

Auditleitfaden zur Optimierung von Druckluftsystemen

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: klimaaktiv/ DI Mag. Konstantin Kulterer

Ing. Johannes Huber, KAESER KOMPRESSOREN GESELLSCHAFT M.B.H.

Harald Ruthner, Hans Oetiker Maschinen- und Apparatebau Gesellschaft m.b.H.

Ing. Clement Pucher, SMC Pneumatik GmbH (Austria)

Review: Ing. Christian Steinbrugger, Druckluftoptimierung e.U.,

Christian Gerl, chriger solutions e.U., Univ. Prof. Dr. Peter Radgen, Universität Stuttgart,

Merlijn van Essen, Silvent Central Europe

Inhalt: 2017, Layout: Dezember 2020

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an eebetriebe@energyagency.at

Inhalt

1 Verwendung dieses Leitfadens und Ablauf nach EN 16247-1	5
1.1 Ablauf eines Energieaudits nach EN 16247-1.....	6
1.2 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit.....	8
1.2.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung	9
1.2.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen	9
1.2.3 Bewertung der bereitgestellten Information	9
1.2.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten	9
1.2.5 Ableitung von Leistungskennzahlen	9
1.2.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren.....	10
1.2.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente.....	10
2 Datenerhebung	11
2.1 Kompressor ohne Drehzahlregelung.....	11
2.2 Drehzahlregelung.....	12
2.3 Kontrolle des Energieverbrauchs pro produzierter Druckluft.....	13
2.4 Ermittlung von Einflussfaktoren und Leistungskennzahlen	13
2.5 Exkurs: Definition von Volumenströmen.....	14
3 Reduktion von Leckagen	16
3.1 Errechnen des Leckagenanteils	16
3.1.1 Abschätzung der gesamten Leckagenmenge über Stundenaufzeichnungen oder interne Leitsysteme.....	16
3.1.2 Leckagemessung über Laufzeit der Kompressoren bei Betriebsstillstand	17
3.2 Kostenbewertung	18
3.3 Leckagensuche	18
3.4 Leckagenbehebung.....	19
3.5 Leckagensuchprogramm und –management.....	19
4 Optimierung des Netzdrucks.....	20
4.1 Kostenbewertung	20
4.2 Errechnung des Differenzdrucks.....	20
4.3 Vermeidung Druckabfall	21
5 Verbessern der Steuerung	24
5.1 Kostenbewertung	24
5.2 Einzelkompressoranlage.....	24
5.3 Mehrkompressoren-Anlage.....	25
6 Senken des Leerlaufanteils	26

6.1	Kostenbewertung	26
6.2	Maßnahmen zur Reduktion der Leerlaufzeit.....	27
6.2.1	Nachlaufzeit des Motors verringern.....	27
6.2.2	Überprüfen des Einsatzes eines kleineren Kompressors.....	27
6.2.3	Einbau einer Steuerung	27
7	Wärmerückgewinnung	28
7.1	Wärmerückgewinnung	28
7.2	Raumheizung durch Abluft	29
7.3	Warmwasser für Heizzwecke.....	29
7.4	Wärme für Brauchwasser	30
8	Abschalten der Anlage und Verbraucher	32
8.1	Maßnahme: Abschalten von Anlagen und Verbrauchern.....	32
8.1.1	Abtrennung des gesamten Leitungsnetzes oder von nicht benutzten Leitungssträngen.....	32
8.1.2	Manuelles Abschalten.....	32
8.1.3	Vollautomatisches Ein-/Ausschalten der Anlage.....	33
8.1.4	Abschalten von Produktionsmaschinen	33
9	Druckluftverbraucher	34
9.1	Wartung	34
9.2	Verbrauchte Filterpatronen.....	35
9.3	Blasanwendungen mittels Düsen oder Blaspistolen	35
9.4	Vakuum-Ejektoren	36
9.5	Weitere Maßnahmen für pneumatische Systeme	37
9.6	Druckluftrecycling.....	37
10	Zusammenfassung, Checkliste	38
11	Angebote und Tools	40
	Tabellenverzeichnis.....	42
	Abbildungsverzeichnis.....	43
	Über klimaaktiv	44

1 Verwendung dieses Leitfadens und Ablauf nach EN 16247-1

Dieser Leitfaden soll eine rasche, erste Einschätzung des Druckluftsystems in Betrieben mit vertretbarem Aufwand ermöglichen. Er richtet sich an Energiemanagerinnen und Energiemanager, Energieauditorinnen und Energieauditoren, Energieberaterinnen und Energieberater und interessierte Technikerinnen und Techniker, die ein Druckluftsystem in einem Betrieb analysieren möchten.

Der Leitfaden enthält insbesondere Hilfestellung zur Abschätzung der wichtigsten Einsparmaßnahmen in Betrieben. Dazu sind, falls verfügbar, Datenerfordernisse und Kennzahlen definiert.

Je nach Anwendung und Branche können aber auch weitere Einsparmaßnahmen relevant sein, die in diesem Leitfaden nicht enthalten sind. Beispiele für Themen dafür sind: Turbokompressoren, Druckluftaufbereitung.

Im Leitfaden sind folgende Maßnahmen dargestellt:

- Datenerhebung
- Reduktion von Leckagen
- Optimierung des Netzdrucks
- Verbesserung der Steuerung
- Senkung des Leerlaufanteils
- Wärmerückgewinnung
- Abschalten der Anlagen und Verbraucher
- Verbraucher

Die Durchführung von Messungen von Druckluftherzeugung, insbesondere der elektrischen Leistungsaufnahme über die Zeit, z. B. zehn Tage zur Ermittlung von Tagesprofilen und deren Auswertung wird bei den meisten Energieberatungen in diesem Bereich durchgeführt und auch empfohlen, ist aber nicht Teil dieses Leitfadens. Die Ergebnisse dieser Analyse können aber als primäre oder weitere Quelle zur Maßnahmenbewertung

herangezogen werden. (Beispiele sind: Datenerhebung, Abschalten der Druckluftherzeugung, Kompressorsteuerung).

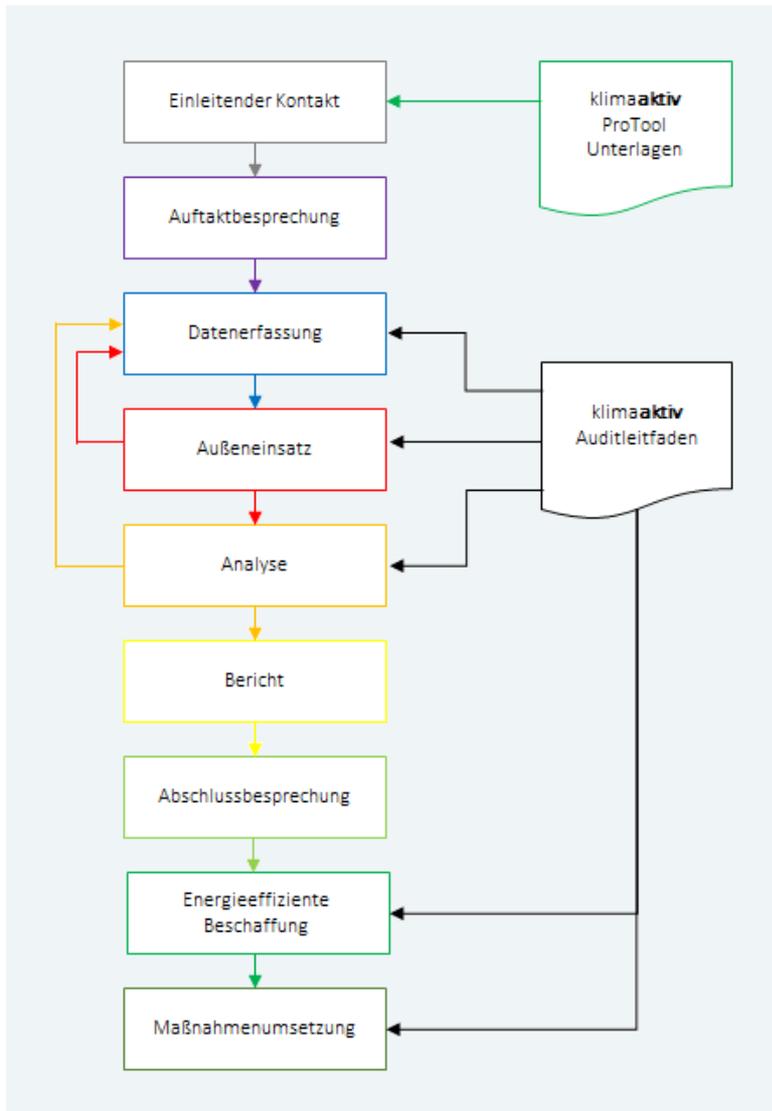
Während Druckmessungen häufig im Betrieb installiert sind, sind Durchflussmessungen in Betrieben noch nicht breit angewendet. Dazu finden sich im klimaaktiv Messleitfaden II einige Informationen, insbesondere zu kalorimetrischer Messung. Zur Durchführung eines umfangreichen Energieaudits, inkl. Messungen im Bereich Erzeugung, Verteilung und Verbrauchern finden sich in der ÖNORM EN ISO 11011: Druckluft – Energieeffizienz – Bewertung Vorgaben.

