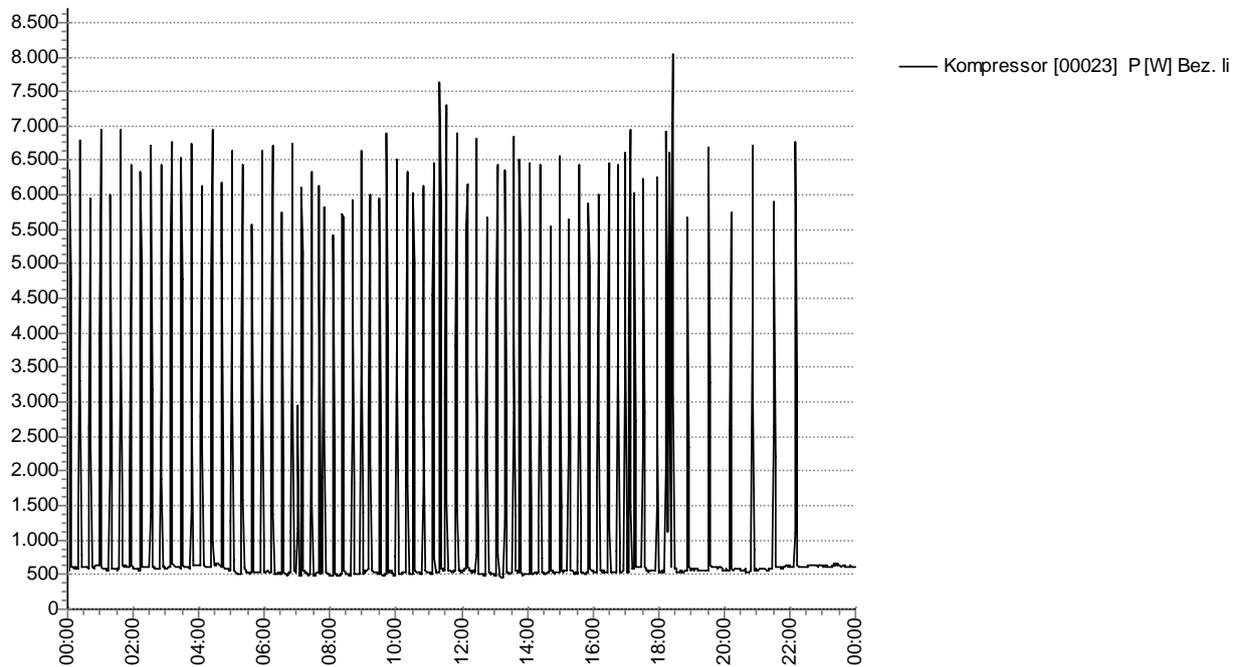


Bild 17: Zunahme der Verluste bei unterschiedlichem Druck

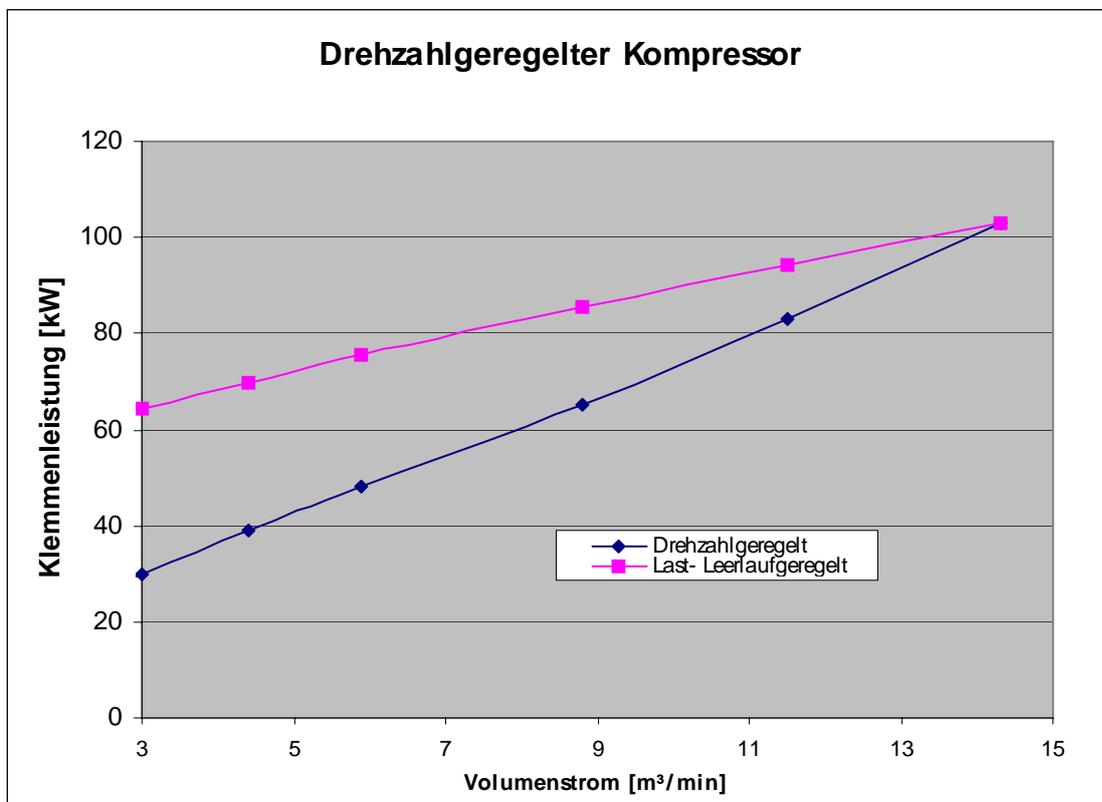


