

## Die Entscheidungsenergie: **Das Druckluft special**

**Ein wertvolles Arbeitsmedium kommt ins Gerede, aber:  
Kompressoren müssen keine Energieräuber sein**

Was stellen Sie sich unter 14.000.000.000. kWh vor?

Ein gigantischer Wert, oder?

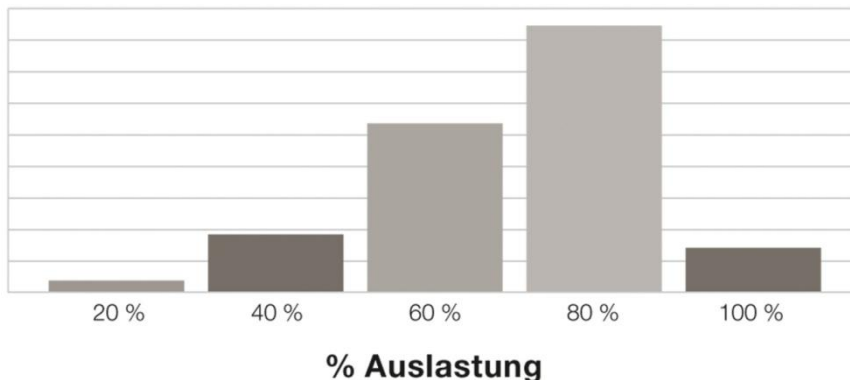
Es sind 14 tWh (Terrawattstunden) Energie, für deren Erzeugung vier Kohlekraftwerke oder 1,3 Atomkraftwerke arbeiten müssen. Wir sprechen von 14 Milliarden kWh Strom; das sind ca. 7% des industriellen Strombedarfs in Deutschland, die für die Erzeugung von Druckluft jährlich aufgewendet werden.

### **DER DRUCKLUFTKOMPRESSOR**

Druckluftkompressoren sind unverzichtbar, aber derzeit nur zu ca. 80% ausgelastet. Und genau an diesem Punkt müssen wir ansetzen, wenn wir Effizienz und Energiebilanz verbessern wollen. Über 80% der Druckluftkosten sind Energiekosten....

**Die gute Nachricht:**

**Durch Umbau und Modernisierung der Druckluftanlagen können bis zu 40% der Energie eingespart werden**



entspricht der jährlichen Strom-  
erzeugung von 1,3 Kernkraftwerken



entspricht dem jährlichen Strom-  
verbrauch der Deutschen Bahn



# DRUCKLUFTECHNIK

## Die gute Nachricht:

**Durch Umbau und Modernisierung der Druckluftanlagen können bis zu 40% der Energie eingespart werden**

Welche Maßnahmen können die Energieeffizienz erhöhen und damit auch Kosten reduzieren?

## Kostentreiber

1. Teure Leerlaufzeiten, teure Entlastungszeiten und hohe Druckverluste bei der Entlastung
2. Sehr breit angelegte Druckbereiche („Druckbänder“) der Kompressoren
3. Leistungsverluste bei der Druckluftherzeugung  
Druckluftleitungen haben fast immer Leckagen: die durchschnittliche Leckage einer Druckluftstation liegt bei ca. 20-30%
4. Wärmeverluste

## Kostensparer

1. Drehzahlregulierung für ein besonders effizientes Arbeiten der Antriebssysteme
2. Intelligente Steuerungen
3. Direktantrieb
4. Mit einer Druckabsenkung von nur 1 bar durch Drehzahlregelung reduzieren sich die Leckagen um ca. 10%
5. Wärmerückgewinnung

**Wichtig:** Bei der Druckluftherzeugung können durch Umbau und Modernisierung der Anlagen bis zu **40% Energie eingespart** werden. Eine Druckluftstation sollte:

möglichst **viele Lastlaufstunden**

möglichst **keine Leerlaufstunden** haben!

Fraunhofer-Institut ISI

# DRUCKLUFTECHNIK

## Das Komprimieren kapieren: Die Geschichte der Druckluft

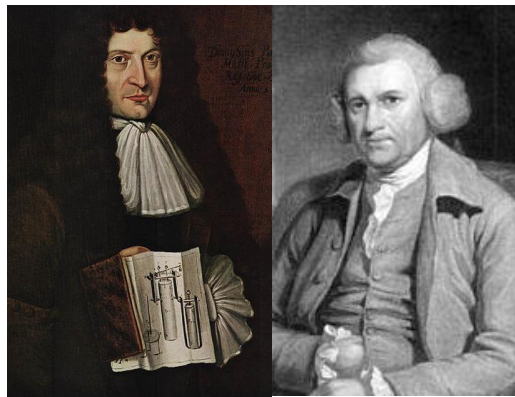
Heute ist in einem modernen Industrie- und Handwerksbetrieb die Druckluft neben der elektrischen Energie, die wichtigste.

Aber wie ist es dazu gekommen?

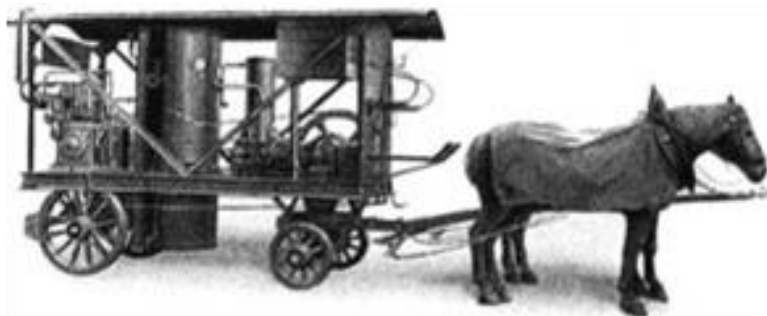
Zum ersten Mal wurde Druckluft „professionell“ beim Bau des Schweizer Monte-Cenis-Tunnels in der Zeit von 1857 bis 1871 eingesetzt. Die ursprünglich für 25 Jahre anberaumte Bauzeit für diese 12,2 km lange Verbindung zwischen europäischen Hauptstädten Rom und Paris über Turin und Grenoble konnte durch die elektrische Zündung von Sprengladungen und durch den Einsatz von *pneumatischen Bohrhämmern* auf 14 Jahre verkürzt werden. Die Kompressoren wurden mit Wasserturbinen angetrieben.

Sehr bald wurden daraufhin die nahezu unbegrenzten Einsatzmöglichkeiten der Druckluft erkannt, und es wurden immer noch leistungsfähigere Systeme entwickelt und eingesetzt.