Zur Vollständigkeit enthält der Leitfaden zunächst einen Überblick über Inhalte der für Österreich relevante Normenreihe EN 16247. In diesen allgemeinen Ablauf ist ein Druckluftaudit einzubetten bzw. sollte auch ein Druckluftaudit diese Schritte beinhalten. Der weitere Teil des Leitfadens bezieht sich dann vor allem auf die Schritte Datenerhebung und -analyse.

1.1 Ablauf eines Energieaudits nach EN 16247-1

Bezüglich des allgemeinen Ablaufs eines Energieaudits wird auf die ÖNORM EN 16247-1 2012 verwiesen. Die Norm versteht unter einem Energieaudit die „systematische Inspektion und Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs eines Systems oder einer Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potential für Energieeffizienzverbesserungen zu identifizieren und diese zu berichten“ (Quelle: ÖNORM EN 16247-1 2012).

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick



Quelle: Österreichische Energieagentur, 2020

Zusammenfassend dargestellt beginnt der prinzipielle Ablauf eines Energieaudits mit einem einleitenden Kontakt, in dem man sich mit dem Unternehmen hinsichtlich Ziele, Erfordernissen und Erwartungen an das Energieaudit einigt.

Danach sind in einer Auftaktbesprechung alle interessierten Kreise über die festgelegten Ziele, den Anwendungsbereich, die Grenzen und die Tiefe des Energieaudits zu informieren. Diese beiden Schritte werden von klimaaktiv durch ein standardisiertes Anschreiben an die Unternehmen und den Einsatz des klimaaktiv Audittools ProTool unterstützt.

Gemeinsam mit dem Unternehmen (bzw. einer vom Unternehmen zu Verfügung gestellten Ansprechperson) sind dann anschließend alle relevanten Daten zu erfassen und die zu prüfenden Objekte vor Ort zu inspizieren. In einem nächsten Schritt sind die gesammelten Daten und Informationen zu analysieren, um die Energieeinsparmöglichkeiten identifizieren zu können. Bei diesen Schritten können die von klimaaktiv entwickelten Auditleitfäden als Hilfestellung herangezogen werden.

Die Ergebnisse des Energieaudits sind abschließend zu dokumentieren und dem Unternehmen vorzulegen. Hierfür wurde von klimaaktiv eine Berichtsvorlage erstellt, die den Vorgaben und Anforderungen der ÖNORM EN 16247 im Wesentlichen entspricht. Für die Durchführung von Energieaudits in Druckluftsystemen finden sich in dem vorliegenden Dokument zusätzliche Anleitungen und Hilfestellungen.

Weitere allgemeine Informationen zu der Durchführung von Energieaudits finden sich in der ÖNORM EN 16247. Spezielle Anforderungen an das Energieaudit in Gebäuden, an Industriestandorten und in Transportsystemen werden in den Normentwürfen ÖNORM EN 16247 Teil 2, Teil 3 und Teil 4 beschrieben.

Hinsichtlich der Qualifikation der Energieauditorin/des Energieauditors gilt: dieser muss angemessen qualifiziert sein, alle von der Organisation gelieferten Informationen vertraulich behandeln und auf objektive Art und Weise handeln. Konkrete Anforderungen an die Qualifizierung von Energieauditoren werden im fünften Teil der Energieauditnorm „Qualifikation von Energieauditoren“ behandelt.

Anforderungen an Energiedienstleister werden im Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG 72/2014) unter §17 definiert.

1.2 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit

Aus der bisherigen Erfahrung hat sich gezeigt, dass insbesondere auf folgende Vorgaben aus der ÖNORM EN 16247 zu beachten sind:

1.2.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung

Die durch das Audit erhaltenen Ergebnisse müssen vertraulich behandelt werden. Der Energieauditor muss das Unternehmen objektiv beraten und die erzielten Ergebnisse transparent darstellen.

1.2.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen

Das betroffene Unternehmen muss eine Person nominieren, die als Ansprechperson dient und mit der Energieauditorin/des Energieauditors zusammenarbeitet. Die Person hat dafür Sorge zu tragen, dass dem Energieauditor angeforderte Daten zu Verfügung gestellt werden beziehungsweise hat diesen bei der Erhebung der Daten (auch vor Ort) zu unterstützen.

1.2.3 Bewertung der bereitgestellten Information

Der Energieauditor muss bewerten, ob die bereitgestellten Informationen ausreichen, um die vereinbarten Zielsetzungen zu erreichen. Ist dies nicht der Fall stellt dies ein Abbruchkriterium des Energieaudits dar beziehungsweise ist der Schwerpunkt auf die Datenerfassung (auch über längeren Zeitraum als Energiedatenerfassung) zu legen.

1.2.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten

Bei einer entsprechenden Größe des Unternehmens und der damit verbundenen hohen Anzahl an zu untersuchenden Einheiten ist eine Vorauswahl zu treffen. Um ein strukturiertes Vorgehen zu gewährleisten, sollten zuallererst Maßnahmen dort gesetzt werden, wo die höchsten energetischen Einsparungen erzielt werden können (unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten).

1.2.5 Ableitung von Leistungskennzahlen

Für die Darstellung der Energieeffizienz im Unternehmen sind quantifizierbare Parameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch des Unternehmens bzw. der mit den einzelnen Technologien versorgten Prozesse haben, zu berücksichtigen. Das können z. B. Durchsatz in der Produktion, weitere Input-, Outputfaktoren, Betriebszeiten der Maschinen, Arbeitszeit, Wetterbedingungen et cetera sein, (der Begriff in der Norm ist dafür „Anpassungsfaktor“). Es obliegt der Verantwortung des Energieauditors diese in Absprache mit dem Unternehmen festzulegen. Nach der Berücksichtigung aller auf den

Energieverbrauch Einfluss nehmenden Faktoren ist daraus eine Leistungskennzahl zu wählen, mit der die Energieintensität des Unternehmens oder eines Systems/Prozesses abgebildet werden kann. Unter dem Begriff Energieeffizienz ist das Verhältnis zwischen einer erzielten Leistung beziehungsweise Ertrag an Dienstleistung, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie zu verstehen. Beispiele für Leistungskennzahlen sind: kWh/Durchsatz in Produktion, kWh/m², kWh/Mitarbeiter, kWh/Dienstleistung et cetera.

1.2.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren

Prinzipiell sind Messungen von benötigten Betriebsgrößen (z. B. Energieverbrauch, Leistungsbedarf, Volumenstrom, Druck, Betriebszeit et cetera) immer Hochrechnungen oder Abschätzungen dieser Größen vorzuziehen.

1.2.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente

Neben dem Energieverbrauch sind gegebenenfalls auch relevante bereits durchgeführte Messungen, Betriebs- und Wartungsdokumente, Nutzerverhalten und relevante Wirtschaftsdaten wie z. B. den derzeitigen Verrechnungstarif zu erheben.

Unterstützende Dokumente:

ÖNORM EN 16247-1: Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

ÖNORM EN 16247-2: Energieaudits – Teil 2: Gebäude

ÖNORM EN 16247-3: Energieaudits – Teil 3: Prozesse

ÖNORM EN 16247-4: Energieaudits – Teil 4: Transport

ÖNORM EN 16247-5: Energieaudits – Teil 5: Qualifikation von Energieauditoren

ÖNORM EN ISO 11011: Druckluft – Energieeffizienz – Bewertung

Für die Bewertung von Druckluftsystemen wurde auch eine internationale Norm (ISO 11011) entwickelt, die über das vorliegende Dokument weit hinausgeht und eine Bewertung eines Systems auf Basis einer Vielzahl von Messungen (Temperatur, Druck, Volumenstrom) an verschiedenen Messpunkten (Erzeugung, Übertragung, Bedarf) vorsieht. Sie enthält jedoch keine Hilfestellungen für rasche Abschätzungen oder Richtwerte.

2 Datenerhebung

Der erste Schritt bei der Analyse eines Druckluftsystems sollte immer eine Bestimmung (oder Abschätzung) der Kosten für das Druckluftsystem sein. Daraus leiten sich dann in weiterer Folge, die verfügbaren Ressourcen zur Optimierung ab.