Bild 5.: Drehzahlregelung

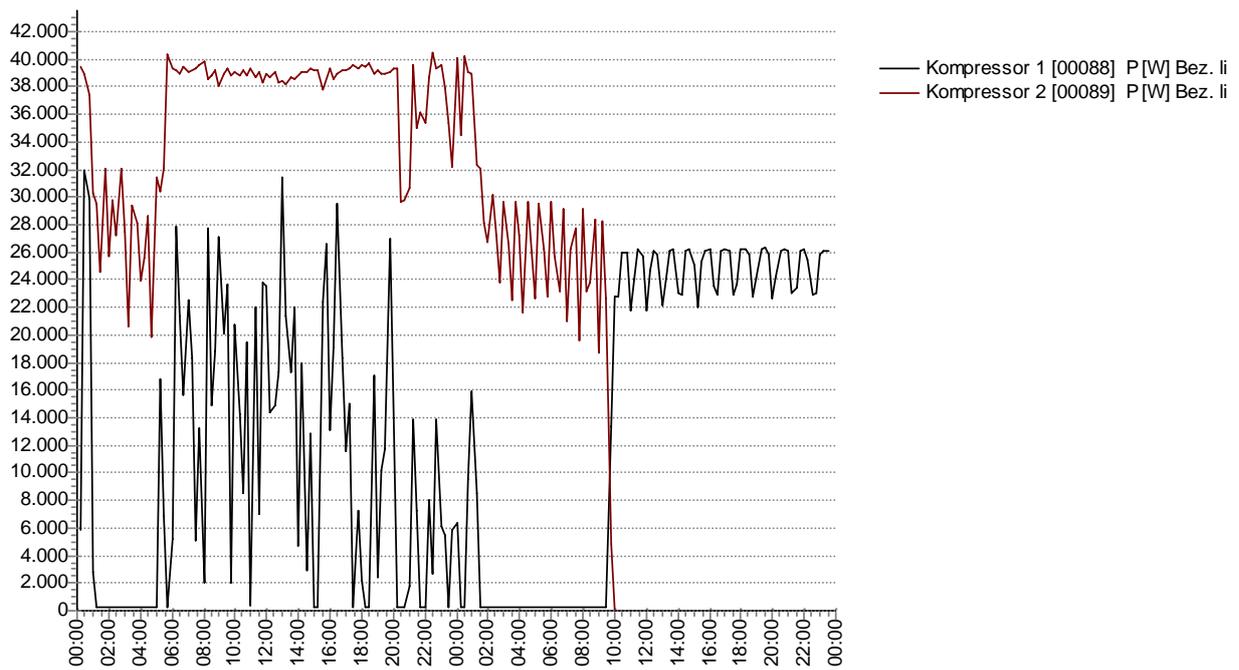


Bild 7.: Verbundregler

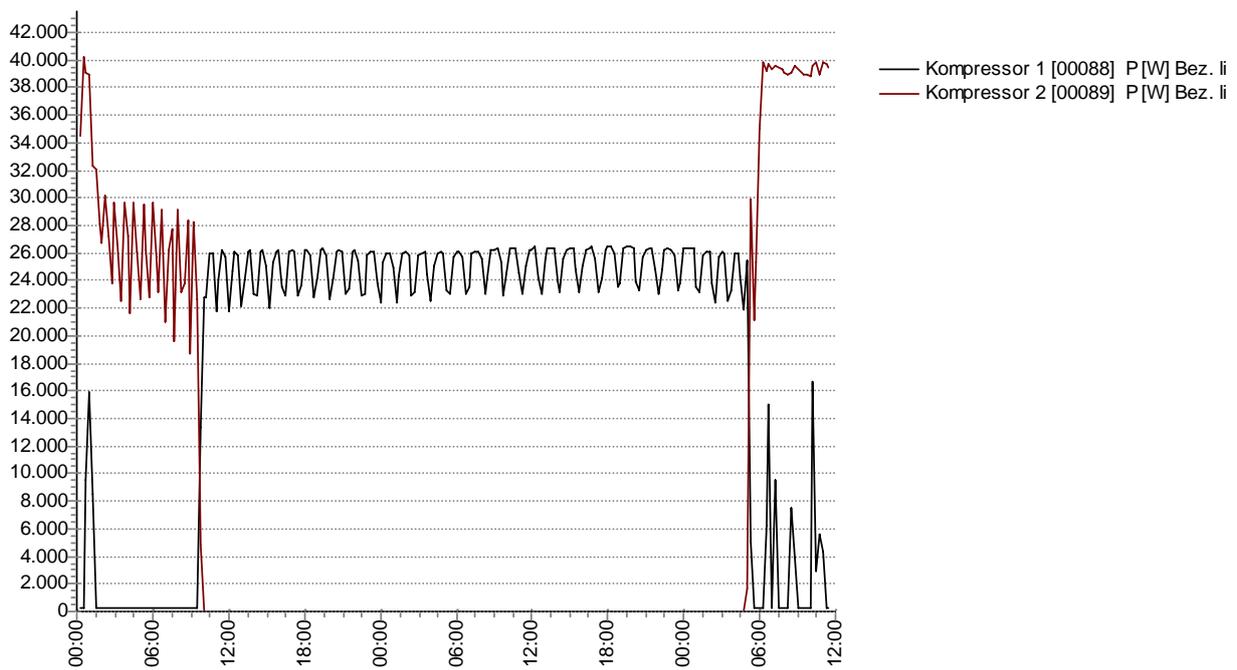


