

# White Paper

## Energiekosten in Druckluftsystemen bis zu 60% senken



Um im harten Wettbewerb bestehen zu können, suchen viele Unternehmen nach Einsparpotenzialen in ihrer Produktion. Diese finden sie auch in ihren meist schon seit Jahren bestehenden Druckluftsystemen und -anlagen. Bis zu 60% Energiekosten kann man hier durch eine Optimierung auf Hallen- und Anlagenebene einsparen. Dieses Ziel erreichen die Unternehmen aber nur dann, wenn sie das Druckluftsystem ganzheitlich betrachten.

Alle Bereiche von der Erzeugung über die Aufbereitung und Verteilung bis hin zu den Anwendungen müssen in die Betrachtung und die Auswahl der anschließenden Maßnahmen einbezogen werden. Auch muss man über das notwendige Rüstzeug für eine zuverlässige Analyse und Umsetzung verfügen. Als positiver Nebeneffekt der Maßnahmen verringert sich in vielen Fällen die zukünftige Wartungsintensität. Und weil potenzielle Ausfallquellen beseitigt werden, steigt die allgemeine Prozesssicherheit und Produktivität.

### Dieses White Paper enthält Informationen über:

- Was kostet die Druckluftherzeugung und was kosten Leckagen?
- Wo liegen die Energie-Einsparpotenziale in Druckluftanlagen?
- Wie können diese Energie-Einsparpotenziale gefunden werden?
- Für wen lohnen sich welche Maßnahmen, wer kann sie durchführen?
- Wie schnell amortisieren sich diese Maßnahmen (ROI)?
- Ein Beispiel aus der Praxis

## Wie hoch sind die Kosten der Druckluftherzeugung?

Druckluftkosten werden in der Regel pro Nm<sup>3</sup> angegeben (nach ISO6358 mit 1,0 bar und 20 °C bzw. bei vielen Kompressorenherstellern in m<sup>3</sup> nach ISO 1217:2009, Annex C). Sie lassen sich über die Summe an fixen und variablen Kosten sowie der jährlichen Lieferleistung der Kompressorstation ermitteln:



Abbildung 1: Berechnung der durchschnittlichen Druckluftkosten

Zu den jährlichen (p.a) fixen Kosten zählen:

- Abschreibung der getätigten Investitionen
- Zinsen
- Raumnutzungskosten

Die variablen Kosten setzen sich zusammen aus:

- Energiekosten über die Vollast- und Leerlaufzeiten der Kompressoren
- Hilfsmittelkosten wie Öl, Kühlwasser, etc. p.a.
- Wartungs- und Reparaturkosten

Der größte Teil der Kosten entfällt dabei mit circa 75% auf die Energiekosten<sup>1</sup>. Moderne Kompressorstationen benötigen zur Erzeugung von 1 Nm<sup>3</sup> Druckluft zwischen 100 und 120 Wh/Nm<sup>3</sup> (Druckluftkennzahl [kWh/Nm<sup>3</sup>]).

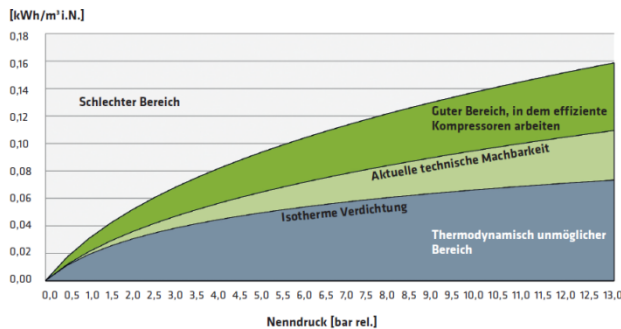


Abbildung 2: Druckluftkennzahlen für Kompressorstationen<sup>2</sup>

Mit einer zentralen Wärmerückgewinnung (WRG) können die Druckluftkosten um bis zu 30% reduziert werden – diese werden mit eingesparten Heizkosten verrechnet. So lassen sich bei einer WRG mit Warmwasser bis zu 72% der eingesetzten Kompressorleistung als Wärme nutzen, bei einer reinen Luftkühlung sind es sogar bis zu 90%.

<sup>1</sup> Projekt EnEffAH „Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik“, (2008-2012); Studie „Compressed air systems in the European Union“ Fraunhofer Institut ISI (2000)

<sup>2</sup> Projekt EnEffAH (2008-2012)

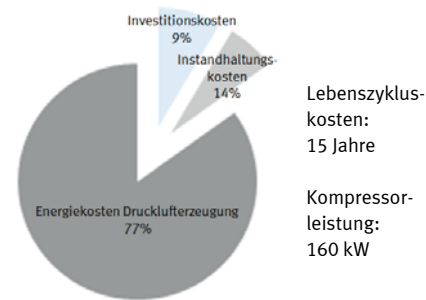


Abbildung 3: Kosten der Druckluftherzeugung<sup>3</sup>

## Berechnung der durchschnittlichen Kosten der Druckluftherzeugung

Die Wertespanne für praxisnahe Druckluftkosten liegt zwischen 1,5 ct/Nm<sup>3</sup> bis 2,7 ct/Nm<sup>3</sup>. Die hohen Schwankungen hängen von vielen Faktoren ab. Die wichtigsten sind:

- Stromkosten pro kWh
- Spezifische Leistung jedes Kompressors, d.h. Art der eingesetzten Kompressoren
- Einsatz einer intelligenten Verbundsteuerung
- Größe des Unternehmens / der Kompressoren
- Atmosphärische Bedingungen der angesaugten Luft (Dichte)

Der durchschnittliche Druckluftpreis für einen Anlagendruck von 6 bar rel. kann mit 1,9 ct/Nm<sup>3</sup> beziffert werden. Er ergibt sich über die Annahmen

- Erzeugungsaufwand bei 120 Wh/Nm<sup>3</sup> (gilt für 8 bar rel. am Kompressor)
- Stromkosten von 12 ct/kWh
- Verhältnis Energie- zu Zusatzkosten 75 % zu 25 %

## Berechnung der individuellen, werksabhängigen Kosten der Druckluftherzeugung

Die individuelle Ermittlung der Druckluftkosten pro Nm<sup>3</sup> ist für eine fundierte Analyse möglicher Einsparpotentiale bei jeder Kompressorstation unerlässlich.

Die Kosten der Druckluft pro Nm<sup>3</sup> kann man für jede Kompressorstation sehr genau durch Messung von Strombedarf und Messung der real erzeugten Liefermenge ermitteln. Häufig werden hierfür die im Datenblatt angegebenen Liefermengen herangezogen. Die real gemessene Liefermenge schwankt jedoch in Abhängigkeit der Ansaugbedingungen und sollte daher synchron zur Leistungsaufnahme gemessen werden.

Ist eine genaue Messung nicht möglich, kann man die Druckluftkosten grob abschätzen. Dazu sind die technischen Daten der Kompressoren notwendig, d.h.

<sup>3</sup> Studie „Compressed air systems in the European Union“, Fraunhofer Institut ISI 2000

- Nennleistung [kW] und Nennliefermenge [Nm<sup>3</sup>/h] beim geforderten Druckniveau [bar rel.]
- durchschnittliche Auslastung der einzelnen Maschinen
- Arbeitszeit im Werk

Kombiniert mit dem lokalen Stromkostenpreis [€/kWh] kann man anhand dieser Werte die Druckluftkosten [€/Nm<sup>3</sup>] und die jährlichen Kosten [€] für die verbrauchte Druckluftmenge [Nm<sup>3</sup>] abschätzen.

Zur Kostenermittlung im produktiven Betrieb sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Aufgewendete Leistung [kW] als Summe aus Volllast- und Leerlaufleistung  
 Volllastleistung = Nennleistung [kW] \* Auslastung [%]  
 Leerlaufleistung = 30% \* Nennleistung [kW] \* (100% - Auslastung [%]),  
 Hinweis: Die reale Leistung liegt in der Regel bis zu 30% höher als die Nennleistung, dies kann bei der Abschätzung berücksichtigt werden.
2. Liefermenge [Nm<sup>3</sup>/h] im produktiven Betrieb  
 Liefermenge = Auslastung [%] \* Nennliefermenge [Nm<sup>3</sup>/h]
3. Druckluftkennzahl [kWh/Nm<sup>3</sup>]  
 Druckluftkennzahl = (Volllastleistung + Leerlaufleistung) [kW] / Liefermenge [Nm<sup>3</sup>/h]
4. Druckluftkosten [€/Nm<sup>3</sup>]  
 Druckluftkosten = (1/75%) \* Druckluftkennzahl [kWh/Nm<sup>3</sup>] \* Stromkosten [€/kWh]  
 Hinweis: Druckluftkosten setzen sich durchschnittlich zu 75% aus Energiekosten und 25% Zusatzkosten zusammen
5. Jährliche Verbrauchskosten [€/a]  
 Kosten = Produktive Arbeitsstunden [h/a] \* Liefermenge [Nm<sup>3</sup>/h] \* Druckluftkennzahl [kWh/Nm<sup>3</sup>] \* Stromkosten [€/kWh]

Für eine Gesamterfassung des Verbrauchs sind mögliche anfallende Leckagekosten im nichtproduktiven Betrieb nach dem gleichen Vorgehen hinzurechnen.

## Wie entstehen Leckagen und welche Zusatzkosten verursachen sie?

### Wie entstehen Leckagen?

Analog zum Standby-Verbrauch von elektrischen Antriebssystemen sind Leckagen in Druckluftsystemen technisch (noch) nicht vermeidbar. Aber mit der heutigen Technik lässt sich ein wirtschaftlich akzeptables Niveau der Leckagemenge sicher stellen – durch fachgerechtes Handhaben des Mediums Druckluft und durch ein kontinuierliches Leckagemonitoring.

Die Gründe für vermeidbare Leckagen sind vielseitig:

- **Montage- und systematische Fehler** wie unzureichendes oder zu starkes Anziehen von Schrauben und Dichtungen sowie mechanische Beschädigungen, z.B. durch Scheuern von Schläuchen.

