

INITIATIVE  
**EnergieEffizienz**<sup>+</sup>  
Industrie & Gewerbe

# Infoblätter Druckluftsysteme: Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen.

---

Was kostet Druckluft? + Die Elemente der Lebenszykluskosten-Analyse +  
Das Rechenverfahren.

---



## Was kostet Druckluft?

Druckluft ist ein teurer Energieträger. Und das, obwohl der Rohstoff Luft allen Unternehmen kostenlos und in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht. Die Kosten entstehen nicht bei der Beschaffung der Luft, sondern auf dem Weg zur Anwendung. Obwohl diese Tatsache allen Unternehmen, die mit Druckluft arbeiten, qualitativ bekannt ist, wird nur selten systematisch untersucht, wie hoch diese Kosten tatsächlich sind, wie sie zustande kommen und wie sie sich reduzieren lassen.

Früher beschränkten sich die betriebswirtschaftlichen Überlegungen oft auf die Frage, ob und in welcher Menge Druckluft für den Betrieb benötigt wird und wie eine Anlage, die diese Leistung bereitstellen kann, am günstigsten zu beschaffen wäre. Mit steigenden Energiepreisen kam ein Bewusstsein dafür hinzu, dass der Energieverbrauch von Druckluftanlagen auch einen erheblichen Kostenfaktor darstellt. In jüngerer Zeit fällt das Augenmerk verstärkt auch auf die Instandhaltungskosten. Tatsächlich gibt es aber noch viel mehr Kostenarten, die durch die Nutzung von Druckluft beeinflusst werden.

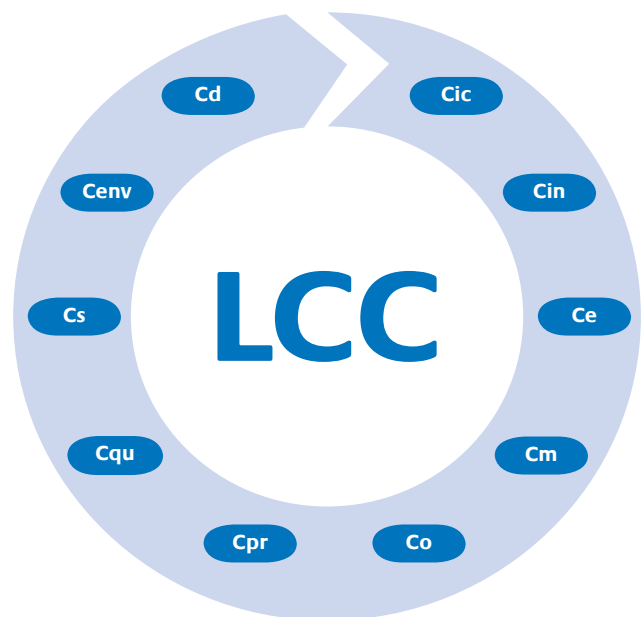
Maßnahmen, die an einer Stelle Kosten reduzieren, führen oft an anderer Stelle zu einer Kostenerhöhung. Durch eine Fokussierung auf lediglich ein oder zwei Kostenarten wird man daher nur in seltenen Fällen das betriebswirtschaftliche Optimum finden. Wenn ein Druckluftsystem optimiert werden oder bei einem Neubau die Entscheidung für ein kostenoptimales Druckluftsystem getroffen werden soll, ist es sinnvoll, Entscheidungsmethoden zu verwenden, die alle Kostenarten berücksichtigen. Die Lebenszykluskosten-Analyse (englisch: Life Cycle Costing, LCC) ist eine solche betriebswirtschaftliche Entscheidungsmethode.

