



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

## Infoblätter Lufttechnik: Regelungstechnik.

---

Steuern und Regeln in lufttechnischen Anlagen +  
Anlagen- und Ventilator Kennlinien + Regelung  
der Luftleistung.

---

# Steuern und Regeln in lufttechnischen Anlagen.

Die Regelung hat bei lufttechnischen Anlagen einen entscheidenden Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Bei den wenigsten Anwendungen ist die benötigte Leistung konstant. Zumeist muss nur während weniger Betriebsstunden die Auslegungsleistung bereitgestellt werden. Die Einflussgrößen auf den Leistungsbedarf variieren mit den unterschiedlichen Einsatzgebieten. Es kann sich dabei um Raumtemperaturen, Schadstoffkonzentrationen, Kältebedarf, Windlasten, Raum und Anlagenauslastungen, Staubanfall, Feuerungsleistung und Luftüberschusszahl von Öfen, Materialdurchsatz in Trocknungsanlagen und vieles mehr handeln.

Eine kostenoptimale Fahrweise und Anlagenauslastung ist nur mit einer Kombination aus übergeordneten Steuerungen und gut eingestellten Reglern zu erreichen. Steuerungen und Leitsysteme entscheiden zum Beispiel, welche Ventilatoren eingeschaltet werden, ob und wann von erzwungener auf freie Lüftung umgeschaltet werden kann oder wann aufgrund bestimmter Störgrößen die Lüftungsanlagen zeitweilig verriegelt werden. Regelungen sorgen dafür, dass die vorgegebenen Volumenströme, Drücke, Raumtemperaturen, Schadstoffgrenzwerte, Feuchtigkeitswerte, etc. eingehalten werden. Dabei kann es in manchen Fällen vorteilhaft sein, immer so nah wie möglich am Sollwert zu bleiben, in

anderen Fällen jedoch eher so selten wie möglich zu schalten. In letzterem Fall wird zugelassen, dass sich die Regelgröße zwischen einem vorgegebenen Schlechtpunkt (Einschaltzeitpunkt) und einem Ausschaltzeitpunkt hin- und her bewegt. Die Differenz zwischen Führungsgröße und Regelgröße ist dann deutlicher wahrnehmbar.

Die mit lufttechnischen Anlagen verbundenen Regelgrößen sind zu vielfältig, als dass alle möglichen und sinnvollen Lösungen hier umfassend beschrieben werden könnten. Hinweise zur Regelung von Kälteleistungen, die auch für Klimaanlage relevant sind, finden sich in den Infoblättern Kältetechnik der *Initiative EnergieEffizienz*. (Download im Internet unter [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de) > Kältetechnik.) Im vorliegenden Dokument werden Möglichkeiten zur Beeinflussung der zentralen lufttechnischen Regelgröße, nämlich der Förderleistung, respektive Volumenstrom und Förderdruck, erläutert. In vielen Fällen wird die Förderleistung als Stellgröße für andere, übergeordnete Regelungen verwendet. Wenn z.B. eine Feuchtigkeit geregelt werden soll, wird diese gemessen und der Ist-Wert mit dem Sollwert verglichen. Ist die Feuchtigkeit zu hoch, wird die Ventilatorleistung gesteigert, ist die Feuchtigkeit zu niedrig, wird die Ventilatorleistung gedrosselt.

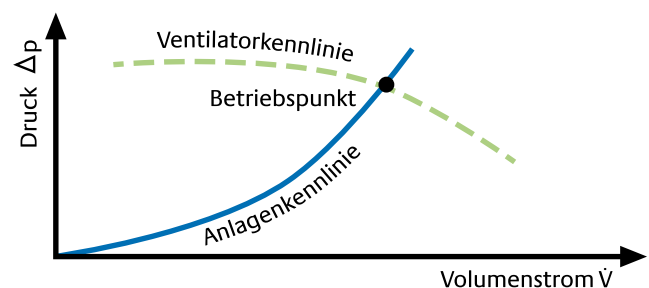
## Anlagen- und Ventilator Kennlinien.

Um Ventilatorleistungsregelungen zu verstehen, muss man wissen, wie sich der Betriebspunkt der lufttechnischen Anlage ergibt. Unter dem Betriebspunkt versteht man das Wertepaar aus Förderdruck und Förderstrom, bei dem die Anlage arbeitet. Der Betriebspunkt lässt sich als Schnittpunkt von zwei Kennlinien in einem Ventilator diagramm ermitteln.