Energiesparen war damals kein Thema – wichtig waren die Gewinnung des Arbeitsmediums Druckluft und die Maximierung seiner Wirkkraft. Um 1900 wurden auch in Österreich und Deutschland die ersten Unternehmen mit Druckluft versorgt.



Die eigentliche Geschichte der Druckluft beginnt mit D. Papin und J. Smeaton.



# DRUCKLUFTECHNIK

## GRUNDLAGEN der DRUCKLUFTECHNIK

### Zusammensetzung der atmosphärischen Luft

Was wir Luft nennen, ist ein Gasgemisch, das vor allem aus Stickstoff, Sauerstoff und einer größeren oder kleinen Menge Wasserdampf besteht. Die Luft enthält außerdem geringe Mengen an Edelgasen und leider auch eine Menge Verunreinigungen in Form von Kohlenwasserstoff, die der Mensch produziert. Die Zusammensetzung der Luft bleibt bis zirka 3000 m Höhe fast unverändert.

### Definition des Druckes

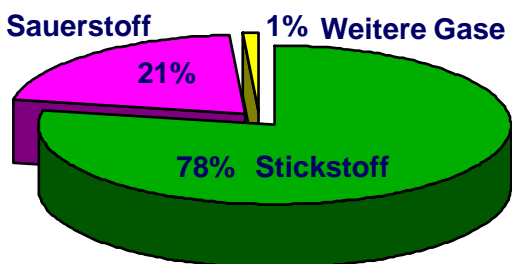
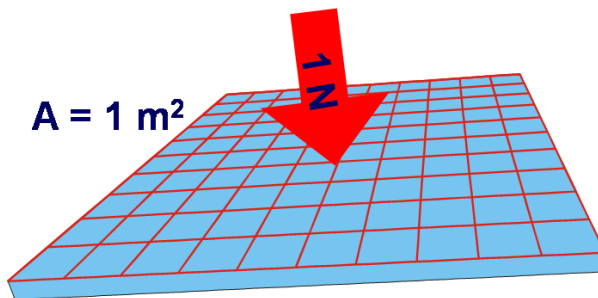
Allgemein gilt:

$$\text{Druck (p)} = \frac{\text{Kraft (F)}}{\text{Fläche (A)}}$$

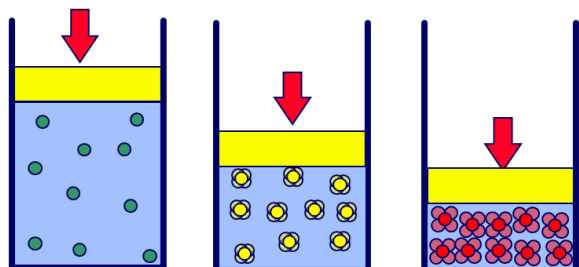
Dimensionen:

$$1 \text{ Pascal (Pa)} = \frac{1 \text{ Newton (N)}}{1 \text{ m}^2 \text{ (A)}}$$

Wieviel sind/ist	
10 <sup>5</sup> Pa	= 1bar
1 MPa	= 10 bar
1 hPa	= 0,001 bar
Überdruck	
1 bar	= 14,5 psi(g)
1bar	= 10197 mmWS
1bar	= 750,062 Torr



### Funktions - Prinzip eines Verdichters



## DRUCKLUFTECHNIK

### ENERGIEEINSPARPOTENTIALE einer DRUCKLUFTSTATION

Druckluft ist neben der elektrischen Energie die wichtigste Energieform eines modernen Industrie- und Handwerksbetriebes.

Die Investition einer Druckluftanlage ist durchaus erheblich und sollte daher auf der Seite der laufenden Energiekosten eine besondere Beachtung finden.

Die Druckluftkosten verteilen sich auf etwa:

84% Energiekosten, 13,5% Kapitalkosten und 2,5% Wartungskosten bei 4000 Betriebsstunden pro Jahr.

Drehzahlregelte Kompressoren sparen wesentliche Energie

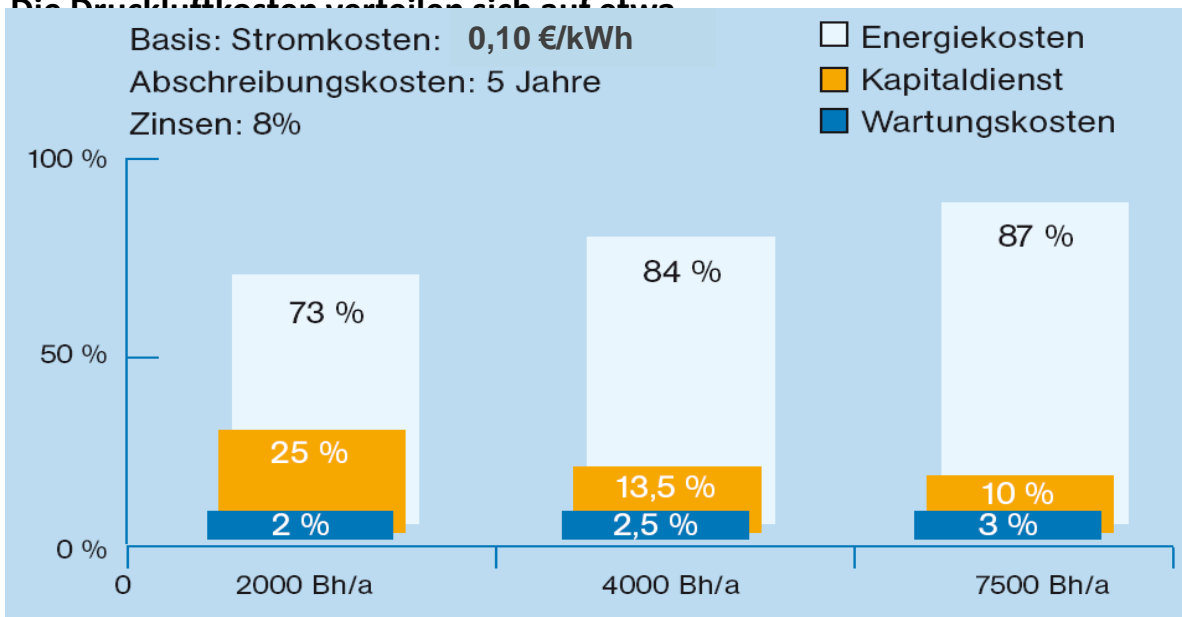
Wärmerückgewinnungssysteme bringen zusätzlichen Nutzen in Form von z.B. Warmwasser –Erzeugung und/oder Raumheizung.