Die laufenden Kosten setzen sich auf Energiekosten, Wartungskosten und Kosten zur Kühlung zusammen. Bei den Energiekosten sind neben den Kosten für den Betrieb der Kompressoren auch die Kosten für die Aufbereitung relevant.

Die Aufbereitungskosten werden in vielen Fällen für eine erste, rasche Analyse nicht weiter berücksichtigt. Relevant sind diese aber insbesondere, wenn kaltregenerierende Adsorptionstrockner mit einem hohen Anteil für Spülluft (z. B. 20 %) für niedere Taupunkte (-20 bis -40 °C) in Verwendung sind.

Die folgende Frage sollte daher zunächst für den vorliegenden Betrieb beantwortet werden: Wie hoch sind die jährlichen Energie-Kosten für Druckluft in Ihrem Betrieb?

Kennzahl:

- Höhe der jährlichen Energie-Kosten für Druckluftkompressoren [EUR]
- Energiekosten/m³ [EUR/m³]

Erforderliche Daten:

- Laufzeit belastet, Leistungsaufnahme Kompressoren, Energiepreis pro kWh
- Alternativ: Auslesen des Leitsystems, Zählerdaten oder Messdaten für die Kompressorstation

2.1 Kompressor ohne Drehzahlregelung

Zur Erhebung des Energieverbrauchs müssen Sie zunächst die Laufzeiten und die Leistungsaufnahme Ihres Kompressors ermitteln. Bei größeren Kompressoren können die verschiedenen Betriebsdaten wie Drücke, Temperaturen und Laufzeiten am Display abgelesen werden. Diese zeigen normalerweise die Stunden im Lastlauf, Gesamtbetriebsstunden und die Stunden bis zum nächsten Service an.

Bei Kompressoren ohne Laststundenzähler sollten Sie mittels Stoppuhr an einem typischen Arbeitstag die Last- und Betriebsstunden für eine halbe Stunde messen bzw. eine Messung mit einem Leistungsmessgerät für eine Arbeitswoche veranlassen.

Im Anhang Mustervorlagen finden Sie unter Punkt 1.1 eine Vorlage für die Erhebung der Kompressordaten.

Über die Multiplikation der jeweiligen Leistungen mit den jeweiligen Betriebszuständen ergibt sich der Stromverbrauch für die Kompressoren.

Formel 1: Berechnung der jährlichen Betriebskosten

Betriebskosten [EUR/a] = $(kW_{VI} * \text{Lastlaufzeit/a} + kW_{TI} * \text{Leerlaufzeit/a}) * \text{EUR/kWh}$

kW_{VI} : Leistung im belasteten Zustand (laut Herstellerangaben oder Messung)

kW_{TI} : Leistung im Leerlauf (laut Herstellerangaben oder Messung, bzw. ca. 25 Prozent der VL)

Anmerkung Kolbenkompressoren

Kolbenkompressoren arbeiten im kleineren bis mittleren Leistungsbereich im Aussetzbetrieb, haben daher keinen Leerlauf. Größere Kolbenkompressoren gehen ebenfalls in den Leerlauf.

2.2 Drehzahlregelung

Für Drehzahlgeregelte Kompressoren empfiehlt sich die folgende Vorgangsweise:

Auslesen der Summarischen Liefermenge im Messzeitraum am Kompressor (erfassen aller Steuerungen dieser Verdichter) und Ermittlung der mittleren Liefermenge

Abfragen des spez. Energieverbrauchs des Kompressors nach DIN/ISO 1217 Anhang C bei tatsächlichem Betriebsdruck und durchschnittlicher Liefermenge. (elektrische Leistungsbedarf zum Volumenstrom, dieser Wert muss beim Hersteller gesondert abgefragt werden!)

Daraus lässt sich dann der Energieverbrauch recht gut ableiten. Nicht berücksichtigt wird lediglich, dass der spezifische Verbrauch am oberen und unteren Liefermengenbereich

schlechter ist. Insbesondere im unteren Regelbereich (unter 30 %) steigt der spezifische Verbrauch stark an.

2.3 Kontrolle des Energieverbrauchs pro produzierter Druckluft

Die Kontrolle des Energieverbrauchs pro produzierter Druckluft hilft Ihnen, Kostensteigerungen und Stillstände zu vermeiden.

z. B. für ein Druckniveau von 7 bar und durchschnittlicher Druckluftaufbereitung sollte diese Kennzahl unter $120\text{Wh}/\text{Nm}^3$ liegen:

- $85\text{Wh}/\text{Nm}^3$ bis $100\text{Wh}/\text{Nm}^3$ ist ein sehr guter Wert
- $100\text{Wh}/\text{Nm}^3$ bis $120\text{Wh}/\text{Nm}^3$ ist ein annehmbarer Wert
- über $120\text{Wh}/\text{Nm}^3$, dieser Wert weist auf Probleme im System hin

Häufige Probleme sind z. B. ältere Kompressoren, Drehzahlgeregelte Kompressoren im ungünstigen Regelbereich oder Kompressoren mit hohem Leerlaufanteil. Bei Kompressorstationen mit aufwendiger Druckluftaufbereitung kann dieser Wert aber höher sein.

2.4 Ermittlung von Einflussfaktoren und Leistungskennzahlen

Anpassungsfaktoren (hier Einflussfaktoren) sind quantifizierbare Parameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Für Druckluftsysteme sind dies in vielen Fällen die Menge an verpackten Produkten und/oder die Produktionszeiten. Durch Gegenüberstellung des Energie- beziehungsweise Druckluftverbrauchs kann die Abhängigkeit des Druckluftverbrauchs von diesem Parameter z. B. graphisch über eine Regressionsgerade dargestellt werden und im Zeitverlauf z. B. zum Monitoring des Druckluftverbrauchs aber auch zum Nachweis für die Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen genutzt werden. Bei reduzierter Produktion vermindert sich auch der Druckluftverbrauch, vermindert er sich aber stärker als erwartet, kann dieser Effekt den Einsparmaßnahmen zugerechnet werden.

Beispiele sind:

- Produktionszeit
- erzeugte Menge, verpackte Flaschen

Generell sollte im Rahmen eines Energieaudits eine (oder mehrere) Leistungskennzahlen festgelegt werden über die die Effizienz des Druckluftsystems beurteilt werden kann.

Beispiele für mögliche Leistungskennzahlen (in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit) sind unten angeführt, weitere sind in diesem Leitfaden beschrieben.

- Energieverbrauch Druckluft [kWh]
- Energieverbrauch pro erzeugter Druckluft [kWh/Nm³]
- Leerlaufanteil [%]
- Leckagenanteil [%]

2.5 Exkurs: Definition von Volumenströmen

2.5.1 Volumenstrom, Liefermenge [l/min, m³/min, m³/h]

Die Volumenstromangaben von Kompressoren und Luftverbrauchern beziehen sich auf den Umgebungszustand. Diese basieren auf realitätsnahen, festen Zustandsgrößen (z. B. 1.000 mbar, 20 °C)

Der tatsächlich erzeugte Volumenstrom ist abhängig vom Enddruck, bezogen auf die Ansaugbedingungen Druck, Temperatur und relative Luftfeuchte. Deshalb muss bei der Umrechnung auf den Ansaugzustand der gemessene Volumenstrom auf die Ansaugbedingungen (Temperatur, Feuchte, Druck) rückgerechnet werden. Untereinander vergleichbar sind Volumenströme nur dann, wenn sie unter gleichen Bedingungen gemessen wurden. Es müssen also Ansaugtemperatur, Ansaugdruck, relative Luftfeuchte und Meßdruck übereinstimmen.

2.5.2 Betriebs-Volumenstrom [Bl/min, B m³//min, B m³/h]

Der Betriebs-Volumenstrom gibt den effektiven Volumenstrom der verdichteten Luft an. Um den Betriebs-Volumenstrom mit anderen Volumenströmen vergleichen zu können, muss neben der Dimension Bl/min, Bm³/min bzw. Bm³/h immer der Druck der verdichteten Luft angegeben werden. z. B. 1 m³ bei 7 barü bedeutet, dass 1 m³ entspannte

Luft auf 7 bar_ü (Überdruck)= 8 bar_{abs} (absoluter Druck) verdichtet ist und nur noch 1/8 des ursprünglichen Volumens einnimmt.

2.5.3 Normvolumen

Das **Normvolumen** bezeichnet Druckluft im entspannten Zustand bei Norm-Bedingungen.