- Generell **unsachgemäßer Umgang** mit Druckluftkomponenten, z.B. durch falsches Abschneiden von Schläuchen
- Leckagen als Folge von **Verschleiß** der Druckluftkomponenten
- Chemische Beanspruchung durch entsprechende **Umgebungsbedingungen** der Komponenten bei Wahl des falschen Materials

### Was kosten Leckagen?

Selbst kleine Leckagen können interessante Einsparpotentiale bieten. Die nachfolgenden Tabellen zeigen wie viel Luft bei Leckagen mit einem definierten Lochdurchmesser verloren geht und welche Zusatzkosten dabei entstehen:

p1 (rel.)	Leckagerate in Nm <sup>3</sup> /min					
	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm
3 bar	9	36	81	145	226	325
4 bar	11	45	102	181	282	407
5 bar	14	54	122	217	339	488
6 bar	16	63	142	253	395	569
7 bar	18	72	163	289	452	651
8 bar	20	81	183	325	508	732

p1 (rel.)	Kosten/Jahr					
	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm
3 bar	90 €	361 €	812 €	1.444 €	2.256 €	3.248 €
4 bar	113 €	451 €	1.015 €	1.805 €	2.820 €	4.061 €
5 bar	135 €	541 €	1.218 €	2.166 €	3.384 €	4.873 €
6 bar	158 €	632 €	1.421 €	2.527 €	3.948 €	5.685 €
7 bar	180 €	722 €	1.624 €	2.888 €	4.512 €	6.497 €
8 bar	203 €	812 €	1.827 €	3.248 €	5.076 €	7.309 €

Tabelle 1/2: Leckagekosten innerhalb eines Jahres bei Betrieb 24 h/ 365 Tage, berechnet mit Druckluftkosten von 1,9 ct/Nm<sup>3</sup>.

Ab wann eine Leckage als Verlust zu bezeichnen ist, hängt vom Verhältnis zum Gesamtverbrauch ab. Große Leckagen mit einem deutlich hörbaren Luftaustritt sind kostenintensiv und müssen sofort behoben werden. Mittlere und kleine Leckagen (Leckagen mit einem Lochdurchmesser kleiner 0,5mm) sind mit einem professionellen Leckagesuchgerät einfach zu detektieren und sollten zügig behoben werden.

Als Faustregel gilt:

20% der detektierbaren Leckagen machen bei bestehenden Anlagen bis zu 80% der vermeidbaren Kosten aus.

Es lohnt sich, Leckagen schnell zu beheben, denn jede behobene Leckage spart sofort Energie und damit Kosten.

## Wo liegen die Energie-Einsparpotenziale in Druckluftanlagen?

Leckagedetektion ist ein wesentliches Element zum Auffinden von Energie-Einsparpotenzialen. Bei einer ganzheitlichen Analyse muss man aber alle 4 Bereiche eines Druckluftsystems betrachten:

- Druckluftherzeugung
- Druckluftaufbereitung
- Druckluftverteilung
- Druckluftanwendung

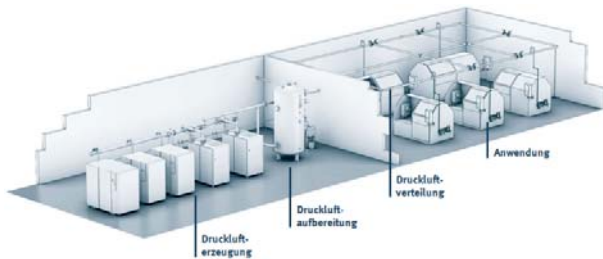


Abbildung 4: Einsparungen sind im gesamten Druckluftsystem möglich

Abhängig von der Anwendbarkeit der Energiesparmaßnahme, der Kostenwirksamkeit und der generierten Einsparungen ergeben sich in den einzelnen Bereichen des Systems unterschiedlich hohe durchschnittliche Einsparpotenziale:

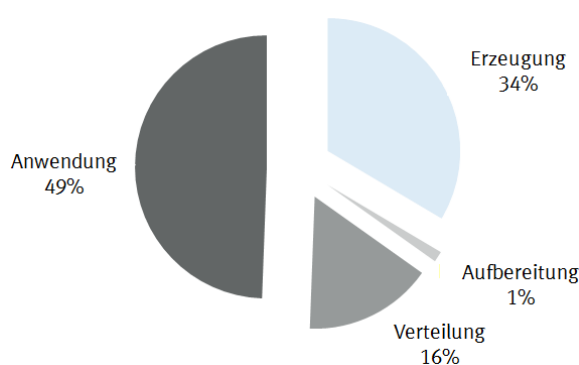


Abbildung 5: Kostenwirksamkeit der Maßnahmen in den einzelnen Bereichen des Druckluftsystems

Die nachfolgend vorgestellten Maßnahmen beziehen sich auf eine bestehende Druckluftanlage, die in den letzten 5 Jahren nicht modernisiert worden ist.

## Wie können mögliche Energie-Einsparpotenziale gefunden werden?

Für die Realisierung von möglichen Einsparpotenzialen in Druckluftanlagen gibt es verschiedene Maßnahmen, die je nach Bereich im Druckluftsystem anders ausfallen.

Als erstes empfiehlt es sich, ein **Druckluftaudit**, d.h. eine genaue Analyse des bestehenden Systems, mit Fokus Energieeffizienz (effektive und effiziente Nutzung von Energie) durchzuführen. Für das Erarbeiten von wirtschaftlich durchdachten Handlungsempfehlungen, die eine bestmögliche Ausschöpfung von möglichen Einsparpotentialen zum Ziel haben, werden bei einem guten Audit vier einzelne Felder berücksichtigt: das Gesamtsystem, die Druckluftherzeugung, die Druckluftaufbereitung sowie die Druckluftanwendung.