Eine ausreichende Be- und Entlüftung des Aufstellungsraumes ist notwendig um einen wirtschaftlichen und ausfallsicheren Betrieb zu gewährleisten.

Möglichst eine hohe Auslastung der Kompressoren anstreben. Viele Laststunden – möglichst keine Leerlaufstunden.

**ACHTUNG:** 1 bar mehr Druck = 6 - 8% mehr Leistungsaufnahme!

Die Druckluftkosten verteilen sich auf etwa:



# DRUCKLUFTECHNIK

## ENERGIEEINSPARPOTENTIALIALE einer DRUCKLUFTSTATION

### Drehzahlgeregelte Kompressoren sparen wesentliche Energie

Bei der Drehzahlregelung wird die optimale Anpassung der Liefermenge an den schwankenden Luftverbrauch durch Variation der Motordrehzahl realisiert.

**steigt der Luftbedarf:** wird die Motordrehzahl und somit direkt die Verdichterdrehzahl erhöht. **⇒ Die Liefermenge steigt.**

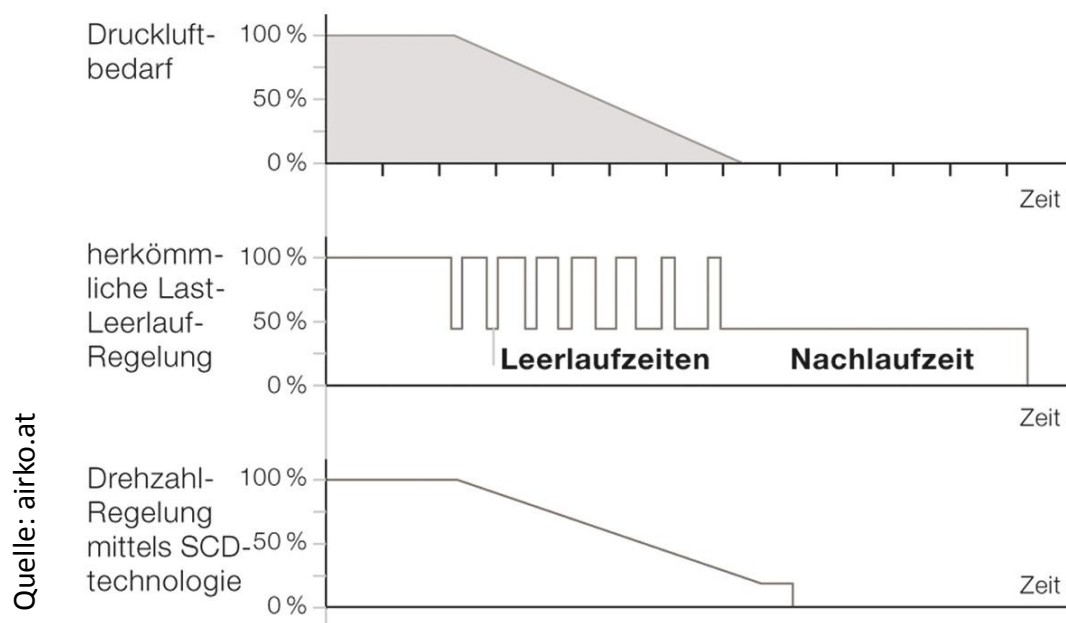
**- fällt der Luftbedarf:** wird die Motordrehzahl und somit direkt die Verdichterdrehzahl verringert. **⇒ Die Liefermenge sinkt.**

Bei 100% Luftbedarf arbeitet der herkömmliche Kompressor als auch der Drehzahlgeregelte mit Voll-Last.

Sollte der Bedarf sinken, geht der herkömmliche Kompressor in die Last-/Leerlaufregelung. Es kommt zu Schaltspielen des Antriebsmotors, wobei die voreingestellte Nachlaufzeit berücksichtigt werden muss.

Drehzahlgeregelte Kompressoren variiert ihre Drehzahl und fährt so exakt die Liefermenge in Abhängigkeit des Bedarfes nach unten.

- es entstehen keine teuren Leerlaufzeiten (ca. 25-40% der Voll-Leistung)
- es entstehen keine Schaltspiele, d.h. geringere mechanische Belastung der Bauteile



# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch die DREHZAHLEGEUNG

### Beispielrechnung:

Antriebsleistung des Kompressors: 60 kW (Liefermenge ca. 8,5 m<sup>3</sup>/min.)

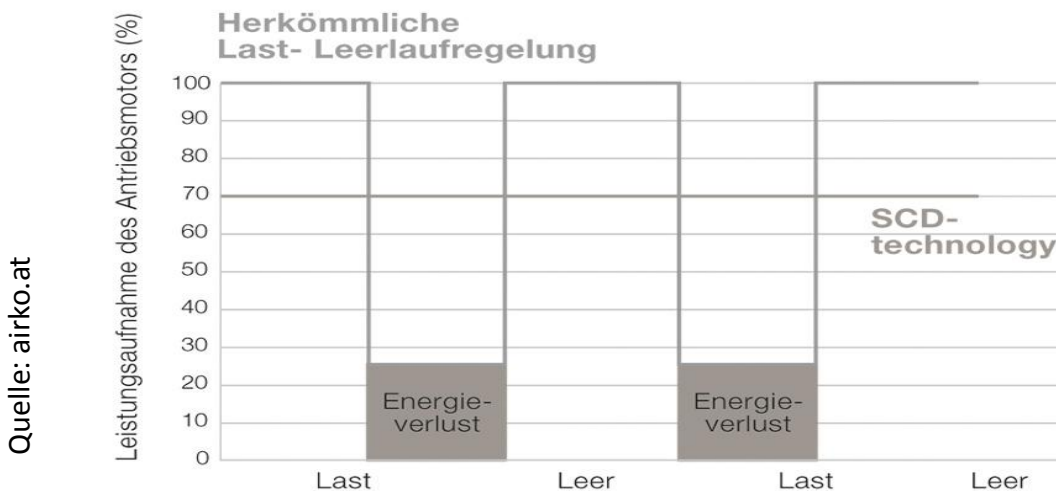
Auslastung: 70% Voll-Lastanteil, 30% Leerlauf mit ca. 20-40% der Voll-Last Leistungsaufnahme

Betriebsstunden pro Jahr: 4.000 h

Benötigter Betriebsdruck: 9 bar(ü)

Energiekosten: 10 Cent/kwh

### 1. Leerlaufzeiten der Kompressoren



Im Leerlauf benötigt der Standard-Kompressor ca. 25% - 40 % der Energie, die unter Voll last aufgenommen wird, ohne dabei Druckluft zu produzieren.