Das Normvolumen wird aufgrund von Standardbedingungen berechnet:

bei einem Druck von 101.325 kPa (760 Torr, 1,01325 bar_{abs}) und

- DIN 1343: einer Temperatur von 273.15 K (0 °C)
- ISO 2533: einer Temperatur von 288.15 K (15 °C)

3 Reduktion von Leckagen

Leckagen sind die fleißigsten Verbraucher, die 365 Tage im Jahr „arbeiten“. Ein Leckagenanteil von 50 % ist nicht ungewöhnlich, als Zielwert kann dieser aber bis auf 5 bis 10 % gesenkt werden. Um den Ist-Stand zu erheben, sollte bei jedem Betriebsstillstand eine Leckagemessung durchgeführt werden beziehungsweise lässt sich aus einem Leitsystem auch nachträglich die Laufzeit der Kompressoren während des Betriebsstillstandes ermitteln. Muss der Kompressor außerhalb der Betriebszeit laufen, um das Druckniveau zu halten, deckt er ausschließlich Leckagen ab.

Kennzahl:

- Leckagenanteil [%] – über 10 % Maßnahmen ergreifen

Erforderliche Daten:

- Gesamter geförderter Volumenstrom [m^3/a] (Liefermenge bei Betriebsdruck)
- Leckagenvolumenstrom [m^3/a]
- Leckagenverluste in [kWh/a]

3.1 Errechnen des Leckagenanteils

Über die Multiplikation der Leistung oder des Fördervolumens des Kompressors im belasteten Zustand mit den Laufzeiten lassen sich außerhalb der Betriebszeiten der Energieverbrauch oder das Fördervolumen für Leckagen errechnen.

Grundsätzlich eignen sich folgende kostengünstige Methoden zur Leckagenabschätzung:

3.1.1 Abschätzung der gesamten Leckagenmenge über Stundenaufzeichnungen oder interne Leitsysteme

Erhebung der Kompressorlaufzeiten außerhalb der Betriebszeiten bzw. während Betriebsstillstandes. Dazu muss ein Mitarbeiter in der letzten Schicht des Tages und einer in der nächsten Schicht des darauffolgenden Arbeitstages die Laufzeiten (im belasteten Zustand) notieren beziehungsweise eine Auswertung des Leitsystems erfolgen.

Folgende Laufzeiten geben Hinweis auf einen Leckagenstrom von mehr als 10 %:

- Nacht (mehr als 1 Stunde in 12 Stunden)
- Wochenende (mehr als 4 Stunden in 36 Stunden)
- Betriebsstillstand (z. B. Sommer- Weihnachts-, Osterpause), mehr als 17 Stunden an 7 Tagen

Vorsicht: Die Laufzeiten können auch auf ungewollte Dauerverbraucher zurückzuführen sein, außerdem ist die Leistung und Anzahl der Kompressoren zu berücksichtigen!
(Maßnahme: Abschaltung oder Abtrennung)

3.1.2 Leckagemessung über Laufzeit der Kompressoren bei Betriebsstillstand

Das gesamte Druckluftnetz muss geöffnet und alle Verbraucher abgestellt sein (am besten bei Betriebsstillstand, z. B. Wochenende). Schalten Sie nur einen Kompressor ein und stoppen Sie seine Laufzeiten. Die Mindestmesszeit beträgt einen Zyklus bis zur nächsten Belastung (Belastet, Entlastet, Stopp).

Um die Leckagen an den dezentralen Verbrauchern zu messen, schließt man alle pneumatisch betriebenen Werkzeuge, Maschinen und Geräte an und misst die Summe aller Leckagen. Dann schließt man die Absperrventile vor den Anschlüssen der Verbraucher und misst die Leckagen am Rohrleitungsnetz. Die Differenz ergibt die Leckagen an den Verbrauchern. (siehe auch Tools im Internet z. B. auf der Website energieschweiz.ch)

Formel 2: Berechnung der Leckagenverluste [kWh/Jahr]

$$\text{Leckagenverluste [kWh/a]} = \frac{t}{T} * \text{kW} * h$$

Formel 3: Berechnung der Leckagemenge [m³/a]

$$\text{Leckagemenge [m}^3\text{/a]} = \frac{t}{T} * V_k * h$$

t = Zeit im Belastungszyklus [s]

T = Gesamte Messzeit (Belastet, Entlastet, Stop) [s]

kW = Leistung im Belastungszyklus des Kompressors

h = Jahresbetriebsstunden (Volllast)

V_k = Volumenstrom des Kompressors

3.2 Kostenbewertung

Angenommene minimale Leckagenverluste in EUR bei 10%igen Leckagenverlusten:

Formel 4: Berechnung der Kostenbewertung

$$\begin{aligned} &\text{Gesamter Stromverbrauch Druckluft [kWh]} * 10 \% * \text{EUR/kWh} \\ &\text{Derzeitige Leckagenverluste in [kWh/a]} * \text{EUR/kWh} \end{aligned}$$

Die Differenz steht zur Beseitigung der Leckagen zu Verfügung.

Kosten einer Einzelleckage: 1 mm Leckagedurchmesser, 8 bar Leitungsdruck, 1,25 l/s verursacht Kosten von circa EUR 150 pro Jahr.

3.3 Leckagensuche

Ortung der Leckagen, am besten mit Ultraschallgerät. Insbesondere flexible Elemente und Anschlussstücke neigen zu Leckagen: Kupplungen, Schläuche oder Dichtungen an pneumatischen Schaltkomponenten und Zylinder. Anschließend Markierung der undichten Stellen.

Materialkosten: Ultraschallgerät (circa EUR 1.500)

Arbeitskosten: Dauer der Begehung des Druckluftnetzes

3.4 Leckagenbehebung

- Nachziehen von Schneidringverschraubungen, Erneuern von Gewindeabdichtungen (Teflonband oder flüssige Gewindedichtmittel)
- Austausch von defekten Ventilen, Zylindern, Kupplungen, Dichtringen
- Beschaffung von Kupplungen mit vollem Durchgang

Arbeitskosten: je nach Leckagegrund im Schnitt zwischen 0,25 bis 1 Arbeitsstunden

Materialkosten (Beispiele aus 2010): im Schnitt zwischen EUR 20 und 50, große Abweichungen sind aber natürlich möglich (z. B. bei Zylindertausch)

Kosten für Ventile: Wartungseinheit von 3/8“ bis 1“ EUR 95 bis 335

Zylinder: je nach Fabrikat und Größe – muss vom Kunden ermittelt werden

Kupplungen: Kupplung DN 7,2: EUR 6 pro Stück

O-Ringe: Kosten für Standard-O-Ringe in der Regel vernachlässigbar

3.5 Leckagesuchprogramm und –management

- Organisatorisches Festlegen des Leckagesuchprogramms. (Verantwortlichen, Zeitbudget und finanziellen Bedarf für Austausch von Komponenten festlegen)
- Regelmäßige Überprüfung des Leckageanteils bei Betriebsstillständen oder Überwachung mittels Messtechnik
- Regelmäßige (je nach Zustand und Beanspruchung: z. B. jährliche) Begehung des Druckluftnetzes, wenn möglich mit Ultraschallsuchgerät, Integration in Energiemanagementsystem (Setzen von Benchmarks, Maßnahmepläne)
- Sensibilisierung der Mitarbeiter

4 Optimierung des Netzdrucks

Nach Erfahrungswerten könnte das Druckniveau – ohne Auswirkungen auf die Verbraucher – oft um ca. ein bar auf bis zu unter 7 bar gesenkt werden, was eine Energieeinsparung von 7 % bringen würde.

Kennzahl:

- Netzdruckdifferenz [bar], sollte bei circa 0,5 bis 0,7 bar liegen
- Versorgungsdruck [bar], über 7 bar hinterfragen
- Netzdruckdifferenz optimal unter 0,1 bis 0,2 bar

Wirtschaftlich empfehlenswert:

- Hauptleitung Druckdifferenz maximal 0,03 bar
- Verteilleitung Druckdifferenz maximal 0,03 bar
- Anschlussleitung Druckdifferenz maximal 0,04 bar

Erforderliche Daten:

- Druckniveaus an Kompressorstation und Verbrauchern
- Notwendige Druckniveaus an Verbrauchern

4.1 Kostenbewertung

Reduktion des Druckniveaus um 1 bar ergibt rund 7 % Energieeinsparung.

Reduktion des Druckniveaus um 0,3 bar verringert die Leckagen um 4 %

Beachte: Erst nach Überprüfung des erforderlichen Arbeitsdrucks für die Verbraucher, der Verminderung des Druckabfalls bei der Bereitstellung, dem Netz und den Verbrauchern soll eine Absenkung des Druckniveaus erfolgen.