Die lufttechnische Anlage besteht aus einem Kanalnetz, Einbauten, dem Ventilator sowie Räumen aus denen Luft angesaugt und Räumen in die diese gefördert wird. Sie hat - im einfachsten Fall - eine charakteristische Kennlinie, die besagt, welcher Druckverlust bei welchem Förderstrom entsteht. In der Praxis sind es meistens viele verschiedene Kennlinien für unterschiedliche Ventil- und Klappenstellungen sowie der Beladung von Filtern, etc.

Alle Ventilatoren wiederum haben Kennlinien, die besagen, bei welchem Gegendruck sie welchen Volumenstrom fördern. Der Betriebspunkt ergibt sich aus dem Schnittpunkt von Anlagen- und Ventilator Kennlinie. Ändert sich beispielsweise die Anlagen Kennlinie durch äußere Störgrößen oder das Umschalten von Klappen im Kanalnetz, verschiebt sich der Betriebspunkt. Nun kann es die Aufgabe der Regelung sein, entweder die Anlagen Kennlinie oder die Ventilator Kennlinie so zu verändern, dass der Betriebspunkt wieder an die vorgesehene Stelle zurückkehrt. In anderen Fällen wird durch eine übergeordnete Steuerung oder Regelung vorgegeben, dass sich der Betriebspunkt verschieben soll, z. B. indem der Förderstrom steigt. Auch dies kann entweder durch eine Änderung der Anlagen- oder der Ventilator Kennlinie geschehen. Möglichkeiten, wie man die Anlagen- und Ventilator Kennlinien beeinflussen kann, werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

Abb. 1: Anlagen und Ventilator Kennlinie



Die Anlagenkennlinien stellen in der Realität meistens eine Kombination aus drei idealisierten Zuständen dar:

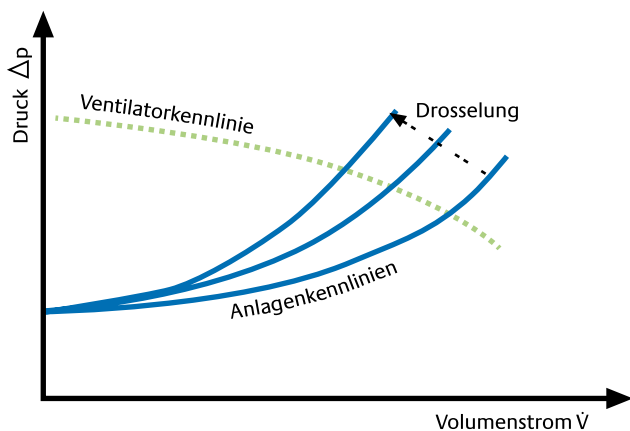
- Anlagen, bei denen der Ventilatorgegendruck quadratisch mit dem Förderstrom steigt. Dies sind lange Kanalnetze bei denen die Luft von einem Raum in einen anderen mit gleichem statischem Druck transportiert wird.
- Anlagen, bei denen der Gegendruck konstant ist. Dies sind Anlagen mit sehr kurzen Kanälen, die in einen Raum oder Behälter fördern, in denen ein konstanter Überdruck herrscht. Das ist z.B. bei Reinräumen mit Druckvorhaltung der Fall.
- Anlagen, in denen Druck und Volumenstrom völlig unabhängig von einander variieren können. Dies ist z.B. bei einem Türventilator der Fall, der variierenden Windlasten ausgesetzt ist.

Die Antwort auf die Frage, welche Regelung am besten ist, hängt einerseits von der Form und Veränderlichkeit der Anlagenkennlinie und andererseits vom Typ des Ventilators ab. Generell gilt aber, dass es in den meisten Fällen besser ist, den Ventilator der Anlage als umgekehrt die Anlage dem Ventilator anzupassen.

## Regelung der Luftleistung.

Im Folgenden werden zwei Möglichkeiten zur Leistungsregelung durch Veränderung der Anlagenkennlinie (Drossel- und Bypassregelung) sowie drei Optionen zur Veränderung der Ventilator-kennlinie (Drall-, Drehzahl- und Laufschaufelregelung) beschrieben.