#### Berechnung des Einsparpotenzials:

→ 4.000 Bh /Jahr x 30% Leerlaufanteil x 25% von 60 kW x Stromkosten(€/kWh)

→ 1.200 Bh x 15 kW x 10 (Cent/kWh)

**1.800 € / Jahr Einsparung**

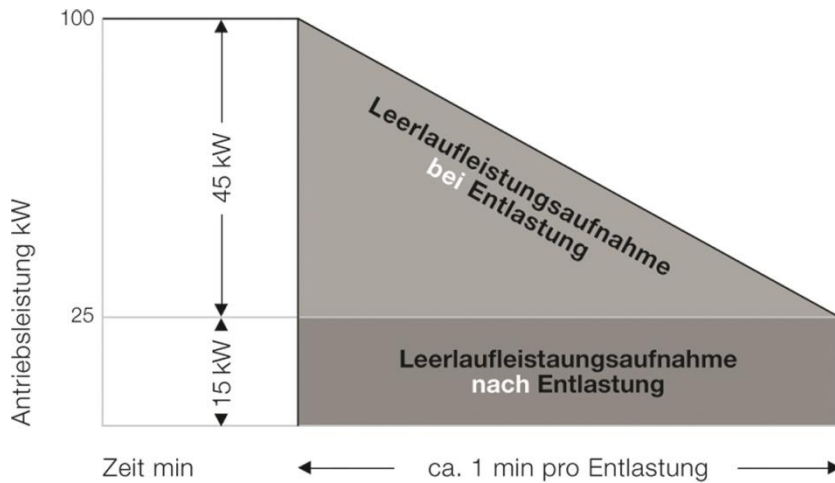
### 2. Verringerte Entlastungshäufigkeit

Beim jedem Last-Leerlaufwechsel wird ein Standardkompressor entlastet, d.h. er fährt über eine Zeitspanne in den Leerlauf zurück. Diese Entlastungszeit beträgt bis zu 1 Minute.

# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch die DREHZAHLREGELUNG

Quelle: airko.at



Berechnung des Einsparpotenzials: 4.000 Bh/Jahr x 15 Last-Leerlaufwechsel/h x 0,5 min. Entlastungszeit

→ 30.000 min Entlastungszeit = 500h Entlastung x 45/2 kW = 11.250 kWh

→ 11.250 kWh x 10 Cent/kWh

**1.125 € / Jahr Einsparung**

### 3. Druckverluste durch Entlastung

Bei Entlastungsvorgängen wird die sich im Kompressor befindliche Druckluft abblasen bis zu einem sehr geringen Restdruck (z.B. 1 bar(ü))

$$P_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{10 \text{ bar (abs)} \times 80 \text{ l}}{2 \text{ bar (abs)}}$$

$$V_2 = \frac{p_1 \times V_1}{p_2}$$

$$V_2 = 400 \text{ l (DL-Verlust pro Entlastungsvorgang)}$$

Berechnung des Einsparpotenzials: 4.000 Bh/Jahr x 15 Last-Leerlaufwechsel/h

→ 60.000 Wechsel/Jahr x 400 l DL-Verlust = 24.000 m<sup>3</sup> DL-Verlust/Jahr

→ 24.000 m<sup>3</sup> DL-Verlust/Jahr x 3 Cent\*

\* Anmerkung: Druckluft kostet durchschnittlich 3 Cent pro m<sup>3</sup>

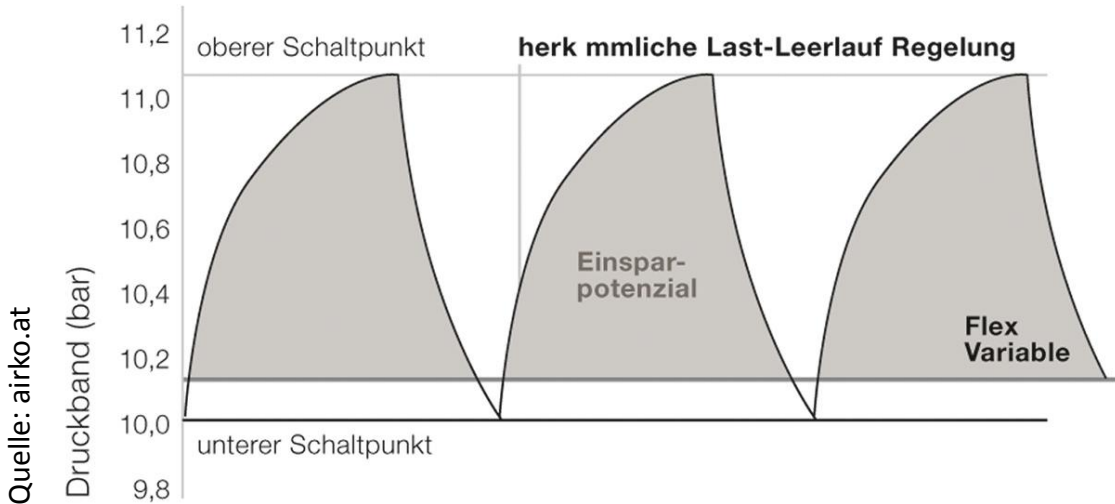
**720 € / Jahr Einsparung**



# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch die DREHZAHLREGELUNG

### 4. Druckbänder der Kompressoren



Die drehzahlgeregelten Kompressoren fahren mit einem konstanten Betriebsdruck (bis  $\Delta p \sim 0,1$  bar). Da **hoher Druck = hohe Energie** sind hier enorme Energieeinsparungen möglich.