4.2 Errechnung des Differenzdrucks

- **Schritt 1:** Erhebung des Drucks nach dem Kompressor (Kompressorenddruck)

- **Schritt 2:** Erhebung des erforderlichen Betriebsdruckes am Verbraucher (Werkzeuge, Maschinen) aus Anlagendatenblättern bzw. Betriebserfahrung (üblicher Wert 6 bis 7 barü). Ermittlung des Verbrauchers mit dem höchsten erforderlichen Druckniveau.
- **Schritt 3:** Messung des tatsächlichen Betriebsdruckes (Fließdruck) an der Maschine oder Werkzeug (z. B. durch Einsteckmanometer oder vorhandenen Manometer, Verbraucher muss dazu in Betrieb sein!);
- **Schritt 4:** Errechnung des erforderlichen Kompressorenddrucks. Zum erforderlichen Druck für die Endverbraucher (2) wird ein Richtwert für Druckverluste im Netz addiert: 0,6 bar für ein neues Netz, 0,9 bar für ein altes Netz (inklusive Aufbereitung wie Filter und Trockner): üblicher Wert ca. 7,2 bar
- **Schritt 5:** Vergleich:
 - Differenz zwischen Kompressorenddruck und Netzdruck am Verbraucher (Ergebnisse aus Schritt 1 und Schritt 3): sollte nicht höher als max. 0,7 (besser 0,5) bar sein! Sonst sind Maßnahmen zur Absenkung des Druckabfalls durchzuführen!
 - Differenz zwischen aktuellem Kompressorenddruck und erforderlichen Kompressorenddruck (Ergebnisse aus Schritt 1 und Schritt 4): Falls derzeit zu hoch, könnte der Kompressordruck gesenkt werden. Hier ist aber die Trägheit des Systems zu berücksichtigen, ist die Spanne zu gering steigt die Anzahl der Schaltspiele rapide an.
 - Differenz zwischen Netzdruck und erforderlichem Druck am Verbraucher (Ergebnisse aus Schritt 2 und Schritt 3): Druckniveau an tatsächliche Erfordernisse anpassen, eventuell durch Druckreduzierventil oder über getrenntes Leitungsnetz.

4.3 Vermeidung Druckabfall

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

- Druck ab Kompressoren
- Druck ab Druckluftbehältern
- Druck bei Hauptverteilern
- Druck bei Verbrauchern: Fließdruck, während Verbraucher im Betrieb sind ablesen, z. B. mit Einsteckmanometer (Drucktaupunkt und Druck, Genauigkeitsklasse 1 mit Ölfüllung)

4.3.1 Maßnahmen zu Reduktion des Druckabfalls:

- Regelmäßige Wartung der Filter und Trockner
- Auswahl von Trocknern, Kühlern, Nachkühlern mit geringstem Druckabfall bei ausgewählten Bedingungen
- Kondensatableiter ohne Luftverlust einsetzen (z. B. elektronisch niveaugeregelte Ableiter)
- Einsatz strömungstechnisch günstiger Komponenten (Bogen – Krümmer)
- Unnötige Filter, Ventile, T-Stücke in den Leitungen austauschen
- Ersatz von flexiblen durch kurze gerade PU Schläuche, Spiralschläuche nur auf letzten 3 bis 5 m verwenden, auf genügenden Querschnitt achten.
- Spezifizierung von Druckreglern, Ölern, Schläuchen und Verbindungen mit der besten Leistungscharakteristik und dem geringsten Druckabfall
- Für Arbeitsplatzanschlüsse moderne Schnellkupplungen hoher Qualität vorschreiben (selbstentlüftende Kupplungen mit Kugel verursachen 0,6 bis 1,3 bar Druckverlust, die Effizienz der angeschlossenen Werkzeuge reduziert sich um mehr als 30 %!)
- Provisorische Leitungen vermeiden, Schlauchklemmen durch Quetschverbindungen ersetzen
- Vermeidung von langen Wegen im Netz
- Demontage aller überflüssigen Zapfstellen
- Bei zeitlich unterschiedlichen Anforderungen Sektoreneinteilung durchführen und Teilstränge, z. B. für Labor oder Werkstatt oder nicht genutzte Maschinen, in der Nacht oder am Wochenende vom Netz nehmen.
- Bei Auslegung von Rohrleitungsnetzen auch Ausbaupläne und damit den Druckluftbedarf der nächsten Jahre einplanen, daher eher größere Dimensionierung der Hauptleitungen, Verteilleitungen und Stichleitungen beziehungsweise Auslegung auf minimal möglichen Druckverlust (zu kleine Rohrdurchmesser führen zu deutlich höherem Energieeinsatz)
- Stichleitungen/Abgangsleitungen so groß als möglich ausführen (Preisunterschied zwischen DN15 und DN25 Leitungen meist vernachlässigbar)
- Hauptleitungen als Ringleitungen ausführen
- Falls nur bestimmte Anwendungen erhöhten Druckbedarf haben, alternative Lösungen überlegen:
 - Getrennte Netze mit unterschiedlichen Druckniveaus, Qualitäten
 - Netz mit niedrigerem Druckniveau und lokalen Einheiten zur Druckerhöhung
- Spezifisches Filtern vor Verbrauchern mit hohen Qualitätsanforderungen
- Vermeiden von Druckschwankungen durch Installation von lokalen Druckspeichern (falls große Anlagen mit starken Verbrauchsschwankungen vorhanden)

- Betriebsdruck senken, an Verbraucher anpassen.
- Auswahl von Verbrauchern, Werkzeugen, die mit niedrigerem Druck betrieben werden können (größere Luftzylinder). Moderne Druckluftpistolen haben bessere Wirkung bei 30 % tieferem Druckniveau.
- Alle „offenen Rohre“ durch Blasdüsen mit der jeweils geeigneten Blaskraft und dem entsprechenden Blasmuster ersetzen (auch Blaspistolen und Luftvorhänge prüfen)
- Verbraucher hinterfragen:
 - Druckluft zur Reinigung vermeiden
 - Druckluft zur Kühlung vermeiden
 - Zerstäuben von Flüssigkeiten ohne Druckluft

5 Verbessern der Steuerung

Durch das Modernisieren der Steuerung können Sie die notwendige Schaltdifferenz zwischen oberen und unteren Schaltpunkt optimieren und durch das Absenken des Drucks wertvolle Energie sparen.

Kennzahl:

- Netzdruckspanne (Ein- und Ausschaltdruck) über 1 bar bzw. 0,5 bar bei Einzelkompressoranlagen

Erforderliche Daten:

- Ein- Ausschaltdruck

5.1 Kostenbewertung

Ein Absenken des Drucks um 0,5 bar führt zu einer Reduktion der Leistungsaufnahme von 3 bis 4 %.

5.2 Einzelkompressoranlage

Kleinere Kompressoren verfügen über eine Steuerung mit der Möglichkeit, den unteren und oberen Schaltpunkt anzugeben. Überprüfen Sie die beiden Schaltpunkte. Das Druckband, also der Unterschied zwischen Be- und Entlastungsdruck, sollte ca. 0,5 bar betragen.

Eine zu große Druckdifferenz führt zu übermäßigem Energieverbrauch aufgrund von Überverdichtung; zu geringe Druckdifferenz führt zu häufigen Lastwechseln. Diese Parameter sollten über eine moderne Regelung optimiert werden.

Kosten der Umrüstung: Bei Anlagen mit mechanischem Druckschalter ist die minimale Hysterese häufig mit 0,5 bar begrenzt. Das Nachrüsten von Druckaufnehmern ist nur mit sehr hohem Aufwand möglich und daher nicht zu empfehlen. Auf Grund der maximalen Schalthäufigkeit des Elektromotors ist eine Druckdifferenz von 0,5 bar zwischen Einschalt- und Ausschaltdruck meistens der optimale Wert.

5.3 Mehrkompressoren-Anlage

Erheben der bestehenden Schaltdruckdifferenz der Gesamtanlage.

Bei der Kaskadensteuerung oder Reihenfolgeschaltung wird jedem Kompressor ein Druckbereich mit oberem und unterem Schaltpunkt zugeordnet. Die gesamte notwendige Druckdifferenz kann dann 1,4 bis 2 bar betragen. Bei Einsatz elektronischer Druckschaltung kann die Schaltdruckdifferenz auf 0,7 bar abgesenkt werden.

Durch Einsatz einer Steuerung lässt sich die Schaltdruckdifferenz auf 0,5 bar oder sogar 0,2 (Druckbandsteuerung mit Trenderkennung) absenken. Auch hier ist zu beachten, dass eine zu geringe Druckdifferenz zu erhöhten Lastwechseln führt (der Kompressor also häufiger in den Leerlauf geht).

Kosten der Umrüstung: Übergeordnete Druckbandsteuerung Standardgerät von EUR 4.000 bis 5.000 plus Montage beziehungsweise rund EUR 10.000 bis 15.000 für eine Steuerung bei einer vier Kompressoranlage inklusive Montage und Steuerdrucksensoren.