### Die Lebenszykluskosten-Analyse ermittelt Gesamtkosten.

Bei einer Lebenszykluskosten-Analyse werden alle direkt oder indirekt durch eine Investitionsentscheidung beeinflussten Kosten über die gesamte Lebensdauer der Anlage zusammengerechnet. Beispiele sind die Gesamtenergiekosten, die durch die Anlage verursacht werden oder die Kosten von Produktionsausfällen, die auf den betrachteten Anlagenteil bzw. die Umbaumaßnahme zurückzuführen sind. Es werden also Gesamtkosten berechnet und keine jährlichen oder auf den Kubikmeter Luft oder sonst ein anderes Maß bezogenen Kosten. Die Lebenszykluskostenanalyse wurde als Hilfsmittel zur Bewertung verschiedener Anlagenalternativen und nicht zur Erfassung laufender Kosten entworfen.

Aus den für eine Lebenszykluskosten-Analyse erfassten Daten könnten mit leichten methodischen Änderungen selbstverständlich auch spezifische Kosten ermitteln werden. Auch wenn die Zuordnung der spezifischen Kosten zu einzelnen Arbeitsschritten und Produktionseinheiten ein weiteres wichtiges Mittel für die betriebswirtschaftliche Optimierung ist, soll diese hier zwar erwähnt, aber nicht weiter vertieft werden. In diesem und den anderen in dieser Serie erschienenen Infoblättern geht es, wenn nichts anderes gesagt wird, bei den Lebenszykluskosten immer um die Bewertung von Anlagen und Maßnahmen.

Abb. 1: **Lebenszykluskosten**



Eine Verknüpfung mit den Produktionskosten findet in der hier vorgeschlagenen Methodik wie folgt statt: Die Auswirkungen, die eine Maßnahme auf die Produktivität des Prozesses hat, in welchem die Druckluft eingesetzt wird, werden als Kosten bzw. Kostenminderungen zu den Lebenszykluskosten des Druckluftsystems hinzugezählt. Das Gleiche gilt für die Auswirkungen auf die erzielbaren Erlöse der hergestellten Güter. Dies geschieht über die weiter unten vorgestellten Produktivitäts- und Qualitätskosten. Beide Kostenarten werden wie alle anderen auch über den Gesamtzeitraum betrachtet und nicht auf einzelne Güter bezogen.

# Die Elemente der Lebenszykluskosten-Analyse.

Im Folgenden wird ein Satz von Kostengruppen vorgeschlagen, der für die Analyse von Druckluftsystemen geeignet ist. In den zu dieser Serie gehörenden Infoblättern sind die Textstellen, die Hinweise auf Einflussfaktoren für die einzelnen Kostengruppen enthalten, durch ein blaues „Dragee“ mit dem Kürzel der jeweiligen Kostengruppe am Seitenrand markiert.

Cic

## **Die Anschaffungs- bzw. Investitionskosten** (invested capital).

Zu den Investitions- bzw. Anschaffungskosten werden vor allem die Kosten gezählt, die vor der Inbetriebnahme des Systems anfallen. Diese umfassen die Einkaufskosten für die einzelnen Komponenten und möglicherweise eine Erstausrüstung an Ersatzteilen. Dazu kommen noch die Planungskosten, die Kosten des Einkaufsprozesses und eventuell notwendige Qualifizierungsmaßnahmen für das Personal. Gegebenenfalls müssen noch die Anschaffungskosten für Hilfsdienste sowie Überwachungs- und Prozessleittechnik hinzugerechnet werden. Die Grenzen sollten hier pragmatisch so gezogen werden, dass nur die Faktoren hinzugezählt werden, die bei den zu vergleichenden Alternativen tatsächlich variieren. Wichtig ist aber, dass die Systematik in allen Fällen gleich bleibt. Eine detailliertere Aufschlüsselung der Anschaffungskosten findet sich im VDMA-Einheitsblatt 34160 „Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen“.