Berechnung des Einsparpotenzials: 1 bar Druckbandreduzierung

→ 7% von 60kW x 4.000Bh x 10 cent/kWh

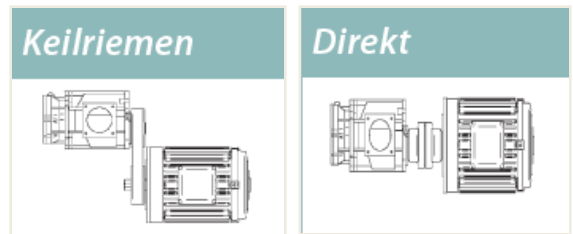
**1.680 € / Jahr Einsparung**

### 5. Leistungsverluste bei der Erzeugung von Druckluft

Zum Beispiel durch Einsparung mit Direkt statt Keilriemenantrieb

Wirkungsgrad Keilriemenantrieb: ca. 96,0 %

Wirkungsgrad Direktantrieb: ca. 99,9 %



Berechnung des Einsparpotenzials: 60 kW x 4% = 2,4 kW Einsparung

→ 2,4 kW x 4.000Bh = 9.600 kWh

→ 9.600 kWh x 10 Cent/kWh

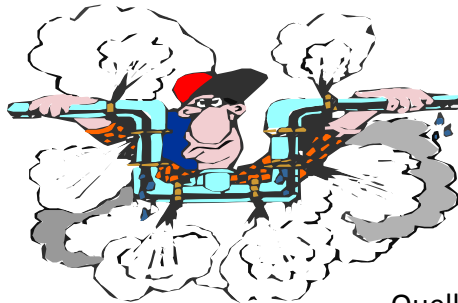
**960 € / Jahr Einsparung**

# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch die DREHZAHLREGELUNG

### 6. Leckagen im Druckluftnetz

Druckluftleitungen haben immer Leckagen. Untersuchungen haben ergeben, dass die durchschnittliche Leckage rate einer Druckluftstation bei ca. 20 - 30% liegt. Bei einer Druckabsenkung von **1 bar** durch z.B. Drehzahlregelung reduzieren sich diese Leckagen um **ca. 10%!**



Quelle: airko.at

Berechnung des Einsparpotenzials: Druckbandreduzierung: 1 bar

→ 25% Leckage von 8,5 m<sup>3</sup>/min = 2,125 m<sup>3</sup>/min

→ 2,125 m<sup>3</sup>/min Leckage x 10% = 0,21 m<sup>3</sup>/min Leckagereduzierung

→ 0,21 m<sup>3</sup>/min x 4.000 Bh = 50.400 m<sup>3</sup>/Jahr Leckagereduzierung

→ 50.400m<sup>3</sup>/Jahr x 3 Cent/m<sup>3</sup>

**Gesamteinsparpotenziale im Überblick:** **1.512 € / Jahr Einsparung**

Vermeidung / Reduzierung von:

Leerlaufzeiten:	<b>1.800 €</b>
Entlastungszeiten:	<b>1.125 €</b>
Druckverluste während Entlastung:	<b>720 €</b>
Druckoptimierung:	<b>1.680 €</b>
Direktantrieb:	<b>960 €</b>
Leckagereduzierung:	<b>1.512 €</b>

**Gesamteinsparung pro Jahr ca.: 7.797 €**

**durch den Einsatz einer drehzahlgeregelten Anlage!**

(Im Vergleich zum Standardkompressors mit

70% Auslastung, 4000 Betriebsstunden, Energiekosten 10 Cent/kWh )

# DRUCKLUFTECHNIK

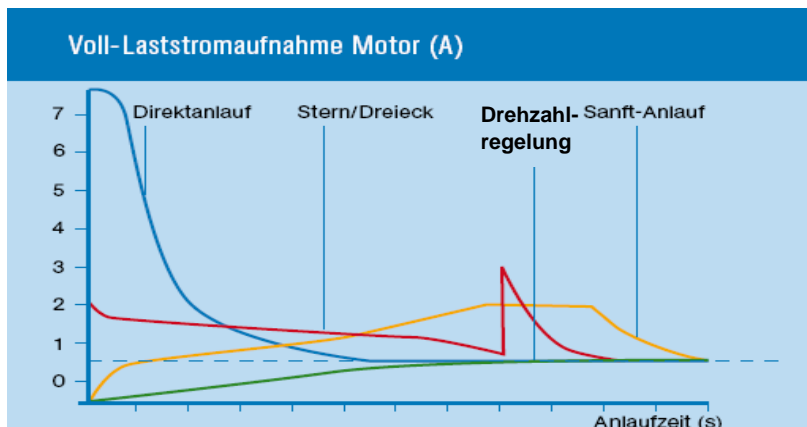
## EINSPARUNG durch die DREHZAHLREGELUNG

### Weitere Vorteile .....

Drehzahlregelte Kompressoren mit Direktantrieb fahren sehr energieschonend hoch (keine Stromspitzen) und sind auch wesentlich leiser als vergleichbare Kompressoren mit Keilriemenantrieb.

Viele Kunden zahlen nach Stromspitzen  $\Rightarrow$  enorme Einsparung von Stromkosten. Entlastung von „schwachen“ Netzen. Enorme Entlastung der mechanischen Bauteile („Umschaltschläge“ unterbleiben).

Quelle: airko.at



### Geringer Behältergrößen

Der Druckluftbehälter kann bis zu 50% kleiner ausgelegt werden im Vergleich zur Behältergröße von Standard-Schraubenkompressoren!!

$$V_B = V_{\text{eff}} \cdot 0,15$$

$V_B$  = Druckluftbehältervolumen [m<sup>3</sup>]  
 $V_{\text{eff}}$  = Volumenstrom des Grundlastkompressors [m<sup>3</sup>/h]

Quelle: airko.at

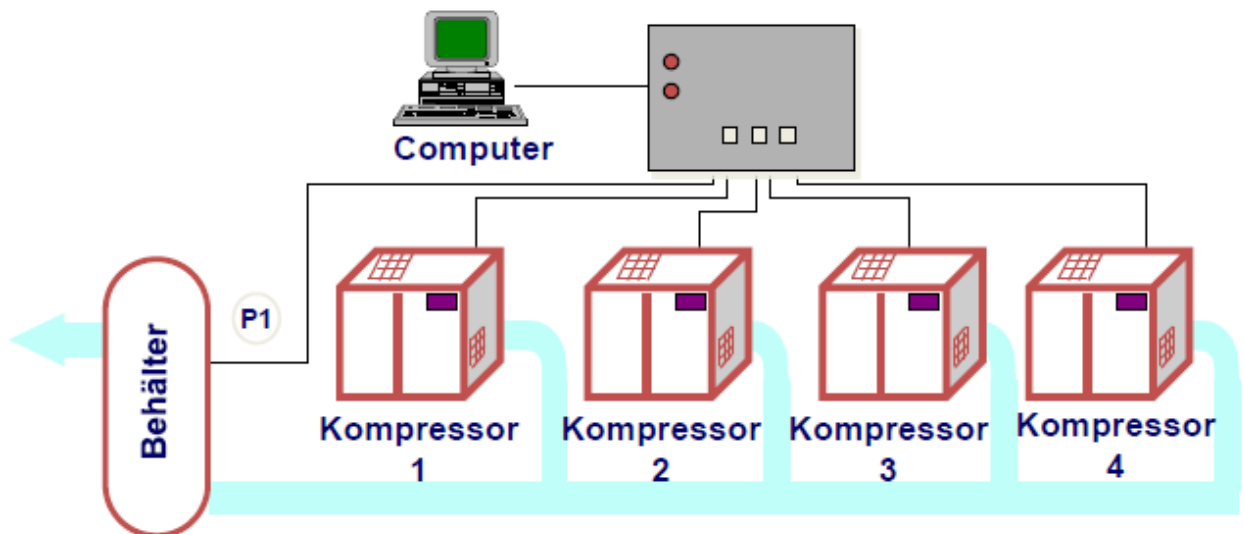


Drehzahlregelte Kompressoren als verlässliche Energiesparer

# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch intelligente Steuerungssysteme

Die Einführung von Übergeordneten Steuerungssystemen hat in den letzten Jahren zu einer enormen Leistungssteigerung der Druckluftstationen geführt. Das bezieht sich nicht nur auf die gestiegene Anzahl der realisierbaren Funktionen. Es bedeutet auch einen wesentlich intelligenteren Umgang mit der eingesetzten Energie, mithin also eine erhebliche Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Kompressoranlagen.