6 Senken des Leerlaufanteils

Überdimensionierte oder schlecht geregelte Kompressoren weisen oft einen Auslastungsgrad von nur 50 % auf. Dadurch befinden sich nicht drehzahlgeregelte Kompressoren häufig im ungünstigen Leerlaufzustand, in dem je nach Größe 20 bis 50 % (im Durchschnitt rund ein Drittel) der Volllastleistung aufgenommen wird. Der Zielwert für den Nutzungsgrad von Spitzenlastkompressoren sollte 70 % betragen, sonst darüber. Innerhalb von gesteuerten Mehrkompressorenanlagen beträgt der Zielwert für sämtliche Kompressoren sogar über 90 %.

Kennzahl:

- Nutzungsgrad: Last- zu Betriebsstunden: mindestens 70 % (Spitzenlastkompressoren), bei Mehrkompressorenanlagen 90 % (siehe oben)
- Leerlaufanteil: über 20 bis 50 % besteht Handlungsbedarf

Erforderliche Daten:

- Laststunden, -Leerlaufstunden, Kompressoraufteilung (Grundlast, Spitzenkompressor)

Der Leerlaufanteil berechnet sich aus dem Verhältnis der Leerlaufzeit zu gesamter Laufzeit (Leerlauf und Last!) des Kompressors in Stunden oder Minuten.

Formel 5: Berechnung des Leerlaufanteils

$$\text{Leerlaufanteil: } \frac{\text{Leerlaufzeit}}{\text{Betriebszeit}} * 100 \%$$

- Erhebung der Last- und Gesamtbetriebszeiten durch Ablesen am Stundenzähler.
- Bei Kompressoren ohne Laststundenzähler sollten Sie mittels Stoppuhr an einem typischen Arbeitstag die Last- und Betriebsstunden für mindestens eine halbe Stunde messen.

6.1 Kostenbewertung

Leistung im Leerlaufzustand (siehe technisches Datenblatt) mal Leerlaufzeit pro Jahr.

Ursachen für zu hohe Leerlaufzeiten können sein:

- Reduktion des ursprünglichen Druckluftbedarfs (Stillstand einer Linie, Abtrennung eines Netzteils, Schließung einer Produktionshalle)
- Zu große Auslegung des Kompressors
- Stark schwankender Druckluftbedarf

6.2 Maßnahmen zur Reduktion der Leerlaufzeit

6.2.1 Nachlaufzeit des Motors verringern

Dadurch schaltet der Kompressor früher ab und es verringert sich die Zeit, in der sich der Kompressor im Leerlauf befindet. Die Nachlaufzeit kann bei neuen Kompressoren über die Steuerung eingestellt werden, ältere Kompressoren können nicht nachgerüstet werden.

6.2.2 Überprüfen des Einsatzes eines kleineren Kompressors

Bei besonders hohen Leerlaufanteilen kann sich die Beschaffung eines kleineren Kompressors, der eine genauere Anpassung an den Bedarf ermöglicht, rentieren! (z. B. kann dieser in den Nachtstunden die Grundlast abdecken)

6.2.3 Einbau einer Steuerung

Übergeordnete Steuerung: Eine übergeordnete Steuerung wählt den Kompressor mit der besten Charakteristik für das jeweilige Lastprofil aus. Kosten für eine übergeordnete

Druckbandsteuerung: Standardgerät von EUR 4.000 bis 5.000 plus Montage beziehungsweise circa EUR 10.000 bis 15.000 für eine Steuerung für eine 4 Kompressoranlage inklusive Montage und Steuerdrucksensoren.

Drehzahlregelung: Durch den Einbau einer Drehzahlregelung lässt sich der Energieverbrauch eines schlecht ausgelasteten Kompressors um rund 25 bis 30 % (im Durchschnitt um 16 %) senken.

Investitionskosten: circa 40 bis 45 % Mehrkosten für Drehzahlregelung gegenüber einem starren Kompressor mit Standardregelung.

7 Wärmerückgewinnung

7.1 Wärmerückgewinnung

Bei luftgekühlten Kompressoren stehen circa 90 % der Kompressorleistung über Abluft und 72 % über Ölkreislauf als nutzbare Wärme zu Verfügung. Bei wassergekühlten Kompressoren circa 90 % über Kühlwasser, 72 % über Ölkreislauf.

Da die Luft im Kompressorraum eigentlich 20 °C (maximal 35 °C) nicht überschreiten sollte, kann die anfallende Wärme für folgende Anwendungen genutzt werden:

- Gewinnung von Heizluft
- Brauch- und Heißwasser-Erwärmung
- Trocknung
- Vorwärmung für Speisewasser für Dampfkessel oder Brennerluft
- Reinigungszwecke
- Adsorptionskälteanlage

Kriterium sind oft die Kosten für das derzeit genutzte Heizsystem, die bei Nutzung von elektrischer Energie für diesen Zweck besonders hoch sind. Eine Wärmerückgewinnung rentiert sich bei Kompressoranlagen ab 18,5 kW Antriebsleistung innerhalb von 1 bis 3 Jahren.

Kennzahl:

- Nutzbare Wärmemenge (von Kompressor)

Erforderliche Daten:

- Wärmerückgewinnung vorhanden?
- Mögliche Anwendungen der Abwärme, Kosten der derzeitigen Heizenergie, Wirkungsgrad dieses Systems
- Art der Kompressorkühlung (ölfrei oder ölgeschmiert, luft- oder wassergekühlt)

Die Wärme entspricht aber nur in seltenen Fällen dem aktuellen Bedarf des Heizungssystems. Daher kann eine elektronische Steuereinheit für eine bedarfsgerechte Temperaturregelung notwendig sein. Die zurückgewinnbare Energiemenge verringert sich, sobald der Kompressor in Teillast läuft oder stoppt. Daher ist es sinnvoll, die WRG nur als

ergänzende Energiequelle einzusetzen. Das primäre Kühlsystem sollte nicht als Wärmerückgewinnung eingesetzt werden, bei Ausfall wäre gleichzeitig die Druckluftproduktion gefährdet.

7.2 Raumheizung durch Abluft

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

7.3 Warmwasser für Heizzwecke

Bei der Heizwasserbereitung kommen einfache Platten-Wärmeaustauscher mit hoher Wärmeausnutzung zum Einsatz, der Heizungswasser um 50 K auf bis zu 55 °C (maximal 70 °C) erwärmen kann. Durch die Einsparung von Heizkosten kann sich die Anlage in weniger als einem Jahr amortisieren. Zu beachten ist, dass nur Heizungswasser erwärmt wird, wenn der Kompressor im Lastbetrieb arbeitet und daher nur zur Unterstützung des Heizungskreislaufs im Winter dienen kann. Warmes Wasser kann auch für industrielle Reinigungsprozesse, für Galvanisierungsprozesse, zum Betrieb von Wärmepumpen oder in der Wäscherei genutzt werden.

Mit ölfrei verdichtenden wassergekühlten Kompressoren kann mit einer Wärmerückgewinnung Wasser auf 80 °C bis zu 90 °C erwärmt werden! Bei luft- oder wassergekühlten Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung ist die Rückgewinnung der

Wärmeenergie ebenfalls einfach, da allein über den Ölkühler circa 72 °C der aufgenommenen Energie als Wärme abgeführt werden, Dazu ist einfach ein zusätzlicher Wärmetauscher im Ölkreislauf erforderlich. Das erreichbare Temperaturniveau ist dabei etwas geringer. Eine Wärmerückgewinnung aus dem Kühlwasser erfordert den Einsatz von Pumpen, Regelventilen und Wärmetauschern, dafür ist die Wärme über ein Rohrsystem leichter zu verteilen.

7.4 Wärme für Brauchwasser

Der Vorgang der Wärmerückgewinnung ist der gleiche wie bei der Heizwassererwärmung. Insbesondere für die Trinkwassererwärmung, für Kantinen und Großküchen, in der Lebensmittel-, Chemie- und Pharmaindustrie ist Warmwasser mit Trinkwasserqualität und daher der Einsatz von Sicherheitswärmetauschern erforderlich. Diese verhindern selbst bei Defekten ein Eindringen des Öls in das Brauchwasser. Bei diesem System kann Brauchwasser um 35 K auf circa 55 °C bis zu 70 °C erwärmt werden, eine Amortisation ist über das ganze Jahr möglich.