Bild 15.: Leckagen werden oft am Wochenende sichtbar

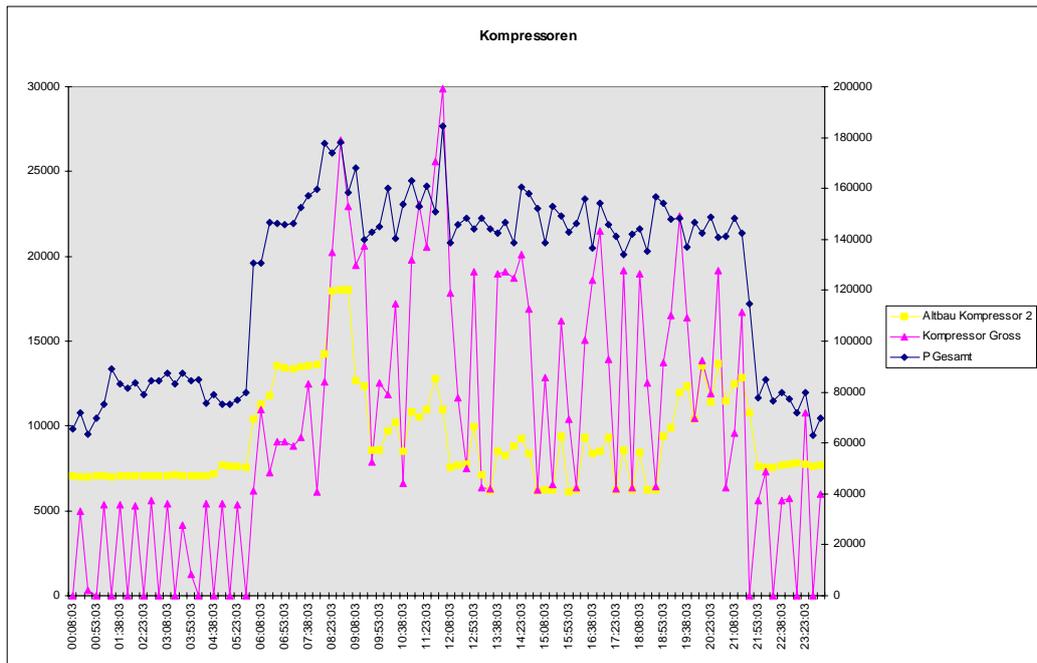


Bild 19 : Zusammenspiel zweier Kompressoren