



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

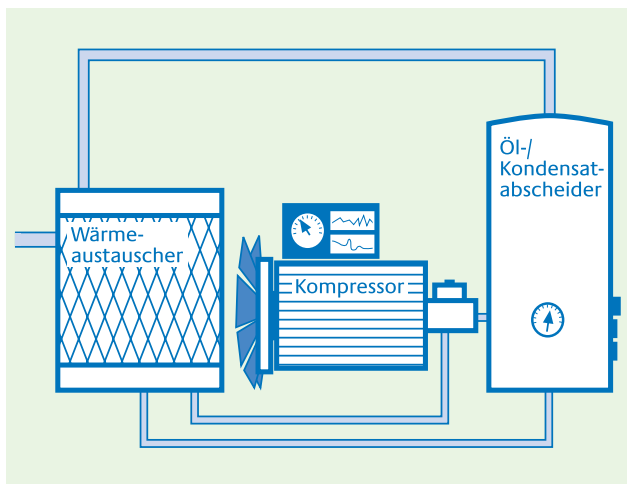
Infoblätter Druckluftsysteme: Erzeugung von Druckluft für Industrie und Gewerbe.

Wie wird die Umgebungsluft zum hochwertigen Energieträger? +
Auslegung von Druckluftherzeugungsanlagen + Verdichterbauarten.

Wie wird die Umgebungsluft zum hochwertigen Energieträger?

Obwohl der Rohstoff Luft den Unternehmen unbegrenzt und kostenlos zur Verfügung steht, schlägt das Medium Druckluft mit Kosten von etwa 1,5 bis 3 Cent pro Kubikmeter zu Buche. Die vielfältigen Vorteile, die Druckluftantriebe und -werkzeuge bieten, wiegen diese relativ hohen Kosten auf. Trotzdem lohnt es sich, die Prozesskette zwischen Ansaugtrichter und Werkzeug, welche diese Kosten verursacht, anzuschauen und nach Optimierungsmöglichkeiten zu suchen.

Abb. 1: Druckluftherzeugungseinheit



Der Weg der Druckluft lässt sich grob in drei Schritte unterteilen: Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung, wobei sich die ersten beiden teilweise überschneiden. Die wesentlichen Komponenten einer Druckluftherzeugungsanlage sind der Verdichter (Kompressor) und sein Antrieb. Hinzu kommen Kühl- und Schmiervorrichtungen, Öl- und Wasserabscheider, Ansaugluftfilter sowie Mess- und Regelvorrichtungen. Die Anlagenkomponenten werden oft als Gesamtsystem auf einem Rahmen vormontiert und sind eingehaust.

An die Erzeugung schließen sich weitere Aufbereitungsschritte an, die im Infoblatt „Aufbereitung von Druckluft und Kondensat“ beschrieben werden. Druckluftherzeugung und Aufbereitung sind oft in einem speziellen Kompressorraum untergebracht, der auch Vorkehrungen zur Luftzufuhr und zum Wärmeabtransport enthält. Letztere sind detaillierter im Infoblatt „Wärmeanfall und Energierückgewinnung“ beschrieben. Eng verknüpft mit der Erzeugungskapazität und daher nach Möglichkeit in die Auslegung mit einzubeziehen ist der Druckluftspeicher. Hinweise zur Dimensionierung des Druckluftspeicher finden sich im Infoblatt „Druckluftverteilung“.

Auslegung von Druckluftherzeugungsanlagen.

Eine sorgfältige Planung minimiert die Systemkosten.

Für den wirtschaftlichen Einsatz von Druckluft sind die folgenden Punkte besonders wichtig:

- Optimale Anpassung an den tatsächlichen Bedarf
- Aufeinander abgestimmte Systemkomponenten
- Sorgfältige Wartung

Der tatsächliche Bedarf umfasst sowohl die benötigte Druckluftmenge inklusive aller nicht vermeidbaren Verluste, als auch das richtige Druckniveau. Es sollte nur der kurz- und mittelfristige Bedarf berücksichtigt werden, nicht aber langfristige Planungen. Da die laufenden Kosten bis zu 80 Prozent der Lebenszykluskosten einer Druckluftanlage ausmachen, fallen etwaige Umbaumaßnahmen finanziell viel weniger ins Gewicht als die Kosten, die durch den Betrieb einer Anlage verursacht werden, die nicht in ihrem Bestpunkt genutzt wird.