Abb. 2: **Drosselregelung**



### **Drosselregelung.**

Bei einer Drosselregelung wird durch einen verstellbaren Widerstand in der Rohrleitung (Drosselklappe) der Strömungsdruckverlust künstlich erhöht. Dadurch wird die Anlagenkennlinie steiler und der Betriebspunkt wird in Richtung kleinerer Volumenströme verschoben. Die Leistungsaufnahme des Ventilators verringert sich dadurch kaum. Die nicht als Strömungsenergie gebrauchte Leistung wird in weniger wertvolle bzw. bei Kühlvorgängen sogar schädliche Wärmeenergie umgewandelt. Aus energetischer Sicht ist von dieser Art der Regelung abzuraten. Da eine Drosselregelung in der Anschaffung billiger ist als andere Regelvorrichtungen, ist sie dennoch in einigen Anlagen zu finden. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist dies nur in zwei Fällen zu rechtfertigen: Wenn der Volumenstrom nur selten und nur um weniger Prozent abgesenkt werden soll, oder wenn die Drosselventile zur Einzelregelung des Luftstroms für verschiedene Verbraucher genutzt werden und eine zusätzliche Regelung die Ventilatorleistung an den Gesamtluftbedarf anpasst.

### **Bypassregelung.**

Ein Bypass ist eine Umgehungsleitung, die von der Druckseite des Ventilators zurück zur Saugseite führt. Wird der Bypass geöffnet, strömt nur noch ein Teil der Luft an die Stelle, die eigentlich von der Lüftungsanlage versorgt wird, der Rest strömt auf die Saugseite zurück. Dadurch sinkt der effektive Förderstrom der Anlage. Gleichzeitig reduziert sich durch den Bypass die Gesamtdruck-erhöhung über den Ventilator. Je nach Ventilator-kennlinie kann der Ventilatorförderstrom dadurch so stark ansteigen, dass der Energieverbrauch sogar höher ist, als bei geschlossenem Bypass. Dieser Energieverbrauch führt wie bei der Drosselregelung zu einer Aufheizung des Luftstroms. Im Interesse geringer Betriebskosten ist von einer Bypassregelung abzuraten.

### **Drallregelung.**

Ein Drallregler ist ein Leitrad mit verstellbaren Schaufeln vor dem Ventilatoreintritt. Dadurch wird die Luft in eine Drehbewegung (Drall) versetzt. Dreht sich die Luft im gleichen Drehsinn wie das Laufrad (Gleichdrall), nimmt der Förderstrom des Ventilators ab. Durch einen Gegendrall lässt sich der Förderstrom sogar höher als der Nennförderstroms einstellen. Letzteres funktioniert in der Praxis allerdings nur bei Axialventilatoren gut. Daher werden bei Radialventilatoren Drallregler nur eingesetzt, um den Volumenstrom nach unten zu regeln. Für Trommelläufer ist eine Drallregelung nicht geeignet, da sie hier zu großen Wirkungsgradverlusten führen würde. Sie wird daher nur bei Axialventilatoren und Radialventilatoren mit rückwärts gekrümmten Laufschaufeln (Hochleistungsventilatoren) genutzt.

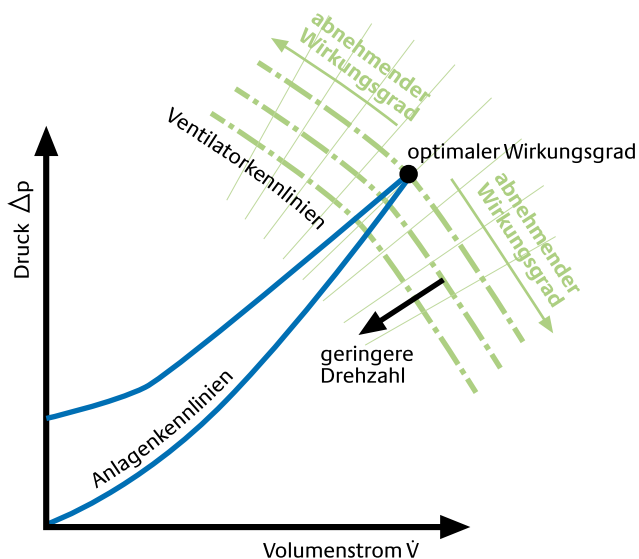
Der Drallregler bewirkt eine Verschiebung der Ventilator-kennlinie. Entsprechend stellt sich am neuen Schnittpunkt mit der Anlagenkennlinie ein neuer Betriebspunkt ein. Bei einer Drallregelung sinkt auch die Leistungsaufnahme des Motors. Diese Regelung ist daher gegenüber Drossel- und Bypassregelung zu bevorzugen. Der Wirkungsgradverlust bei geöffneten Schaufeln (voller Volumenstrom) liegt nur bei etwa 2-3 Prozent. Gesamtkostenvorteile hat ein einfacher Drallregler insbesondere dann, wenn er bei Anlagen eingesetzt wird, die häufig bei vollem bzw. geringfügig vermindertem Volumenstrom laufen und selten stark runtergeregelt werden.