Wichtig ist: ein Audit sollte auf das jeweilige Druckluftsystem angepasst werden, da jede Anlage individuell ist und sich die Zielvorstellungen der einzelnen Unternehmen unterscheiden. Im Folgenden wird beschrieben, was man beim Audit berücksichtigen sollte und wie ein gutes Audit aufgebaut ist.

### 1. Einsparmaßnahmen im Bereich der Druckluftherzeugung: mittels Energieanalyse

Um eine zuverlässige Aussage über die Druckluftkosten des Werks bzw. des Unternehmens und die konkreten Einsparpotenziale in diesem Bereich treffen zu können, ist eine genaue Energieanalyse der Kompressorstation notwendig.

#### Folgende Ziele werden mit einer Energieanalyse erreicht:

- Erstellung von Verbrauchsprofilen der Kompressorstation/en: Profile dokumentieren den Druckluftbedarf inklusive Verbrauchsschwankungen zu verschiedenen Betriebszeiten
- Erwerb von Kenntnissen über das Gesamtsystem mit seinen Leistungsreserven und Identifikation von Einsparmöglichkeiten
- Berechnung der individuellen, werksabhängigen Druckluftkosten

<sup>4</sup> Studie "Compressed air systems in the European Union", ISI 2000

## Umsetzung

Für die Verbrauchsprofile werden über einen längeren Zeitraum (mindestens 7 Tage) verschiedene Parameter der Druckluftherzeugung teilweise synchron aufgezeichnet, insbesondere

- Stromverbrauch der einzelnen Kompressoren
- Reale Liefermenge / Druckluftverbrauch
- Luftdruck im zentralen Druckluftspeicher und im Druckluftnetz kurz vor Anwendung.

Wichtig hierbei ist, dass dies auch während der Stillstandszeiten und am Wochenende geschieht.

Für die Ermittlung der Verbrauchsprofile wird ein spezielles Messgerät benötigt. In der Regel kann die Installation im laufenden Betrieb stattfinden, so dass es nicht mehr notwendig ist, die Druckluftversorgung zur Installation der Messsonden zu unterbrechen.

Mit Hilfe der Messwerte kann jetzt eine erste qualitative Auswertung und Interpretation der ermittelten Daten zur Qualifizierung der Leckagen und Erstellung einer Kostenanalyse durchgeführt werden. Dazu werden u.a. die Auslastung der Kompressoren (Last-/Leerlaufzyklen pro Stunden) sowie das gesamte Leckagevolumen während der Stillstandszeiten berechnet.



Abbildung 6: Energieanalyse der Druckluftherzeugung

Häufig auftretende Verbesserungsmaßnahmen sind

- Minderung der Druckabfälle und somit Reduzierung des Kompressor-drucks  
Hinweis: Eine Druckreduzierung von 7 bar rel auf 6 bar rel am Kompressor führt zu einer durchschnittlichen Einsparung von 6% Leistungsaufnahme.
- Einsatz einer übergeordneten Verbundsteuerung zur Minimierung von Leerlaufverlusten sowie Einsatz von Spitzenlastkompressoren bei stark schwankenden Druckluftverbrauchsprofilen
- Behebung von Leckagen auf Hallenebene
- Abschalten der Druckluftversorgung
- Wärmerückgewinnung

## 2. Einsparmaßnahmen im Bereich der Druckluft-Aufbereitung: mittels Druckluft-Qualitätsanalyse

Um Prozesssicherheit gewährleisten zu können, ist es wichtig, Druckluftanwendungen mit einer optimalen Druckluftqualität zu versorgen. Durch eine Druckluft-Aufbereitung werden Partikel (Öl, Wasser und Schmutz) entfernt, die in der Umgebungsluft vorliegen und beim Verdichtungsprozess auf engstem Raum verdichtet werden. Die Druckluftqualität ist in der DIN ISO 8573-1 (2010) definiert.

### Druckluftqualität gem. DIN ISO 8573-1

Klasse	Staub/Partikel		Wasser		Öl
	µm	mg/m <sup>3</sup>	DTP [°C]	g/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
1	0,01	0,1	-70	0,003	0,01
2	1	1	-40	0,12	0,1
3	5	5	-20	0,88	1
4	15	8	3	6	5
5	40	10	7	7,8	25
6	-	-	10	9,4	-
7	-	-	nicht spezifiziert		-

Abbildung 7: Übersicht Staub-, Wasser- und Ölgehalt in Druckluft nach DIN ISO 8573-1 (2010)

In Produktionsbereichen, die keine hohen Standards einhalten müssen, wird ein Mindestmaß an Druckluftqualität für die Komponenten der Druckluftanwendungen vorausgesetzt. So fordern namhafte Hersteller von Pneumatik-Produkten wie z. B. Zylindern für die meisten ihrer Produkte eine mittlere Druckluftqualität von 7.4.4 (Schmutzpartikel max. 40 µm, Drucktaupunkt bei +3 °C und Restölgehalt bei 5 mg/m<sup>3</sup>). Die gleiche Luftqualität reicht in der Regel auch für den Betrieb von Schwenk- und Linearantrieben von Prozessventilen aus. Größere Partikel waschen z.B. die Lebensdauerschmierung aus oder verursachen erhöhten Verschleiß und Beschädigungen an Dichtungen. Die Energie- und Betriebskosten steigen z.B. durch Beschädigungen der Dichtungen, Rostentwicklung oder verstopfte Leitungsquerschnitte. Unerwarteter Maschinenstillstand ist häufig die Folge.