Weiterhin wird der Bedarf durch die benötigte Druckluftqualität klassifiziert, wie z. B. Feuchtigkeit, Ölgehalt, Partikel, etc. Diese Thematik wird jedoch nicht hier, sondern im Infoblatt Aufbereitung der Druckluft besprochen.

Der Bedarf ist keine fixe Größe.

Die Ermittlung des Luftbedarfs kann mitunter eine schwierige Aufgabe sein. Er hängt zunächst vom Luftverbrauch der einzelnen Werkzeuge und ihren Einschaltzeiten ab. Hinzu kommen Leckagen, die zwischen 5 und 50 Prozent des Gesamtluftverbrauchs ausmachen können. Sowohl die Leckraten als auch der Verbrauch an den Abnahmestellen hängt stark vom Druck ab. Neben dem durchschnittlichen Verbrauch ist für die Auslegung des Kompressors auch die erforderliche Spitzenlast relevant. Diese ergibt sich aus der Anlagendynamik und hängt von den Gleichzeitigkeitsfaktoren der Abnahmestellen und der Speicherkapazität ab.

Aufgrund der vielen Einflussgrößen kann der tatsächliche Bedarf nur durch Gesamtsystembetrachtungen für die verschiedenen Auslegungsalternativen von entsprechenden Fachleuten ermittelt werden. Etwas leichter ist es, wenn eine bestehende Anlage umgebaut wird, da man in diesem Fall Messungen vornehmen und auf Erfahrungswerte zurückgreifen kann. Aber auch hier gibt es meistens verschiedene Investitionsalternativen, die zu verschiedenen Luftverbrauchswerten führen können. Vor der Umsetzung von Erweiterungsmaßnahmen sollte immer geprüft werden, wie zunächst Verluste reduziert werden können.

Der Druck ist entscheidend.

Der Betriebsdruck ist der entscheidende Auslegungsfaktor. Er beeinflusst die

- Produktivitätskosten,
- Energiekosten,
- Anschaffungskosten

und aufgrund des vom Druck abhängigen Verschleißes auch die

- Instandhaltungskosten und
- Produktionsausfallkosten.

Wird einer für 6,3 bar ausgelegten Bohrmaschine lediglich ein Druck von 5,8 bar zur Verfügung gestellt, so kann sich die Bohrzeit um bis zu 60 Prozent erhöhen. Dies bedeutet im Umkehrschluss aber nicht, dass ein Betrieb oberhalb des Auslegungsdruckes entsprechend weitere Produktivitätssteigerungen brächte. Vielmehr steigt der Verschleiß rapide an, was zu erhöhten Instandhaltungskosten und bei entsprechender Schädigung des Werkzeuges auch zu erhöhten Produktivitätskosten führt. Wird eine Maschine um 0,5 bar über dem Auslegungsdruck betrieben, so erhöht sich ihr Luftverbrauch um etwa 10 Prozent. Dies hat nicht nur entsprechend höhere Energiekosten zur Folge, sondern aufgrund erhöhter Kompressorlaufzeiten und Leistungsanforderungen eine proportionale Steigerung nahezu aller mit der Druckluftherzeugung verbundenen Kostenarten.

Das Gesamtsystem birgt den Weg zum Optimum.

Ähnlich wie für das einzelne Werkzeug betrachtet stellen sich auch die Auswirkungen von Drucksteigerungen bzw. -absenkungen in Bezug auf die Gesamtanlage dar. Eine Reduzierung des Erzeugungsdruckes um 1 bar senkt die Energiekosten um ca. 9 Prozent. Die Leckagemenge sinkt bereits bei einem halben Bar Druckabsenkung um 7 Prozent. Auch die Wartungskosten lassen sich durch eine Druckabsenkung entscheidend senken.

Verdichterbauarten.

Die Auswahl ist groß aber nicht beliebig.