Cin

## **Die Installationskosten** (installation).

Zu den Installationskosten zählen die Kosten für die Montage und Inbetriebnahme der Gesamtanlage bzw. der auszutauschenden Komponenten in einer bestehenden Anlage. Wenn für die Installation Fremdleistungen hinzugezogen werden, ist besonders darauf zu achten, dass für die verschiedenen Alternativen die Vergleichsbasis übereinstimmt. Der Umfang der externen und internen Leistungen sollte bei den zu vergleichenden Alternativen gleich angesetzt werden, es sei denn technische Details machen bei einer Anlage eine Fremdinstallation notwendig, während das bei der Auslegungsalternative nicht der Fall ist. Wenn in einem Fall eine Fremdfirma installiert und im anderen Fall nicht, muss ein sinnvoller Stundensatz für die Eigenleistungen gewählt werden oder abgeschätzt werden, was eine entsprechende Fremdinstallation kosten würde, damit die Lebenszykluskostenanalyse nicht verfälscht wird. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Installations- und Inbetriebnahmekosten für Maschinen und Anlagen im Allgemeinen findet sich im VDMA-Einheitsblatt 34160 „Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen“.

## **Die Energiekosten** (energy).

Die Energiekosten sind neben den Instandhaltungskosten der größte Ausgabenposten, der durch ein Druckluftsystem verursacht wird. Die direkten Energiekosten sind das Produkt aus dem Energieverbrauch und dem Energiepreis zuzüglich der fixen Leistungskosten. Der Energieverbrauch hängt vom benötigten Druckniveau, den Druckluftmengen und dem Wirkungsgrad des Gesamtsystems ab.

Die indirekten Energiekosten sind die Folgekosten des Energieeintrags in die Umgebung, z.B. zusätzlicher Kühlungsbedarf. Als negative Kosten (Erlöse) wird der Wert zurückgewonnener Abwärme gutgeschrieben.

## **Die Instandhaltungskosten** (maintenance).

Zu den Instandhaltungskosten gehören die normalen Wartungsarbeiten, wie das Reinigen und Schmieren, die geplante vorbeugende Instandhaltung und die korrektive Instandsetzung bei Anlagendefekten. Die Kosten für die Wartung und eine intervallabhängige vorbeugende Instandhaltung sind das Produkt von Instandhaltungsfrequenz und der Summe aus Material- und Personalaufwand pro Instandhaltung. Wenn es unterschiedliche Wartungsprozeduren wie Routinewartung und Generalrevision gibt, empfiehlt es sich, diese Kosten getrennt zu berechnen.

Die Kosten für eine zustandsabhängige oder für eine korrektive Instandhaltung ergeben sich analog aus dem Produkt von Schadenshäufigkeit und der Summe aus Material- und Personalaufwand. Bei der zustandsabhängigen Instandhaltung sind gegebenenfalls die Überwachungs- respektive Inspektionskosten hinzuzurechnen, sofern diese nicht in anderen Kostenblöcken, wie z.B. den Bedienungskosten erfasst sind. Bei der korrekativen Instandsetzung ist zu bedenken, ob bei den Personalkosten zu einem gewissen Anteil Sonntags- und Nachtarbeitszuschläge hinzugerechnet werden müssen. Die Reparaturdauer wird üblicherweise nur in Bezug auf die Personalkosten berücksichtigt. Der Produktionsausfall kommt nur dann hinzu, wenn er nicht in einem eigenen Kostenblock veranschlagt wird.

Ce

Cm





#### Cm

Die Schadenshäufigkeit muss abgeschätzt werden. Sie ist in manchen Fällen als statistischer Wert MTBF (Mean time between failures = Durchschnittlicher Ausfallabstand) für die einzelnen Komponenten vom Hersteller erhältlich. Allerdings beruhen diese Werte auf Testbedingungen. Die tatsächliche Schadenshäufigkeit hängt sehr stark von den realen Bedingungen ab. Da sie nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann, ist es sinnvoll, Szenarien für den günstigsten und den schlechtesten Fall zu berechnen.

Eine höhere Voraussagesicherheit hat man, wenn aus dem Anlagenbetrieb bereits Erfahrungen mit der Schadenshäufigkeit vorliegen, die als Referenz für eine Optimierung der Instandhaltungsstrategie, Verbesserungsmaßnahmen oder die Installation eines Überwachungssystems genutzt werden können.

Detailliertere Aufschlüsselungen der Kostenelemente finden sich in der VDI-Richtlinie 2885 „Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten“ und im VDMA-Einheitsblatt 34160 „Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen“.