Zum Betrieb von Stellungs- und Prozessreglern sowie Ventilsteuerköpfen auf Prozessventilen gelten in der Regel höhere Anforderungen an die Druckluft. Je nach Reglerart werden Druckluftqualitäten bis zu 3:4:3 gefordert (Partikelgröße max. 5µm, Öl max. 1mg/m<sup>3</sup>). Sind die Geräte in Outdoor-Applikationen bzw. in ungeheizten Lager- und Produktionsbereichen im Einsatz muss die Luft, je nach Klimabedingungen, weiter getrocknet werden. Üblich sind ein Drucktaupunkt von -20°C (Klasse 3) oder -40°C (Klasse 2). Daraus resultiert eine Druckluftklasse von 3:3:3 oder 3:2:3.



Abbildung 8: Messung der Druckluftqualität

### Druckluft in Kontakt mit empfindlichen Produkten

Die Anforderungen an die Druckluft steigen weiter, wenn die Druckluft direkt mit Rohstoffen, Endprodukten und Packmitteln in Berührung kommt. Dies gilt vor allem in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, der Pharmaindustrie sowie Teilen der feinchemischen Industrie. Im Bereich trockene Nahrungs- und Arzneimittel geht dies bis zu den Klassen 2:2:2 oder sogar 1:2:1. Alternativ dazu wird in vielen Prozessen Sterilluft, d.h. Luft frei von Mikroorganismen gefordert. Das gilt in der Speiseeisherstellung genauso wie in der pharmazeutischen Produktion. In der biotechnologischen Produktion (Fermentation) wird Sterilluft z. B. für den Materialtransfer zwischen 2 Behältern genutzt. Beim Abfüllen von cremigen Produkten wie Yoghurt wird der Vorlagebehälter der Abfüllmaschine mit einem konstanten Druck beaufschlagt, um eine gleichmäßige und reproduzierbare Abfüllung zu gewährleisten. Um die Sterilfilter nicht übermäßig zu belasten, sollte die Druckluft in mehreren Schritten mindestens bis auf die Druckluftklasse 3:4:1 aufbereitet werden, bevor in letzter Stufe ein Sterilfilter die Mikroorganismen und weitere Partikel entfernt. Werden zur Aufbereitung von Sterilluft Katalysatoren eingesetzt, so kann der Eingangölgehalt höher sein, weil die Katalysatoren alle Kohlenstoffverbindungen, egal ob lebende oder tote Materie, zerlegen.

### Zentrale oder dezentrale Luftaufbereitung

Wird in der Produktion viel Sterilluft benötigt, so ist zu ermitteln, wie hoch der Anteil der Sterilluft am Gesamtluftverbrauch ist. In einigen pharmazeutischen Betrieben werden der Einfachheit halber und aus Gründen der Riskovermeidung teilweise ganze Betriebsteile mit Sterilluft versorgt, auch Antriebe von Prozessventilen und andere pneumatische Verbraucher. Das reduziert die Installationskosten, die für 2 getrennte Druckluftnetze anfallen würden, treibt aber die Betriebskosten in die Höhe. Leckagen schlagen hier entsprechen mit höheren Kosten pro m<sup>3</sup> Sterilluft zu Buche.

### Folgende Ziele werden mit einer Qualitätsanalyse erreicht:

- Überprüfung der Druckluftqualität und Anpassung an die geforderten Bedingungen bzw. Qualitätsklassen bei Bedarf
- Vermeidung von Maschinenausfällen
- Senkung der Wartungskosten
- Erhöhung der Lebensdauer der Druckluftkomponenten

### Umsetzung

- Messung Wasser- und Restölgehalt nach der zentralen und dezentralen Druckluftaufbereitung
- Ermittlung des Drucktaupunkts und Wassergehalts, unter Berücksichtigung des absoluten Luftdrucks
- Visuelle Inspektion der dezentralen Luftaufbereitung am Entnahmepunkt
- Dokumentation und Auswertung der Ergebnisse
- Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen zur Anpassung der Druckluftqualität, z.B. durch Filter oder dezentrale Absorptionstrockner.

Zur Durchführung einer Druckluft-Qualitätsanalyse werden spezielle Messgeräte benötigt.



Abbildung 9: Festo AirBox, Messgerät zur einfachen Messung des Druckluftverbrauchs und der Druckluftqualität

### 3. Einsparmaßnahme im Gesamtsystem auf Hallen- und Anlagenebene: mittels Leckageortung und -beseitigung

Die systematische Identifikation von Leckagen im gesamten Druckluftsystem und ihre Beseitigung tragen entscheidend zur Senkung der Druckluftkosten bei. Es empfiehlt sich vor allem bei bestehenden älteren Anlagen, die Leckageortung und -beseitigung in jedem Fall durchzuführen. Die Erfahrung sowie verschiedene Studien zeigen, dass gerade bei älteren Anlagen die größten Einsparpotenziale liegen – die auch am einfachsten zu finden sind. Über Sensorik (Druck/Durchfluss), die in Wartungsgeräte integriert ist, kann zusätzlich ein automatisches Leckagemanagement-System mit Fernwartung installiert werden.

#### **Folgende Ziele werden mit einer Leckageortung erreicht:**

- Identifikation von Leckagen im gesamten Druckluftsystem mit anschließender Beseitigung.