Für die Komprimierung der Luft steht eine Vielzahl verschiedener Verdichter zur Verfügung. Jede Bauart hat ihre Daseinsberechtigung und bestimmte Anwendungsfälle, für die sie besonders gut geeignet ist. Es lässt sich daher keine generelle Aussage darüber treffen, welcher Verdichter für die Druckluftherzeugung am besten ist. Dies bedeutet aber bei Weitem nicht, dass es gleichgültig wäre, welcher Verdichter gewählt wird. Unterschiedliche Verdichterbauarten und -ausführungen können erhebliche Unterschiede in den mit ihnen verbundenen Kosten haben.

Da meist über die Hälfte und bei hohen Auslastungsgraden sogar über 80 Prozent der Kosten im Betrieb anfallen, gilt ein besonderes Augenmerk den Energiekosten, Instandhaltungskosten sowie der Verfügbarkeit und damit den Produktionsausfallkosten. Oft erst nachrangig fließen die Anschaffungskosten und Installationskosten in die Gesamtsystem-Lebenszykluskosten ein.

Während es aufgrund damit verbundener, steigender Produktivitätskosten sicherlich keinen Sinn macht, häufig benutzte Werkzeuge unterhalb ihres Auslegungsdruckes zu betreiben, kann dies für nur sporadisch oder kurzzeitig genutzte Werkzeuge durchaus akzeptabel sein, wenn sich dadurch der Druck der Gesamtanlage absenken lässt. Solche Entscheidungen können nur anhand einer umfassenden Lebenszykluskosten-Analyse getroffen werden. Verallgemeinernd lässt sich jedoch sagen, dass es mit Sicherheit unwirtschaftlich ist, den Gesamt-Anlagendruck durch einige wenige Werkzeuge mit erhöhtem Druckbedarf bestimmen zu lassen.

Unterschiedliche Druckanforderungen können durch bestimmte Maßnahmen bei der Planung des Verteilungsnetzes kompensiert werden, wie z.B. eine Anordnung von druckintensiven Maschinen weiter vorne im Netz oder dezentrale Druckerhöhungsanlagen für Arbeitsplätze, an denen kurzzeitig ein höherer Druck benötigt wird. Hier zeigt sich einmal mehr, dass eine systematische Vorgehensweise und eine Gesamtsystembetrachtung bei der Planung eines so wichtigen Betriebsmittels wie einer Druckluftanlage unumgänglich sind.

Auch wenn der Bedarf in Form von Volumenstrom und Druck der Ausgangspunkt für die Systemplanung ist, so ist er doch nicht der einzige Einflussfaktor auf die Lebenszykluskosten. Ebenfalls entscheidend ist die Planung von

- Speicherkapazitäten,
- Redundanzen,
- Aufstellung und Verteilung.

Kompressoren unterscheiden sich in Wirkprinzip, Stufenzahl sowie Kühlung und Schmierung.

Grundsätzlich lassen sich die Kompressoren nach ihrem Verdichtungsprinzip in zwei Klassen unterteilen, nämlich in Strömungs- und in Verdrängermaschinen.

Typische Strömungsmaschinen sind Turbokompressoren, wie z.B. Axial- und Radialkompressoren. Sie übertragen ihre Energie durch rotierende Laufräder auf das Gas. Strömungsmaschinen zeichnen sich durch einen kontinuierlichen Luftstrom aus, der bei steigendem Gegendruck abnimmt.

Verdrängermaschinen sind z.B. Hubkolbenkompressoren oder Schraubenkompressoren. Sie arbeiten ähnlich wie Verdrängerpumpen, in denen das eingeschlossene Flüssigkeitsvolumen mechanisch verdrängt und in eine Umgebung mit höherem Druckniveau ausgeschoben wird. Im Gegensatz zu inkompressiblen Flüssigkeiten wird jedoch das Gas dabei komprimiert.

Cpr

Cic

Cin

Ce

Cm

Cs

Cenv

Ce

Cm

Cs

Cic

Cin

Kompressoren nach dem Verdrängerprinzip zeichnen sich dadurch aus, dass der Luftstrom weitgehend unabhängig vom Gegendruck ist und nur durch die Frequenz ihres Antriebs beeinflusst wird. Sie lassen sich noch einmal unterteilen in oszillierende Kompressoren, wie z.B. Hubkolben- oder Membranverdichter und rotierende, wie Schrauben- oder Drehkolbenkompressoren.