#### Co

##### **Die Bedienungskosten (operation).**

Zu den Bedienungskosten zählen die Personalkosten für den normalen, ungestörten Betrieb. Wird die Anlage über ein zentrales Prozessleitsystem mitgesteuert, sind hier die entsprechenden Kostenanteile hinzuzurechnen. Teilweise ist die Trennung zwischen Bedienungs- und Instandhaltungskosten unscharf, da Inspektionen sowohl dem normalen Betrieb als auch der Instandhaltung zugerechnet werden können. Unter Umständen können die beiden Kostenarten zusammengefasst werden.

##### **Die Produktivitätskosten (productivity).**

Wie bereits oben erwähnt, werden in der hier vorgestellten Methodik auch die Auswirkungen von Veränderungen an der Anlage auf den Produktionsprozess mitberücksichtigt. So geht eine Absenkung des Druckes unter den Auslegungsdruck eines angeschlossenen Werkzeuges meistens zu Lasten der Produktivität des entsprechenden Arbeitsplatzes. Als Produktivitätskosten können in diesem Fall entweder die Verringerung der Erlöse angesetzt werden oder aber die Kosten von Maßnahmen um die Produktivitätseinbuße auszugleichen, bzw. die alte Produktivität wieder herzustellen.

##### **Die Qualitätskosten (quality).**

Qualitätskosten sind sowohl die Kosten von Qualitätseinbußen als auch die Kosten für die Qualitätssicherung. Schwankungen im Anlagendruck oder auch Verunreinigungen in der Druckluft können z.B. zu Wertminderungen der hergestellten Produkte führen. Die entgangenen Erlöse wären in diesem Fall als Qualitätskosten anzusetzen. In anderen Fällen werden im nachgeschalteten Prozess zusätzliche Vorkehrungen, wie z.B. Messgeräte zur Qualitätssicherung nötig. Dies sind gleichermaßen Qualitätskosten. Ebenfalls relevant sind die Kosten von Qualitätsmanagementsystemen. Hier können unterschiedliche Anlagen oder unterschiedlich gestaltete Anlagendokumentationen erhebliche Kostenunterschiede verursachen.

#### Cpr

#### Cqu



Cs

#### Die Produktionsausfall- bzw. Stillstandskosten (standstill).

Beim Ausfall der Druckluftversorgung stehen alle mit Druckluft betriebenen Maschinen still. Die dadurch entgangenen Erlöse sind als Kosten zu bewerten. Die Ausfallkosten von ungeplanten Ausfällen ergeben sich aus dem Produkt von Schadenshäufigkeit, Reparaturdauer und dem Produktionswert pro Zeiteinheit.

In manchen Fällen müssen Vertragsstrafen für Lieferausfälle hinzugerechnet werden. Bei Instandhaltungen in ohnehin produktionsfreien Zeiten sind selbstverständlich keine Ausfallkosten zu berechnen.

## Das Rechenverfahren.

Als Lebenszykluskosten wird der Gegenwartswert (Kapitalwert KW bzw. Barwert BW, englisch Net Present Value, NPV) aller aufsummierten Kosten bezeichnet. Um diesen aus Zahlungen, die in der Zukunft liegen, zu ermitteln, muss ein Diskontierungsfaktor, also ein fiktiver Zinssatz, festgelegt werden.

#### Mit dem Barwertfaktor lässt sich der Gegenwartswert einer zukünftigen Zahlung bestimmen.

Eine einmalige Zahlung wird mit dem Barwertfaktor BW auf den Gegenwartswert umgerechnet.

$$BW = (1 + \text{Zinssatz})^{-t}$$

t ist der Zeitpunkt, in dem die Zahlung anfällt. Dabei hat der Zeitpunkt, an dem das erste Geld gezahlt oder bereitgestellt wird, den Wert 0. Werden Reparaturkosten z.B. im fünften Jahr nach

Produktionsausfallkosten können bei mangelnder Vorsorge leicht zum größten Posten in den Lebenszykluskosten avancieren. Aus diesem Grund wird einer hohen Verfügbarkeit von vielen Betreibern allerhöchste Priorität eingeräumt. Moderne Systeme weisen durch eingebaute Redundanzen und Notfallprogramme eine hohe Verfügbarkeit auf. Angesichts der möglicherweise hohen akuten Kosten sollten diese dennoch selbst bei geringer Ausfallwahrscheinlichkeit pro rata temporis mitberücksichtigt werden. Definitionen der relevanten Größen finden sich in der VDI-Richtlinie 3423 „Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen“.