#### **Umsetzung**

- Systematische Überprüfung des gesamten Druckluftsystems auf Hallen- und Anlagenebene
- Klassifizierung der gefundenen Leckagen nach Leckagevolumen und Markierung
- Dokumentation der Leckagen mit allen relevanten Daten für die Leckagebeseitigung, z.B. benötigte Ersatzteile, geschätzte Reparaturzeit etc.
- Ableitung eines werkspezifischen Maßnahmenplans zur Leckagebeseitigung
- Leckagebeseitigung

Die Leckageortung erfolgt mit Ultraschalldetektoren und kann in der Regel im laufenden Betrieb durchgeführt werden. Diese spezielle Ausrüstung ist notwendig, um auch kleine Leckagen im laufenden Betrieb hörbar zu machen.

In den meisten Unternehmen wird die Leckageortung von einem externen Dienstleister durchgeführt. Durch die detaillierte Datensammlung der professionellen Serviceanbieter bereits während der Leckageortung kann man diese im Anschluss schnell und systematisch beseitigen.



Abbildung 10: Ortung von Leckagen in der Druckluftverteilung

Im Idealfall stehen die ermittelten Daten allen Beteiligten wie Instandhalter, Betriebs- und Werksleiter zentral über eine Datenbank zur Verfügung. Darin sind alle Maßnahmen dokumentiert. Diese kann man für Auswertungen und periodische Vergleiche nutzen.

#### **4. Einsparmaßnahmen bei der Druckluftanwendung: mittels Druckluft-Verbrauchsanalyse und Maschinen-Energieeffizienz-Analyse**

##### **Druckluft-Verbrauchsanalyse**

Nur wer den Druckluftverbrauch seiner Werkshalle kennt – und somit jeder einzelnen Maschine – kennt, kann die Druckluftversorgung und -verteilung auf Anlagenebene optimal auslegen und dimensionieren.

Eine optimale Dimensionierung der Rohr- und Schlauchleitungen in der Anlage sowie Komponenten zur dezentralen Druckluftaufbereitung helfen

- einen Druckabfall durch Unterdeckung und eine damit einhergehende Verringerung der Produktivität zu vermeiden
- unnötigen Energieverbrauch durch Überdeckung zu beenden.

Letzterer entsteht durch einen zu hohen Regeldruck in der dezentralen Wartungseinheit, wenn z.B. zu hohe Strömungswiderstände in der Anlage vorliegen oder zu viele Filterstufen im Einsatz sind, die eine nicht geforderte Druckluftqualität erzeugen.

Ein weiterer Vorteil: Wenn man die Einzelverbräuche der Anlagen kennt, sind größere Abweichungen vom Standardverbrauch frühe Warnzeichen, z.B. für einen bestehenden oder kommenden Defekt.



Abbildung 11: Messung des Druckluftverbrauchs

#### **Folgende Ziele werden mit einer Verbrauchsanalyse erreicht:**

- Ermittlung des tatsächlichen Druckluftverbrauchs einzelner Maschinen als Grundlage für die optimale Auslegung der Druckluftversorgung der Maschine
- Ermittlung des Leckageverlustes einzelner Maschinen
- Ermittlung verschiedener Kenngrößen, um Vergleichbarkeit über einen längeren Zeitraum zu schaffen und die Basis für ein Anlagenmonitoring zu legen.

## Umsetzung

- Messung des exakten Druckluftverbrauchs an einzelnen Maschinen und Anwendungen im Stillstand und im laufenden Betrieb
- Analyse verschiedener Kenngrößen:
  - Verbrauch pro Maschinenzyklus
  - Durchschnittsverbrauch pro Minute
  - Durchschnittsdruck
  - Druck max./min.
  - Luftvolumenstrom max./min.
- Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse

Auch hier misst man mit speziellen Messgeräten. Für die anschließende Auswertung müssen die Messdaten gespeichert werden.

## Maschinen-Energieeffizienz-Analyse

Für eine präzise Auswertung und Ableitung von Energieeffizienz-Maßnahmen müssen neben den Daten der Druckluft-Verbrauchsanalyse folgende Informationen erfasst werden:

- Eingesetzte Druckluftkomponenten (insbesondere Blasdüsen, Sperrluft) und pneumatische Antriebe
- Dimensionierung von Komponenten und Verbindungselementen
- Technische Anforderungen an die Applikation (Kraft, Geschwindigkeit etc.)

Um wirtschaftlich sinnvolle und technisch umsetzbare Optimierungsmaßnahmen zu identifizieren, ist eine systematische Überprüfung der Anlagen auf ihre Energieeffizienz, d.h. den bedarfsgerechten Einsatz von Druckluft pro Applikation, anhand der oben genannten Parameter erforderlich.