Abb. 2: Verdichterbauarten

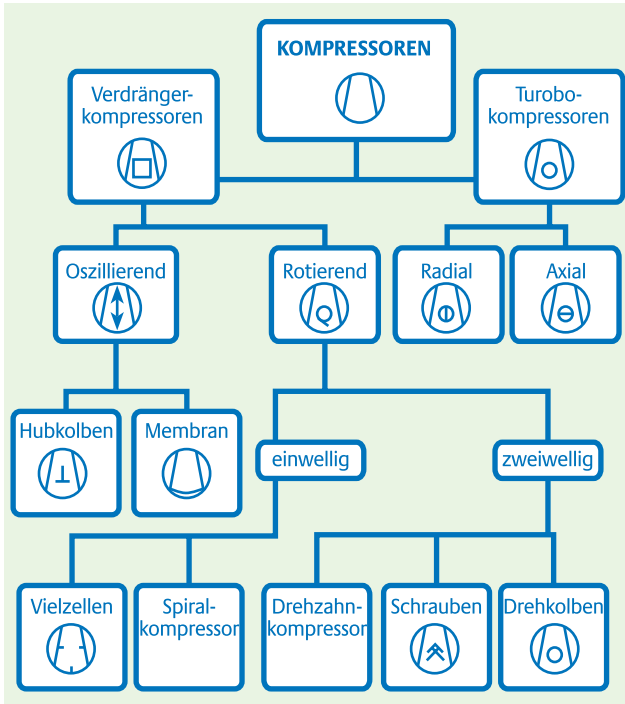
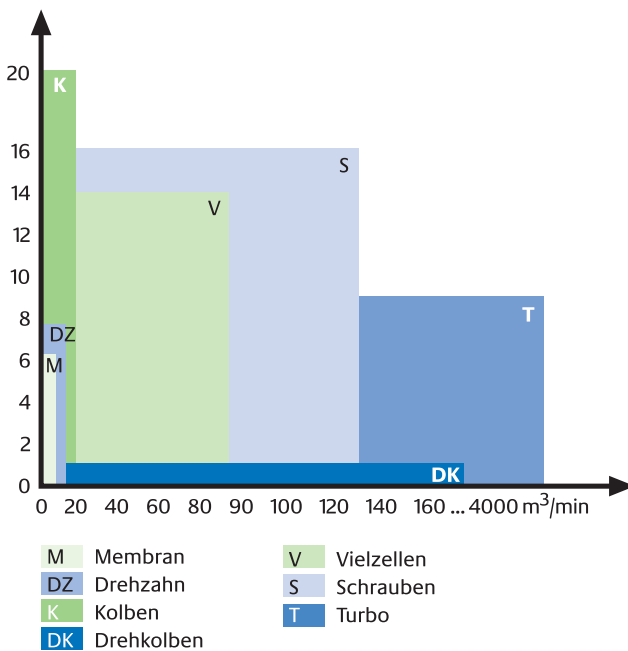
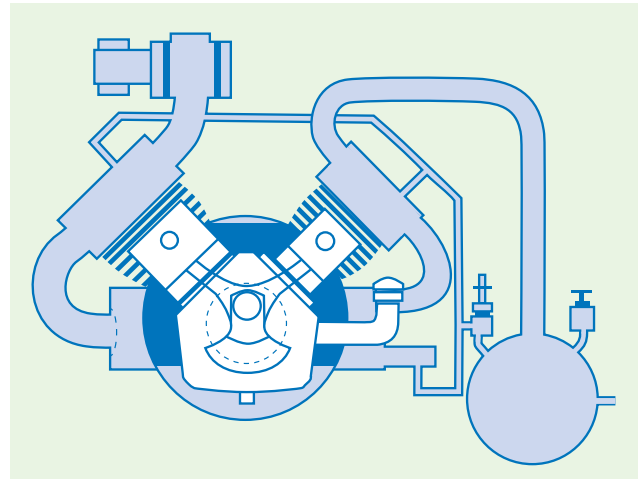


Abb. 3: Anwendungsfelder der verschiedenen Verdichterbauarten



Kompressoren einer Bauart unterscheiden sich auch noch dadurch, ob sie ein- oder mehrstufig ausgeführt sind, mit oder ohne Zwischenkühlung arbeiten, Schmiermittel eingespritzt wird oder sie schmiermittelfrei bzw. schmiermittelfrei arbeiten. Von diesen Konstruktionsvarianten hängt auch ab, welche Peripheriegeräte mit zur Kompressorstation gehören.