#### Die Umweltkosten (environment).

Unter den Umweltkosten werden sinnvollerweise die Kosten zusammengefasst, die durch die Anforderungen an den Umwelt- und Arbeitsschutz bestimmt werden. Dazu zählen die Entsorgungskosten von Kondensat, Hilfsstoffen und auszutauschenden Bauteilen. Fällt bei einem industriellen Prozess die Druckluftversorgung für die Ventilsteuerung aus, kann es sein, dass größere Mengen nicht mehr brauchbarer Produkte entsorgt werden müssen. Beim Einsatz gefährlicher Stoffe in der Produktion müssen zusätzlich die Kosten eines größeren Unfalls mit Umweltauswirkungen, multipliziert mit der Eintretenswahrscheinlichkeit während der Lebensdauer, hinzugezählt werden. Mögliche Gesundheitsfolgekosten von Unfällen bzw. der Nutzung von Druckluftwerkzeugen können ebenfalls den Umweltkosten zugeordnet werden, insofern dafür keine eigene Kostengruppe existiert. Auch die Kosten von Lärmschutzmaßnahmen können zu dieser Kostengruppe gezählt werden.

Cenv

#### Die Außerbetriebnahmekosten (decommissioning).

Zu den Außerbetriebnahmekosten zählen die Kosten für die Demontage der Anlage, Entsorgung der ausgedienten Teile und gegebenenfalls die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands. Bei Druckluftanlagen ist diese Kostengröße nur selten relevant. Da sie relativ lange in Betrieb sind und dann durch eine neue Anlage ersetzt werden, fallen keine großen Kosten für den Rückbau an.

Cd

der Anschaffung fällig, ist  $t=5$ . Analog könnte auch mit Monaten gerechnet werden. Dann müsste ein monatlicher Zinssatz verwendet werden.

Der Barwert ist das Produkt aus Barwertfaktor und Zahlung.

#### Mit dem Rentenbarwertfaktor lässt sich der Gegenwartswert einer Zahlungsreihe bestimmen.

Eine periodisch anfallende Zahlung, z.B. jährliche Energiekosten, wird mit dem Rentenbarwertfaktor RBW auf einen Gegenwartswert umgerechnet.

$$RBW = \frac{(1 + \text{Zinssatz})^T - 1}{i * (1 + \text{Zinssatz})^T}$$

T ist die Lebensdauer der Anlage.

Der Barwert der Zahlungsreihe ist das Produkt aus Rentenbarwertfaktor und dem Nominalbetrag einer Zahlung.

Sowohl für den Barwert- als auch für den Rentenbarwertfaktor existieren Tabellen, in denen diese für verschiedene Laufzeiten und Zinssätze abgelesen werden können. Entsprechende Tabellen können auch leicht mit den oben beschriebenen Formeln in Tabellenkalkulationsprogrammen selbst erstellt werden. Bei Verwendung der vordefinierten Formeln in diesen Programmen sollte genau geprüft werden, was eigentlich berechnet wird, da die Nomenklatur mitunter nicht einheitlich ist.

**Die Lebenszykluskosten (LZK bzw. englisch LCC) sind die Summe alle Barwerte, also:**

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_m + C_o + C_{pr} + C_{qu} + C_s + C_{env} + C_d$$

In vielen Fällen müssen gar nicht die gesamten Lebenszykluskosten der Anlage ausgerechnet werden, sondern nur die Änderung die sich z. B. aus einer Umbaumaßnahme ergibt, oder die Differenz der Lebenszykluskosten einer Investitionsalternative zu einer anderen, welche als Kalkulationsbasis verwendet wird.