## Folgende Ziele werden mit einer Maschinen-Energieeffizienz-Analyse erreicht:

- Analyse der Druckluftanwendungen auf ihr mögliches energetisches Optimierungspotenzial
- Identifikation sinnvoller und technisch umsetzbarer Optimierungen

## Umsetzung

- Identifikation und Analyse der energetisch relevanten Druckluftanwendungen

Hilfreich sind hier die folgenden 12 Energieeffizienzmaßnahmen, die sich für alle Druckluftanlagen, aber auch für Anlagen mit elektrischen Antrieben umsetzen lassen bzw. zumindest überprüft werden sollten:

	<b>Energie abschalten</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anlagen in Produktionspausen abschalten</li></ul>
	<b>Gewicht reduzieren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Optimaler Technologiemark aus elektrischen und pneumatischen Antrieben (z.B. pneumatische Z-Achsen, Greifer etc.)</li></ul>
	<b>Schlauchlängen kürzen (nicht Durchmesser!!)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einsatz dezentraler Ventilinseln</li><li>• Optimale Schlauchführung</li></ul>
	<b>Druckniveau reduzieren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anlagendruck bei Überdimensionierung senken</li><li>• Druckreduzierter Rückhub</li></ul>
	<b>Druckverluste reduzieren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Optimale Leitungsdurchmesser, weniger Leitungswiderstände</li><li>• Netzdruckabsenkung</li></ul>
	<b>Leckagen reduzieren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Regelmäßige Leckageortung, Condition Monitoring</li><li>• Auf die Umgebungsbedingungen angepasste Komponenten verwenden</li><li>• Druckluftkomponenten fachgerecht montieren</li></ul>
	<b>Reibung reduzieren</b> (Maßnahme gilt in der Regel nur für elektrische Antriebe.)
	<b>Richtige Komponenten wählen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einfach statt doppelt wirkenden Antrieb einsetzen</li><li>• Blasendüsen mit angepasster Düsengeometrie</li></ul>
	<b>Effizient regeln und steuern</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fahrprofile anpassen, Regler optimieren</li><li>• Luft bedarfsgerecht zuführen</li></ul>
	<b>Energie rückgewinnen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Zentrale Wärmerückgewinnung</li><li>• Kaskadierte Druckniveaus verwenden</li></ul>
	<b>Richtig dimensionieren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Optimale Baugröße</li><li>• Bei pneumatischen Antrieben eine Baugröße kleiner</li><li>• Verwendung von Software-Engineeringtools</li></ul>
	<b>Luftsparschaltung einsetzen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Vakuumsaugdüse mit überwachter Abschaltung</li><li>• Blasluftdüsen getaktet einsetzen, nicht dauerhaft blasen</li></ul>



## Für wen lohnen sich welche Energieeffizienz-Maßnahmen?

Eine generelle Aussage ist nicht möglich. Die Maßnahmen müssen individuell für das jeweilige Werk bzw. Unternehmen definiert werden.

Welche Maßnahmen sinnvoll sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B. dem Zustand des Druckluftsystems, der Auslastung etc. Im Bereich der Maschinen-Energieeffizienz-Analyse sind diese direkt von der Applikation abhängig. Darüber hinaus sind die einzelnen Maßnahmen immer ins Verhältnis zum Gesamtverbrauch zu setzen, um die Wirtschaftlichkeit einer Optimierungsmaßnahme zu bestimmen.

Ein guter Anbieter erfragt zuerst Bedürfnisse und Ziele des Kunden und legt dann mit seinem Kunden zusammen die Top 3-Maßnahmen im Vorfeld fest.

## Wie schnell amortisieren sich die Einsparmaßnahmen?

Erfahrungsgemäß liegen die Amortisationszeiten meist zwischen einem und zwei Jahren. Bei den meisten Energieeffizienz-Projekten wird der Return on Invest (ROI) in diesem Zeitraum erreicht. Der entscheidende Faktor für einen schnellen ROI ist eine zeitnahe Umsetzung der identifizierten Maßnahmen.

## Wie können die Einsparungen langfristig gesichert werden?

Nach der Optimierung und Modernisierung eines Druckluftsystems ist es wichtig, den energieeffizienten Zustand und somit die Kosteneffizienz dauerhaft sicher zu stellen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen.

Zum einen durch Abschluss von Service- und Wartungsverträgen, z.B. regelmäßige Leckageortung, Druckluftqualitätsanalyse, Instandhaltung einzelner Maschinen. Hier unterscheidet man im Allgemeinen

- die vorbeugende Instandhaltung (Festziehen von Fittings, Schmieren)
- die Inspektion (Prüfen von Schäden) und
- die korrektive Instandhaltung (Austausch von Komponenten).

Zum anderen bietet es sich an, durch geeignete Schulungen, einen Know-how-Transfer vom Serviceanbieter in das jeweilige Unternehmen vorzunehmen. Damit baut man im eigenen Unternehmen Wissen auf und sichert dieses.

## Wer kann die Einsparmaßnahmen durchführen?

Um die ermittelten Einsparpotenziale schnell ausschöpfen zu können, empfiehlt es sich, die identifizierten Maßnahmen zeitnah umzusetzen. Denn jeder Tag spart hier bares Geld.

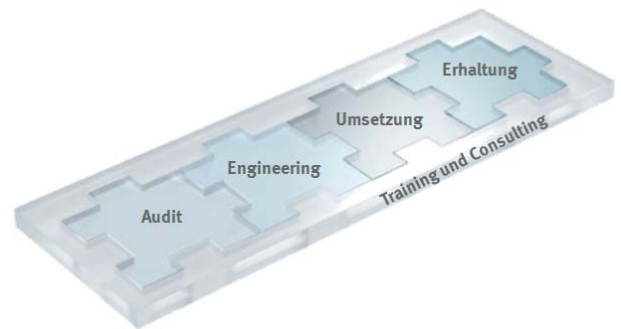


Abbildung 12: Ganzheitliches Leistungspaket zur Energieeinsparung in Druckluftsystemen

Oft fehlt es jedoch an Ressourcen, um sämtliche Maßnahmen selbst im Unternehmen durchführen zu können. Dem Personal fehlt häufig die Zeit dazu, oder notwendige Messgeräte und das entsprechende Know-how sind nicht vorhanden. Die Messergebnisse müssen korrekt interpretiert werden, Ersatzteile beschafft, Ersatz für nicht mehr erhältliche Produkte ermittelt werden. Kurz gesagt, man muss sehr viele Aspekte im Blick behalten, um annähernd das Optimum der Energieeinsparung zu erreichen.