Abb. 4: Kolbenkompressor



Kolbenkompressoren.

Kolbenkompressoren arbeiten nach demselben Prinzip wie Fahrradpumpen. Der Kolben saugt während des Abwärtshubs Luft aus der Atmosphäre und schiebt diese beim Aufwärtshub auf die Druckseite des Kompressors. Ein Saug- und ein Druckventil regeln dabei die Flussrichtung. Für hohe Volumenströme werden Kolbenkompressoren mehrzylindrisch und für hohe Drücke mehrstufig ausgeführt. Typische Einsatzfelder sind Anlagen, bei denen nur kleine Volumenströme bei hohen Drücken gebraucht werden.

Doppelt wirkende Kolbenkompressoren haben zwei Kammern. Sie saugen und komprimieren parallel bei jeder Hubrichtung. Mehrstufig und wassergekühlt werden sie in großen Anlagen eingesetzt und gehören zu den effizientesten Verdichtern überhaupt. Allerdings sind sie relativ laut und die Anschaffungskosten sind hoch.

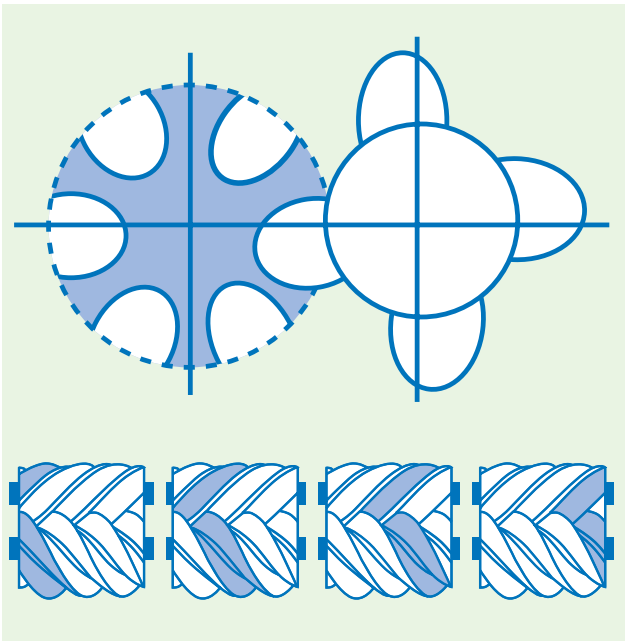
Schraubenkompressoren.

Schraubenkompressoren schieben die Luft zwischen zwei parallelen Drehkolben entlang ihres „Gewindes“, wobei der zur Verfügung stehende Raum nach und nach verringert wird. Zur Schmierung und zum Wärmeabtransport wird oft Öl in die Luft eingespritzt. Solche einspritzgekühlten Schraubenkompressoren verdichten einstufig bis auf 15 bar und zweistufig bis auf 20 bar Höchstdruck.

Bei ölfrei verdichtenden Schraubenkompressoren sind die beiden Läufer spielfrei gelagert und werden durch ein außerhalb des Kompressionsraums angebrachtes Synchrongetriebe angetrieben, damit sie sich nicht berühren. Sie arbeiten einstufig bis 3 bar und zweistufig mit Zwischenkühlung bis 10,5 bar.

Ce
Cic
Cenv

Abb. 5: Schraubenkompressor



Schraubenkompressoren sind sehr weit verbreitet und für eine Vielzahl unterschiedlicher Druck- und Volumenstromstufen erhältlich. Sie zeichnen sich durch geringe Anschaffungskosten, geringe Wartungskosten und aufgrund ihrer geringen Größe und niedrigen Gewichts auch durch verhältnismäßig geringe Installationskosten aus.