### Merkmale:

Quelle: airko.at

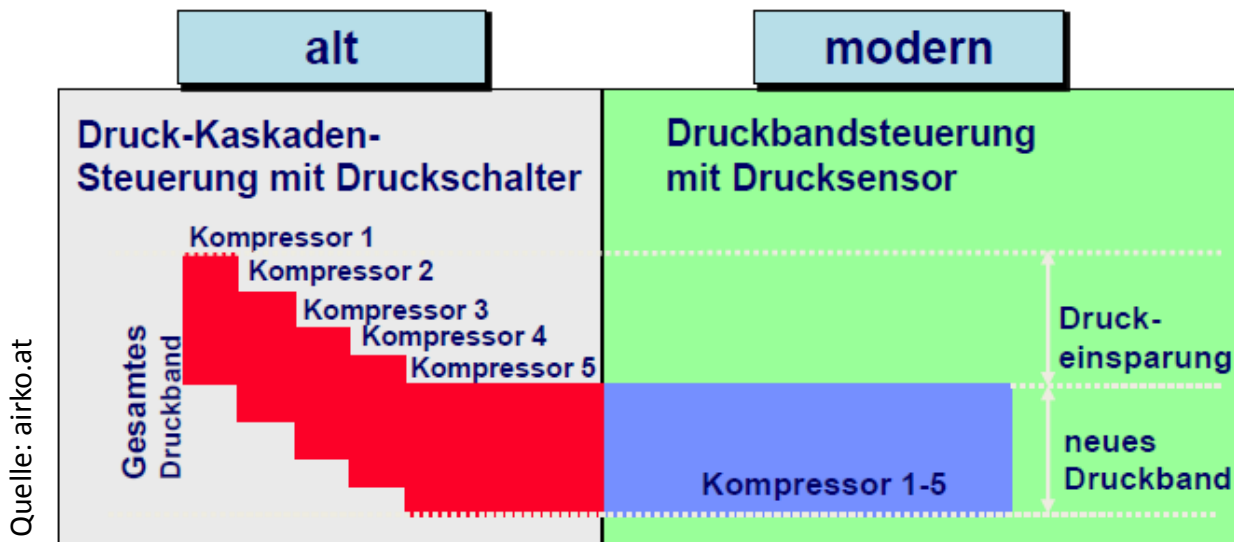
- Steuern von bis zu 16 Kompressoren in einem engen Druckband von ca. 0,4 bar bedeutet Energieeinsparung
- Netzdruckerfassung durch einen gemeinsamen Drucksensor
- Grundlastwechsel programmierbar
- Kompressoren können verbrauchsabhängig zugeschaltet werden
- Nach der Nachlaufzeit schalten die Motoren auf Stop, wenn kein neuer Belastungsbefehl kommt
- Zweiwege - Kommunikation

# DRUCKLUFTECHNIK

## EINSPARUNG durch intelligente Steuerungssysteme

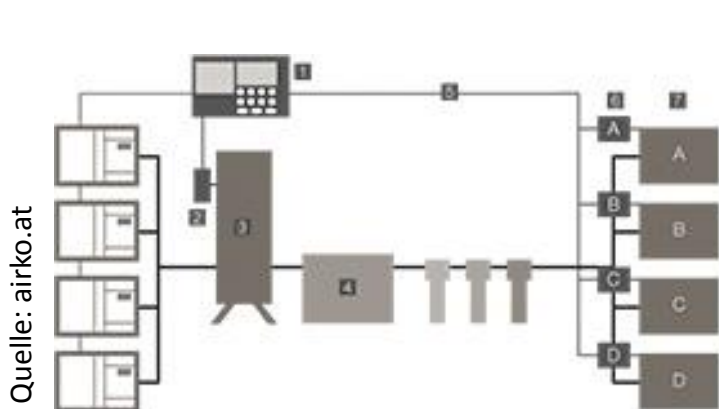
### Weitere Vorteile:

1. Ansteuerung von Zubehör (z.B. Kältetrockner, Ventilatoren, Jalousien,...)
2. Überwachen von Zustandsmeldungen der Nebenaggregate
3. Schnittstelle zur einer übergeordneten Leittechnik (PC-Anbindung)



Typische Kaskadenregelung mehrerer Kompressoren im Verbund:  
Nachteil dieser Anordnung ist die Aufsummierung der Druckbänder zu einem gemeinsamen breiten Druckband.  
Wirtschaftlich sehr ungünstig

Moderne Regelungsvariante mehrerer Kompressoren im Verbund:  
Vorteil dieser Anordnung ist, dass alle angeschlossenen Verdichter über einen gemeinsamen übergeordneten Drucksensor in einem sehr schmalen Druckband gesteuert werden. Auch Druckschalteranlagen kommen in den Vorzug einer Sensorregelung. Sehr wirtschaftlich



Druckregelung durch externe Sensoren vor den Verbrauchern.