Abbildung 13: Druckluft-Energieeffizienz Audit nach ISO/DIS 11011, bescheinigt durch TÜV SÜD

Hier kann ein Partner helfen, der sich mit Druckluftsystemen und den neuesten Technologien auskennt und über das entsprechende Know-how verfügt. Idealerweise deckt dessen Angebot alle Leistungen ab – vom Audit über das Engineering bis hin zur Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen und dem Training der Mitarbeiter. Das Leistungspaket sollte zertifiziert sein, z.B. gemäß ISO/DIS 11011. Dies stellt sicher, dass geeignete und qualifizierte Maßnahmen zur Energieeinsparung durchgeführt werden.

### Zusammenfassung

Eine ganzheitliche energetische Optimierung des Druckluftsystems bringt dem Betreiber von Druckluftanlagen verschiedene Vorteile:

- Senkung der Energiekosten und infolgedessen der Betriebskosten
- Senkung der Kosten für Wartung und Instandhaltung
- Steigerung der Prozesssicherheit
- Verringerung ungeplanter Maschinenstillstände und deren Folgekosten

Welche Maßnahmen sinnvoll sind, hängt von den jeweiligen Gegebenheiten und Zielen des Betreibers ab. Zahlreiche Studien und Forschungsprojekte (Green Carbody Technologies 2013, EnEffAH 2012, Compressed Air Systems in the European Union, 2000) zeigen jedoch, dass insbesondere Leckageortung und -beseitigung mit geringem Aufwand entscheidend zur Senkung der Druckluftkosten beitragen. Druckluftsysteme sind effizient, wenn sie – wie jede andere Technologie – fachgerecht eingesetzt und gewartet werden.

### Ein Beispiel aus der Praxis

#### Kunde

Weltweiter Hersteller von Nahrungsmitteln

#### Maßnahmen

Leckageortung und -beseitigung auf Werksebene

#### Ausgangslage

Werk:	ca. 50.000 m <sup>2</sup>
Installierte Kompressorleistung:	410 kW
Druckluftbedarf:	40 m <sup>3</sup> /min
Produktionsstunden:	8.000 Stunden/Jahr
Kompressorleistung:	6 bar rel
Druckluftverbrauch:	16.475.000 m <sup>3</sup> /Jahr
Durchschnittspreis für Druckluft:	1,8 ct/m <sup>3</sup>
Druckluftkosten:	295.000 Euro/Jahr

#### Ergebnis des Druckluftaudits

Identifizierte Leckagen:	296
Gesamtverlust Druckluft:	1,63 Mio. m <sup>3</sup> /Jahr
Leckageverlust:	29.265 Euro/Jahr
Reduktion des jährlichen CO <sub>2</sub> -Ausstoßes:	ca. 160 t
Gesamtprojektkosten (inklusive Ersatzteile):	31.000 Euro

<b>Senkung Druckluftkosten</b>	<b>10 %</b>
<b>Einsparung in Euro</b>	<b>29.265/Jahr</b>
<b>Amortisationszeit</b>	<b>13 Monate</b>

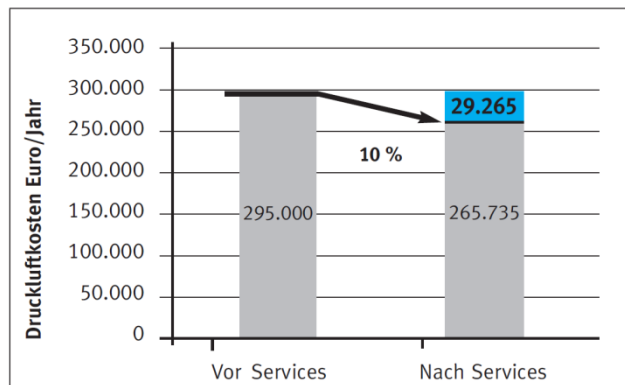


Abbildung 14: Durch die Leckagebeseitigung konnten 10% Druckluft eingespart werden.

## Quellen

- ISO/DIS 11011
- Projekt EnEffAH „Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik“, (2008-2012)
- Studie „Compressed air systems in the European Union“, ISI 2000
- Forschungsprojekt „Green Carbody Technologies“, 2013
- Festo: Broschüre „Energy Saving Services“
- Festo: Internetseite zu Energy Saving Services  
-> [Link](#)
- Festo: Film „Energy Saving Services“  
[http://www.festo.com/fess\\_film](http://www.festo.com/fess_film)
- Festo: Internetseite „Energieeffizienz@Festo“  
<http://www.festo.de/energieeffizienz>

## Autoren

Jürgen Billep  
Service Management  
Festo AG & Co. KG, Deutschland

Heiko Fleischhacker  
Service Management  
Festo AG & Co. KG, Deutschland

### **Ihr lokaler Ansprechpartner:**

Ihren lokalen Ansprechpartner finden Sie auf der Festo Webseite der Vertriebsgesellschaft Ihres Landes.