Cic

Cm

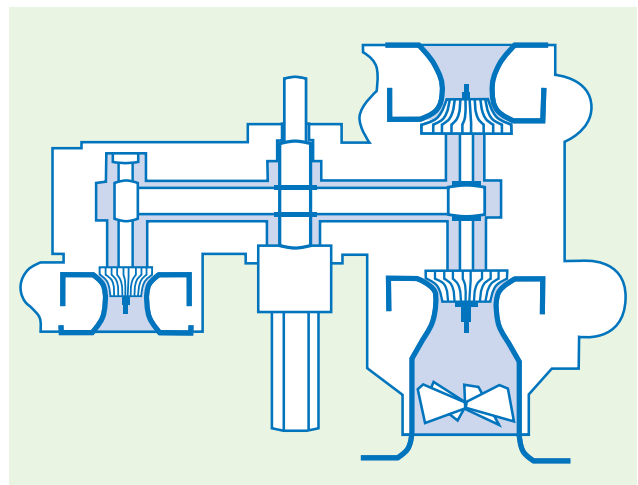
Cin

Turbokompressoren.

Turbokompressoren verdichten die Luft, indem sie zunächst über schnell drehende Laufräder kinetische Energie übertragen, die dann in den Statorn durch Strömungsumlenkung in statischen Druck umgewandelt wird. Es gibt unterschiedliche Laufradformen. Bei Radialläufern wird der Luftstrom in radialer Richtung beschleunigt, bei Axialläufern in axialer Richtung. Dazwischen gibt es auch Mischformen.

Die Laufradbauform entscheidet über das Verhältnis von Volumenstrom zum Gegendruck. Radialkompressoren passen sich steigendem Gegendruck sehr stark durch eine Reduzierung des Volumenstroms an. Sie sind die häufiger anzutreffende Form der Turboverdichter. Üblich sind 2- bis 4-stufige Kompressoren mit einer Wasserkühlung zwischen jeder Stufe, sowie einem Nachkühler und Kondenswasserabscheider. Radialkompressoren können ein sehr weites Feld von Drücken und Volumenströmen abdecken. Sie werden tendenziell eher bei größeren Förderströmen eingesetzt, als Kompressoren nach dem Verdrängerprinzip. Axiale Verdichter kommen nur bei sehr großen Luftströmen zum Einsatz, wo sie besonders effizient arbeiten.

Abb. 6: Turbokompressor



Turbokompressoren arbeiten schmiermittelfrei. Da es sich um sehr schnell drehende Maschinen handelt, ist eine sorgfältige Überwachung und fachgerechte Instandhaltung wichtig. Laufräder sollten nur von geschultem Personal ausgetauscht werden. Eine Vibrationsüberwachung auf den Wellen ist empfehlenswert.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Fast alle Branchen des produzierenden oder weiterverarbeitenden Gewerbes setzen Druckluft für die verschiedensten Anwendungen ein. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen.

Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern und vielen weiteren Angeboten einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.druckluft-energieeffizienz.de.

Neben der Druckluftnutzung bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen.

Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Druckluft hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten

Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert. Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Motor Challenge Programme.



Das „Motor Challenge Programme“ (MCP) ist ein Projekt der Europäischen Kommission mit dem Ziel, Industrieunternehmen zu motivieren, den energetischen Wirkungsgrad ihrer elektromotorisch betriebenen Systeme zu verbessern und so dem durch Treibhausgasemissionen verursachten Klimawandel entgegenzuwirken. Druckluftsysteme stellen wegen ihrer weiten Verbreitung einen Schwerpunktbereich des MCP dar. Am „Motor Challenge Programme“ kann jedes Unternehmen – unabhängig von der Branchenzugehörigkeit – teilnehmen, das im Einklang mit den Zielen des MCP die Energieeffizienz seiner elektromotorischen Anwendungen steigern und damit Verbrauch und Kosten senken will. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) ist nationale Kontaktstelle für dieses Programm. Wenn Sie als Partner oder Unterstützer daran teilnehmen möchten, nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf. Nähere Informationen zum MCP finden Sie auf unserer Internetseite unter: www.druckluft-energieeffizienz.de/motorchallenge.

Impressum:

Informationsblätter
Druckluftsysteme

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:

Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699
E-Mail: info@dena.de

Internet:

www.druckluft-energieeffizienz.de
www.dena.de