Formel 6: Formel zur Berechnung der Einsparung

$$[\text{EUR}] = \frac{(kW_{VL} * \text{Lastlaufzeit} + kW_{TL} * \text{Leerlaufzeit}) * \text{AnteilWnutz}}{\eta} * \text{EUR} / kWh_{\text{Brennstoff}}$$

kW_{VL} Kompressor Leistung Volllast

kW_{TL} Kompressor Leistung Teillast

η Wirkungsgrad Heizsystem (z. B 0,85 für Ölkessel)

Anteil Wnutz Nutzbarer Wärmeanteil abhängig von WRG-Art (0,7 bis 0,9)

EUR/kWh Kosten pro kWh eingesetztem Brennstoff für bestehendes Heizsystem

Ein Berechnungstool finden Sie auf der Website energieschweiz.ch (Stand 2017)

7.4.1 Kostenabschätzung

Tabelle 1: Kostenüberblick über Wärmetauscher für Druckluftkompressoren

Kompressorleistung [kW]	Kosten Platten WT 45 °C auf 70 °C (sonst etwas höher) [EUR] *	Kosten Sicherheits WT 45 °C auf 70 °C [EUR] *	Kosten Sicherheits WT 15 °C auf 70 °C [EUR] *
18,5	1.600	6.700	8.300
30,0	1.900	7.500	9.600
45,0	2.400	8.600	11.200
55,0	2.700	9.300	12.300
75,0	3.300	10.700	11.500
90,0	3.800	11.700	16.100
132,0	5.000	14.700	16.700
160,0	6.000	16.600	23.700

*Diese Tabelle dient ausschließlich einer groben Abschätzung der möglichen Investitionskosten von Wärmetauschern. Für Plattenwärmetauscher ist der Preis ebenfalls von den Temperaturniveaus abhängig!

8 Abschalten der Anlage und Verbraucher

Benötigen Sie außerhalb der Betriebszeiten (Nacht, Wochenende, Betriebsstillstand) Druckluft im gesamten Netz?

Kennzahl:

- Kompressorlaufzeiten außerhalb der Betriebszeiten von einzelnen Anlagen

Erhebung der Laufzeiten von Anlagen mit hohem Druckluftverbrauch, Überprüfung des Druckluftverbrauchs außerhalb dieser Betriebszeiten. Zur zeitlichen Angleichung der Druckluftbereitstellung mit dem tatsächlichen Verbrauch stehen folgende Optionen zur Verfügung: (die Installationskosten können mit rund EUR 600 für die meisten Maßnahmen angesetzt werden)

8.1 Maßnahme: Abschalten von Anlagen und Verbrauchern

8.1.1 Abtrennung des gesamten Leitungsnetzes oder von nicht benutzten Leitungssträngen

Diese Maßnahme stellt die Kompressoranlage nicht direkt ab, sondern lässt diese in Bereitschaft beziehungsweise werden nur die notwendigen Bereiche mit Druckluft versorgt. Die Leckagenverluste werden dabei minimiert. Dazu ist ein elektrisch betriebener Kugelhahn mit Schaltuhr notwendig, der nach Betriebsschluss das Leitungsnetz von der Druckluftversorgung trennt.

Investitionskosten ohne Einbau: EUR 270 bis 780

8.1.2 Manuelles Abschalten

Hier ist Vorsicht geboten: Beim Abschalten muss der Kugelhahn für das Leitungsnetz als erstes geschlossen beziehungsweise beim Einschalten als letztes langsam geöffnet werden!

Außerdem sollte der Kompressor erst nach Erreichen der Betriebstemperatur des Kältetrockners gestartet werden. Voraussetzung für diese Maßnahme ist jedoch die Bestimmung einer beziehungsweise mehrerer Personen, die diese Maßnahme durchführen.

Investitionskosten: EUR 0; allerdings sind die organisatorischen Kosten recht hoch

8.1.3 Vollautomatisches Ein-/Ausschalten der Anlage

Dazu ist der Einbau einer vollautomatischen Steuerung mit elektrisch betriebenen Kugelhahn notwendig. Die Betriebszeiten werden mit Schaltuhr so einprogrammiert werden, dass bei Arbeitsbeginn die Druckluftaufbereitung (Kältetrockner) bereits voll einsatzfähig ist.

Investitionskosten ohne Einbau: ab EUR 1.000

8.1.4 Abschalten von Produktionsmaschinen

Das Abschalten von Produktionsmaschinen ist oft unabhängig von der Gesamtanlage zu betrachten! Überprüfen Sie die wichtigsten Druckluftverbraucher, wie Vakuumpumpen zur Materialförderung oder Blasdüsen. Werden diese in Abhängigkeit mit der tatsächlichen Beschickung der Maschine mit Druckluft versorgt oder sind diese so genannte Dauerverbraucher?

Abschalten der Druckluftverbraucher über ein Magnetventil in der Druckluftzuleitung, dass mit dem Hauptschalter der Maschinen verbunden wird.

Investitionskosten ohne Einbau: von EUR 210 bis 450

Quelle für dieses Kapitel: www.druckluft.ch

9 Druckluftverbraucher

Wichtige Fakten zu Druckluftverbrauchern:

- Druckluftverbraucher sollten der Ausgangspunkt jeder Optimierung sein
- Druckluftverbraucher besitzen das höchste Effizienzsteigerungspotential in pneumatischen Systemen (bis zu 40 %)
- Druckluftverbraucher beeinflussen alle anderen Teile eines pneumatischen Systems

Während jedoch der Ersatz und die Optimierung von druckluftbetriebenen Handwerkzeugen, der Ersatz von Kupplungen und Schläuchen kostengünstig ist, ist der Ersatz bei vielen anderen Anwendungen komplexer.

9.1 Wartung

Pneumatische Anlagen, deren Verschleißteile regelmäßig überprüft und gewartet bzw. ausgetauscht werden, verursachen keinen höheren Druckluftverbrauch. Bei mangelnder Wartung kann es aufgrund des inneren Verschleißes und tendenziell abnehmender Dichtheit zu einem Druckluft-Mehrverbrauch kommen.

Tabelle 2: Einsparmaßnahmen in pneumatischen Anlagen

Indikatoren für Einsparpotenzial	Auswirkung	Gegenmaßnahme	Einsparungspotential
Hörbare Leckagen an der Maschine	Luftverluste	Abdichten von Schläuchen und Verbindungen	Je nach Größe der Lechage (1mm circa EUR 150 pro Jahr)
Verbrauchte Filterpatronen	Hoher Druckverlust	Wechsel der Filterpatrone	mehrere EUR 1.000 pro Jahr
Blasanwendungen mittels Düsen oder Blaspistolen	Zu geringe Düsen Effizienz	Empirische Ermittlung der optimalen Konfiguration	> EUR 10.000 pro Jahr
Vakuumpplikation mittels Ejektor	Zu hoher Luftverbrauch	Optimierung von Applikation und Komponenten	mehrere EUR 1.000 pro Jahr

DW-Spannzylinder (doppelwirkend)	Hoher Luftverbrauch	Zweidrucksystem oder EW-Zylinder (einfachwirkend)	mehrere EUR 1.000 pro Jahr
Versorgungsdruck über 7 bar	Hohe Energiekosten	Verwendung von Druckverstärkern	7 % Einsparung pro bar Druckabsenkung
Verwinkeltetes Leitungsnetz	Druckverlust innerhalb der Maschine	Neuaufbau	7 % Einsparung pro bar Druckabsenkung

Quelle: SMC Pneumatic

9.2 Verbrauchte Filterpatronen

Wichtig ist der rechtzeitige Austausch von verschmutzten Filterelementen. Ab einer gewissen Betriebszeit steigt der Differenzdruck sehr schnell an. In der Regel sollte ein Filter unbedingt einmal pro Jahr, jedoch spätestens bei einem Druckverlust von 0,35 bar gewechselt werden. Hier sollte auch regelmäßig die Differenzdruckanzeige überprüft werden.

9.3 Blasanwendungen mittels Düsen oder Blaspistolen

Blastätigkeiten mit Druckluft sind gewöhnliche Vorgänge in der Industrie. Durchschnittlich werden zwischen 20 und 70 % der gesamten Druckluft zum Ausblasen verwendet. Oft wird, wenn etwas abzublasen ist, ein ganz gewöhnliches Rohr installiert, dessen Umfang von einigen Millimetern bis zu einem Zoll variieren kann.

Das Abblasen mit offenen Rohren funktioniert zwar meistens, hat aber Nachteile wie:

- Hohe Turbulenzen, die Lärm entwickeln
- Schlechter Ausblaseeffekt
- Hoher Energieverbrauch, das heißt Verschwendung teurer Druckluft
- Gesundheitsgefährdung (Aufnahme von Partikeln in Körper über Atmung)

Je nach Anwendung (Förderung von Teilen, Feinmechanik, Trocknung, Kühlung) sind deshalb speziell gestaltete Blasdüsen zu verwenden:

Es gibt unterschiedlich effiziente Düsen hinsichtlich Blaskraft und Luftverbrauch (z. B. Flachstrahl-, Runddüsen, siehe Datenblätter), oder z. B. Düsen mit der Fähigkeit, die die Düse umgebende Luft blaskraftverstärkend mit zu nutzen.