# DRUCKLUFTECHNIK

## ENERGIEEINSPARPOTENTIALE durch Wärmerückgewinnung

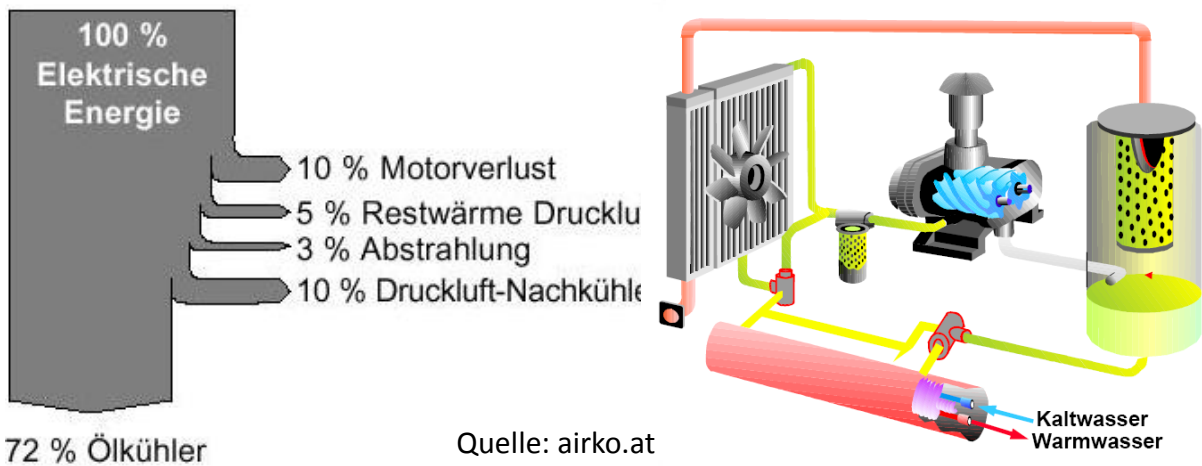
**Abwärme ist kein Abfall. Sondern ein Schatz, den es zu heben gilt.**

Was zählt, ist das sinnvolle und effiziente Zusammenspiel der drei Parameter „Druckluftbedarf, Abwärmeneiveau und aktueller Wärmebedarf“.

Mit speziellen Thermokoppler wurden speziell für die Nutzung jener Abwärme entwickelt, wie sie beim Betrieb von Kompressoren entsteht. Eine elektronische Steuereinheit sorgt für die Regelung der gewünschten Temperaturen.

Schraubenkompressoren mit Kühlung durch eingespritztes Öl sind besonders ergiebige Quellen für die Nutzung der wertvollen Abwärme.

Allein über den Ölkühler können ca. 72% der aufgenommenen Energie abgeführt und genützt werden.



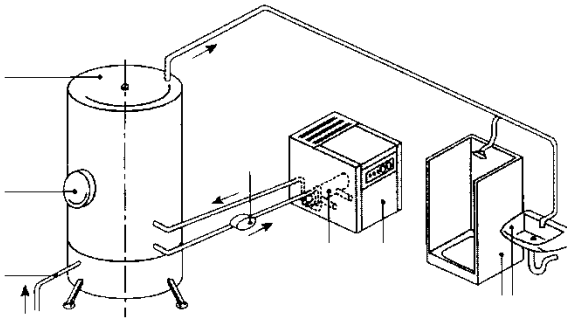
### Integrierte Wärmerückgewinnung

Im Ölkreislauf des Kompressors ist ein Platten,- oder Röhrenwärmetauscher integriert. Der Wärmetauscher und alle dafür notwendigen Komponenten (Absperrungen, Entleerung, wasserseitiges Regelventil samt Temperaturfühler und Verrohrung) sind innerhalb der Kompressorverkleidung installiert. Die wasserseitigen Anschlüsse sind durch die Kompressorverkleidung nach außen geführt und die bauseitige Anbindung des Wärmerückgewinnungs Kreislaufes ist meistens vom Betreiber zu übernehmen.

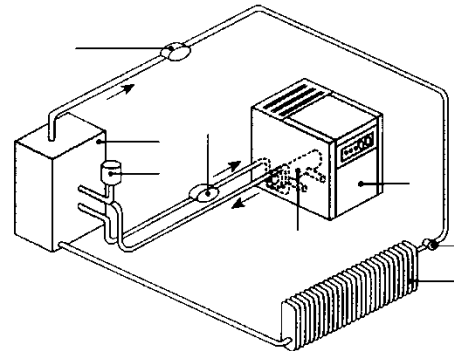
# DRUCKLUFTECHNIK

## ENERGIEEINSPARPOTENTIALE durch Wärmerückgewinnung

### Wärme für Brauchwasser

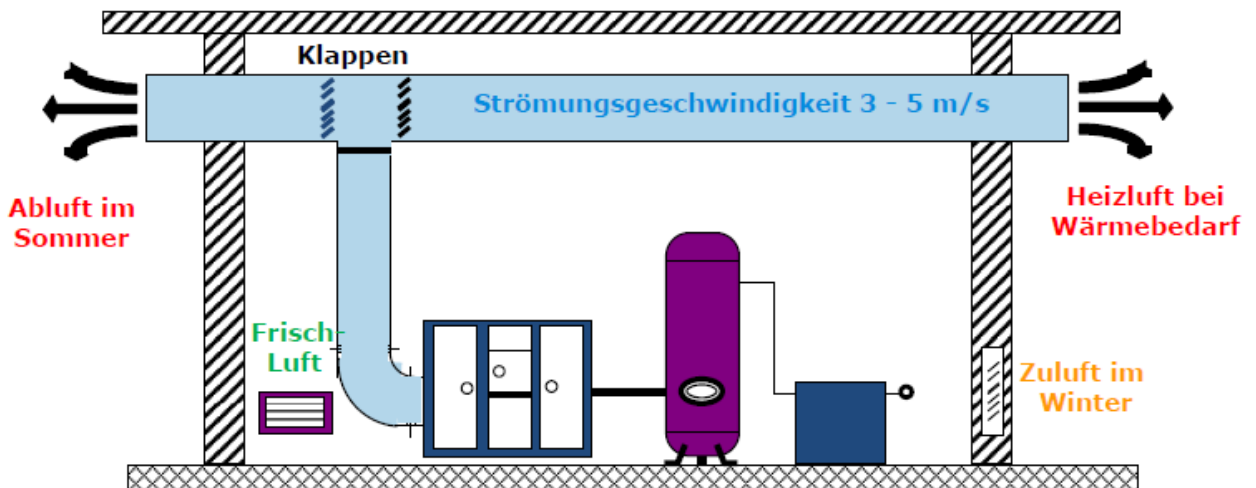


### Wärme für Heizzwecke



Quelle: airko.at

### Raumheizung durch Abluft



Quelle: airko.at

Die erwärmte Kühlluft (=Abluft) wird über einen Luftkanal in den gewünschten Raum geleitet, wobei temperaturgesteuerte Klappen für das Einhalten der gewählten Raumtemperatur sorgen. Die Länge der Kanäle ist von der Restpression des Kompressors abhängig, für den Warmlufttransport über längere Distanzen werden Zusatzventilatoren eingesetzt. In der warmen Jahreszeit wird die erwärmte Kühlluft (=Abluft) ins freie geblasen.