**Die differentiellen Lebenszykluskosten sind:**

$\Delta LCC$  = Lebenszykluskosten der untersuchten Option  
minus Lebenszykluskosten der Referenz:

$$\Delta LCC = (C_{ic} - C_{ic_{ref}}) + (C_{in} - C_{in_{ref}}) + (C_e - C_{e_{ref}}) + (C_m - C_{m_{ref}}) + (C_o - C_{o_{ref}}) + (C_{pr} - C_{pr_{ref}}) + (C_{qu} - C_{qu_{ref}}) + (C_s - C_{s_{ref}}) + (C_{env} - C_{env_{ref}}) - (C_d - C_{d_{ref}})$$

Als Referenzfall kann entweder eine Basisplanung genutzt werden, die noch optimiert werden soll oder auch die bereits bestehende Anlage (Option: Nicht-Investition). Betrachtet man eine Maßnahme, die beispielsweise die Instandhaltungskosten senkt und ansonsten außer Anschaffungskosten keine weiteren Kosten verursacht, so müssen auch nur die beiden genannten Kostenarten ermittelt werden.

Tab.1: **Rentenbarwertfaktor (RBW).**

Lebensdauer in Jahren	Zins p.a.		
	4%	6%	8%
1	0,9615	0,9434	0,9259
2	1,8861	1,8334	1,7833
3	2,7751	2,6730	2,5771
4	3,6299	3,4651	3,3121
5	4,4518	4,2124	3,9927
6	5,2421	4,9173	4,6229
7	6,0021	5,5824	5,2064
8	6,7317	6,2098	5,7466
9	7,4353	6,8017	6,2469
10	8,1109	7,3601	6,7101
11	8,7605	7,8869	7,1390
12	9,3851	8,3838	7,5361
13	9,9856	8,8527	7,9038
14	10,5631	9,2950	8,2442
15	11,1184	9,7122	8,5595

Alle anderen Kostenarten subtrahieren sich zu null. Es ist nicht einmal nötig, die absoluten Kosten zu kennen. So könnte es sein, dass zwar die Änderung der Instandhaltungskosten durch eine Verbesserungsmaßnahme recht genau prognostiziert werden kann, die absoluten Instandhaltungskosten jedoch auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen nicht sicher abzuschätzen sind. In diesem Fall genügt es den Differenzwert zu verwenden. Die Kostenarten Produktivitäts- und Qualitätskosten lassen sich fast immer nur sinnvoll als differenzielle Größen rechnen.

Bei mehreren Verbesserungsoptionen ist diejenige am besten, die die höchste Lebenszykluskostenminderung erzielt.

**Das Ergebnis der Lebenszykluskostenanalyse ist eine Investitionsentscheidung, nämlich für die Option mit den geringsten Lebenszykluskosten (LCC) bzw. der höchsten Lebenszykluskostenminderung ( $\Delta LCC$ ).**

## Rechenbeispiel:

Eine Anlage verursacht zum gegenwärtigen Zeitpunkt jährliche Energiekosten von 10.000 Euro. Es wird davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch gleich bleibt, aber der Strompreis um 3 Prozent pro Jahr steigt. Das Unternehmen kalkuliert mit einer Kapitalverzinsung von 7 Prozent pro Jahr. Der Zinssatz für

die Diskontierung ergibt sich aus der Differenz aus Kapitalverzinsung und Energiepreissteigerung zu 4 Prozent. Bei einer Lebensdauer von zwölf Jahren ist der Rentenbarwertfaktor 9,3851. Der Barwert der Energiekosten ergibt sich als Produkt von Rentenbarwertfaktor und jährlicher Zahlung zu 93.851 Euro.

# 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](http://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](http://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

**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](mailto:info@dena.de)

**Internet:**  
[www.druckluft-energieeffizienz.de](http://www.druckluft-energieeffizienz.de)  
[www.dena.de](http://www.dena.de)