Alle „offenen Rohre“ sollten durch Blasdüsen mit der richtigen Blaskraft und dem richtigen Blasmuster (breit, flach, konzentriert) für die jeweilige Anwendung ersetzt werden. Die Luft einsparung kann zwischen 15 und 55 % liegen, bei gleichzeitiger Lärmpegelsenkung.

Ebenso sollten einfache Blaspistolenmodelle mit „offenen Rohren“ durch modernere mit Düsen versehene Varianten ersetzt werden, die auch gut regelbar sein sollten.

An Blasstationen sind manuelle oder automatische Absperrventile zu installieren, dies führt zur Vermeidung unnötigen Druckluftverbrauchs und zu geringeren Leckagenverlusten.

Luftvorhänge werden in der Industrie bei festen Installationen eingesetzt, um Objekte zu reinigen, zu trocknen, zu bewegen, zu sortieren und zu kühlen. Auch hier werden Düsen angewendet, um Energie ein zu sparen. Bei Neuinstallation sollte der Luftvorhang auf die jeweilige Anwendung abgestimmt sein.

Zusammenfassend ergeben sich durch Blasdüsen folgende Effekte:

- Senkung des Lärmpegels um circa 50 %
- Senkung des Druckluftverbrauchs um mindestens 35 %
- Erfüllung der behördlichen Sicherheitsbestimmungen

Quelle für diese Kapitel: Silvent

9.4 Vakuum-Ejektoren

Beim Einsatz von Vakuum-Ejektoren wird mittels Druckluft nach dem Venturiprinzip im System ein Unterdruck erzeugt. Dabei wird die Druckluft durch eine kleine Düse gepresst und beschleunigt sich so auf Überschallgeschwindigkeit. Während dieses Vorganges werden vorhandene Hohlräume evakuiert. Geregelt Vakuumjektoren arbeiten mit einer Luftsparautomatik und zeichnen sich durch sehr geringen Luftverbrauch aus, dieser ist im Vergleich zu ständig in Betrieb stehenden um bis zu 90 % geringer. Besonders effizient

wird die Energie der zugeführten Druckluft in Mehrkammer-Ejektoren ausgenutzt. Mehrere hintereinander geschaltete Venturidüsen nutzen die kinetische Energie der zugeführten Luft optimal und erhöhen den Wirkungsgrad.

9.5 Weitere Maßnahmen für pneumatische Systeme

Weitere Maßnahmen zur Optimierung pneumatischer Systeme umfassen:

- Verringerung der Luftverbräuche (z. B.: Durchmesseroptimierung)
- Optimierung des Zusammenspiels diverser Komponenten (Schaltpläne)
- Einsatz energiesparender Komponenten
- Einsatz qualitativ hochwertiger Komponenten

Moderne Komponenten verbrauchen zwar, aufgrund optimierter Materialpaarungen, höherer Fertigungsqualität und verbessertem Design im Betrieb weniger Druckluft, allerdings ist die Möglichkeit zur Umrüstung immer im Einzelfall zu bewerten und nicht per se voraussetzbar.

Diese Maßnahmen verlangen daher entsprechendes Fachwissen und Erfahrung in pneumatischen Steuerungen!

9.6 Druckluftrecycling

Druckluftrecycling bezieht sich auf die Möglichkeit, je nach Druckluftanwendung, die noch zu Verfügung stehende Restenergie (in Form von Restdruck) wieder zu nutzen:

Zur Betätigung eines Druckluftzylinders benötigt man ca. 6bar, nach Betätigung wird die Luft mit noch immer 2-3bar ins Freie geblasen. Würde man diese Luft sammeln und über einen Nachverdichter führen könnte man noch einen entsprechenden Effizienzsprung machen. Bei 40bar Anlagen (PET-Flaschenerzeugung) ist dieses System schon Standard. (Persönliche Kommunikation: Christian Gerl, chriger solutions e.U.)

10 Zusammenfassung, Checkliste

Eine Vorlage zur Erhebung der Daten und Grenzwerte finden Sie im Anhang Mustervorlagen für Audits zur Optimierung von Druckluftsystemen unter Punkt 1.2

- Hersteller
- Typenbezeichnung
- Aufstellungsort
- Verdichterbauart (z. B. Schrauben, Kolben, ...)
- Verdichtungsart (z. B. ölgeschmiert, ölfrei)
- Stufenzahl
- Kühlung (Luft/Wasser)
- Reglungsart (z. B. Drehzahl, Aussetzbetrieb, Drall-, Saugdrossel)
- Grund-/Teil-Spitzenlast
- Nennleistung [kW]
- Baujahr (auch Installationsjahr in Klammer!)
- Druck [bar]
- Max. Liefermenge [m³/min] bei Druck [XX barü]
- Max. Lastleistungsaufnahme [kW]
- Leerlaufleistungsaufnahme [kW]
- Druckband: Ein [bar] Aus [bar]
- Volllaststunden
- Teillaststunden
- Gesamtlaufzeit (Volllast und Teillast)
- Druckverlust durch Luftaufbereitung
- Leckagemessung
- Betriebsdruck am Verbraucher (Fließdruck)
- Erforderlicher Druck (Datenblätter der Werkzeuge und Verbraucher)
- Zustand Netz
- Druckluft für Reinigung, Kühlung, Zerstäubung?
- Blasanwendung vorhanden
- Vakuum-Ejektoren vorhanden
- Wartung Filterelemente (Pneumatischen Anlagen)
- Laufzeiten von Anlagen

Mögliche Quellen für das Erheben dieser Daten sind Datenblätter für Druckluftverbraucher (Anlagen und Druckluftwerkzeuge), Beschreibungen der Kompressoren, Wartungshefte, eigene Messung bei Betriebsstillstand und im Betrieb.

11 Angebote und Tools

Um Betriebe bei der Optimierung häufig genutzter Technologien zu unterstützen, wurden im Programm **klimaaktiv** Energieeffiziente Betriebe weitere **Leitfäden** zu folgenden Querschnittstechnologien erstellt:

- Optimierung der Abwärmenutzung
- Optimierung von Pumpensystemen
- Optimierung von Ventilatoren und Lüftungssystemen
- Optimierung von Dampfsystemen
- Optimierung von Kältesystemen
- Optimierung von Beleuchtungssystemen
- Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen
- Messleitfaden II zur Messtechnik
- Optimierung der Wärmeverteilung und Hydraulik
- Technische Isolierung

Energiemanagement und Benchmarking

Ein EMS beinhaltet die Umsetzung technischer, strategischer und organisatorischer Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. Wie ein Energiemanagementsystem nach der ISO 50001 Schritt für Schritt im Unternehmen verankert wird und wie die Anforderungen der Norm ISO 50001:2018 erfüllt werden, ist auf der **klimaaktiv** Website [energiemanagement.at](https://www.klimaaktiv.at/energiemanagement) beschrieben. Machen Sie den Erstbewertungscheck, um das Ausgangsniveau zur Einführung des EMS festzustellen.

Good Practice Beispiele von Betrieben zum Nachweis der energiebezogenen Leistung sowie Energie-, Material- und Ressourceneffizienz und Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001 finden Sie zusammengefasst in drei **Guidelines** auf [klimaaktiv.at/energiemanagement-betriebe](https://www.klimaaktiv.at/energiemanagement-betriebe).

- Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001
- Energieeffizienz und Synergien zur Materialeffizienz und zum Arbeitnehmerschutz
- Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung

Weiters bietet klima**aktiv** Schulungen und Webinare, in denen Grundlagen und Lösungen zur Optimierung betrieblicher Systeme vermittelt werden. Aktuelle Termine finden Sie auf klimaaktiv.at/betriebe-schulungen oder im Energieeffiziente Betriebe Newsletter. Sie können sich unter klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung anmelden.

ProTool

Das klima**aktiv** ProTool ist ein Tool, das für eine umfassende Erstanalyse der Energieeffizienz im Betrieb eingesetzt werden kann und ermöglicht rasch Einsparpotenziale zu identifizieren.

Pinch Tool

Die Pinch-Analyse ermöglicht eine rasche und unkomplizierte Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Dieses Werkzeug erleichtert es, ein Wärmetauschernetzwerk basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung zu kreieren und zu bewerten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kostenüberblick über Wärmetauscher für Druckluftkompressoren.....	31
Tabelle 2: Einsparmaßnahmen in pneumatischen Anlagen.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick.....	7
--	---

Über klimaaktiv

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at

Das klimaaktiv Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter klimaaktiv.at/effizienz

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klimaaktiv

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abt. VII/3 – Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

eebetriebe@energyagency.at

klimaaktiv.at/effizienz

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)