# DRUCKLUFTECHNIK

## ENERGIEEINSPARPOTENTIALIALE durch Wärmerückgewinnung

### 1. Ermittlung durch Basistabelle

Kompressor-Nennleistung kW	Nutzbare Wärme über Rückgewinnungs-Systeme (~70%) kW	Jährliche Öl-Einsparung bei 4.000 Bh/a l/a *	Jährliche Ersparnis bei 1,00 €/l Öl €/a
15	10,5	5.600	5.600
22	15,4	8.213	8.213
30	21,0	11.200	11.200
37	25,9	13.813	13.813
45	31,5	16.800	16.800
55	38,5	20.533	20.533
75	52,5	28.000	28.000
90	63,0	33.600	33.600

\* Heizungs-Gesamtwirkungsgrad von ~75%

Quelle:

VDMA

### 2. Ermittlung durch Kalkulation

Beispiel: Motorleistung 55 kW

Betriebsstunden unter Vollast: 1.600 Bh/Jahr

Nutzbare Wärmemenge: 70%

Nutzbare Wärmemenge pro Jahr (z.B. Heizperiode):

55kW x 1.600 Bh x 70% = **61.600 kWh**

Einsparung pro Jahr:

61.600 kWh / (10 kW/l\* x 0,75\*\*) = 8.200 Liter Heizöl ist

**8.200,- EUR \*\*\***

\* Mittlerer Heizwert von Heizöl

\*\* Heizungs-Gesamtwirkungsgrad von ~75%

\*\*\* bei € 1,00/Liter Heizöl



## DRUCKLUFTECHNIK

### ENERGIEEINSPARPOTENTIALE durch Reduzierung der Leckagen

Die Tabelle zeigt die notwendigen Aufwendungen der Energiekosten für die Kompressoranlage bei Undichtheiten ( Leckagen) im Druckluftleitungsnetz.

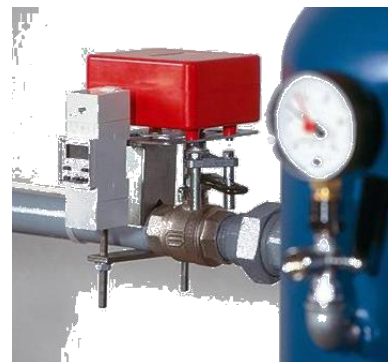
Undichtigkeit Loch - Ø	ausströmende Luftmenge bei 7 bar	Energiekosten
[mm]	[l/min]	[ca. €/a]
1	72	440,--
2	300	1.760,--
3	670	3.860,--
4	1200	6.860,--
6	2670	15.340,--
10	7440	43.140,--

**Durch Leckagen bedingte Energiekosten bei 8.000 Betriebsstunden/Jahr und 0,1 €/kWh**

### Der Energiespar- Tipp

**Die Situation.** Während der Ruhezeit (Nacht, Wochenende) werden Druckluftbehälter, Rohrleitungsanschlüsse und Leitungen aufgrund von Leckagen entleert. Bei Arbeitsbeginn muss dann die Druckluftanlage zunächst einmal den Gehälter aufs neue befüllen, bevor Druckluft eingesetzt werden kann – und das kostet Energie und Geld.

**Die Lösung.** Ein elektrisch gesteuerter Kugelhahntrieb schließt den Druckluftabgang nach dem Druckluftbehälter, sodass keine Druckluft mehr entweichen kann. Die elektronische Schaltuhr steuert diesen Kugelhahntrieb automatisch.



Quelle: airko.at

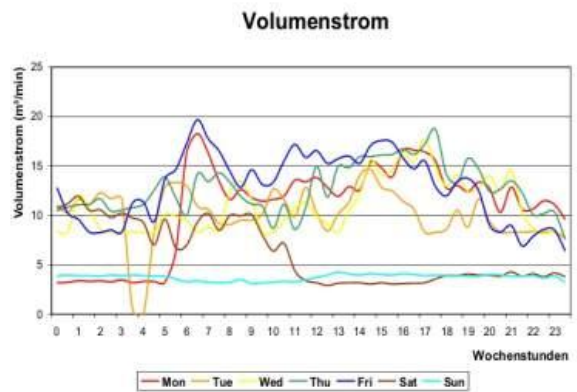
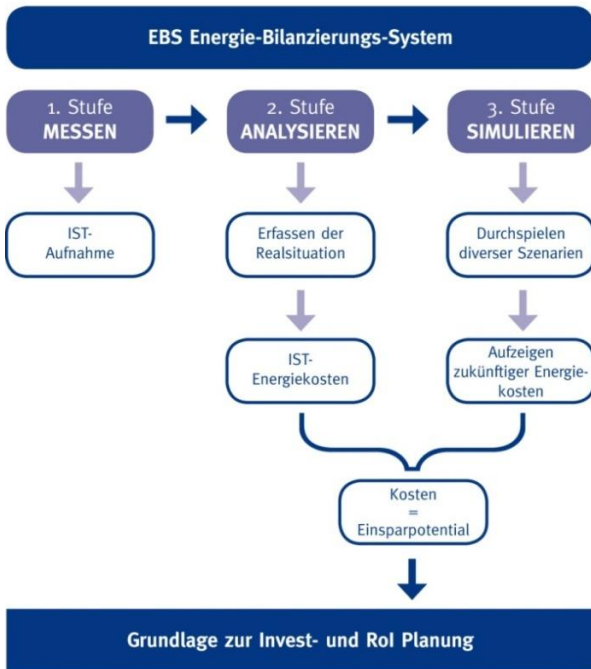
# DRUCKLUFTECHNIK

## ENERGIEEINSPARPOTENTIALE durch EFFIZIENZANALYSE

Die meisten Kompressoren Anbieter analysieren mit einem Energie Bilanzierungssystem Ihre Druckluftanlage objektiv und optimiert Ihre Anlage mit viel Know-how, Erfahrung und Systemkompetenz. Und senkt damit Ihre Druckluftkosten nachhaltig.

Es sollte ein definierter Prozess mit einem oft überraschenden Ausgang sein.

1. Stufe **MESSEN**. Druckluftmessung mit exakter Auswertung pro Druckluftstation.
2. Stufe **ANALYSIEREN**. Erfassen der Realsituation und ist Energiekosten und Analyse durch erfahrene Planungsingenieure.
3. Stufe **SIMULIEREN**. Durchspielen diverser Szenarien und Aufzeigen zukünftiger Energiekosten. Optimierte Druckluftstation.



Quelle: airko.at



Definierter Prozess: 1. Stufe Messen, 2. Stufe Analysieren und 3. Stufe Simulieren