Soll der Regelbereich erweitert werden, empfiehlt es sich, den Drallregler mit einem polumschaltbaren Motor zu kombinieren. Sobald der Volumenstrom durch den Drallregler auf etwa 60 Prozent heruntergeregelt wurde, wird der Motor auf halbe Drehzahl geschaltet und der Regler wieder fast vollständig geöffnet. Daraufhin kann der Volumenstrom durch Erhöhen des Dralls noch weiter reduziert werden.

### Drehzahlregelung.

Eine Reduzierung der Antriebsdrehzahl bewirkt eine Verschiebung der Ventilator Kennlinie nach unten. Entsprechend wandert auch der Schnittpunkt mit der Anlagenkennlinie. Handelt es sich um eine Anlage, bei der der Druck nur von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt, ist der Weg, auf dem sich der Betriebspunkt verschiebt, energetisch sehr vorteilhaft. Wenn die Anlage richtig ausgelegt wurde, wandert der Betriebspunkt auf der Linie des besten Wirkungsgrades. In diesem in der Praxis sehr häufig anzutreffendem Fall ist die Drehzahlregelung insbesondere für starke Volumenstromreduzierungen die beste Regelungsmöglichkeit. Wird nur selten oder nur geringfügig heruntergeregelt, macht sich negativ bemerkbar, dass die meisten Drehzahlregler bei Volllast einen nicht so guten Wirkungsgrad haben. Bei Anlagen mit Konstantdruckhaltung verschlechtert sich der Wirkungsgrad beim Regeln, da sich der Betriebspunkt quer zu der Linie des besten Wirkungsgrades bewegt. Für die meisten Anwendungen ist die Drehzahlregelung jedoch uneingeschränkt zu empfehlen.

Abb. 3: Drehzahlregelung



Zur stufenlosen Variation der Antriebsdrehzahl gibt es mehrere Möglichkeiten:

- transformatorische Drehzahlregelung
- elektronische Drehzahlregelung: Phasenschnittgerät (Thyristorsteller) oder Frequenzumrichter
- mechanische Drehzahlregelung
- Nebenschlussmotoren
- EC-Motoren

Daneben gibt es auch noch die Möglichkeit, die Drehzahl in mehreren Stufen zu schalten, z.B. durch einen polumschaltbaren Motor oder einen Stufentrafo. Diese diskontinuierlichen Varianten haben zwar in ihren jeweiligen Betriebspunkten sehr gute Wirkungsgrade, bieten aber für die meisten Regelaufgaben nicht genug Variationsmöglichkeiten.

Bei der transformatorischen Drehzahlregelung (Trafo-Spannungsregelung) wird die am Motor anliegende Spannung dadurch verändert, dass ein Schleifer durch einen Servomotor auf einem Ringkern bewegt wird. Eine solche Regelung wird allgemein nur für kleinere Leistungen verwendet und bedeutet zusätzlichen Instandhaltungsaufwand, da der Schleifer ein Verschleißteil ist. Vor Einsatz dieser Regelung muss geprüft werden, ob der Motor für eine Spannungsregelung geeignet ist.

Die elektronischen Regelvarianten werden in Verbindung mit Käfigläufer-Asynchronmotoren immer häufiger verwendet. Sie stellen eine robuste und komfortable Lösung dar und arbeiten insbesondere bei Anlagen mit einem weiten Regelbereich sehr energieeffizient.

Mechanische Regelungen sind weniger verbreitet. Sie arbeiten sehr energieeffizient, verursachen aber höhere Instandhaltungskosten als andere Regelungen. Angesichts der fallenden Preise für elektronische Regler werden die mechanischen Regler vermutlich weiter an Bedeutung verlieren.

Nebenschlussmotoren waren früher die gängigste Variante einer stufenlosen Drehzahlregelung. Sie können sehr energieeffizient sein. Leider wirken sich auch hier hohe Instandhaltungskosten negativ aus, da die eingebauten Schleifringläufer Verschleißteile sind.

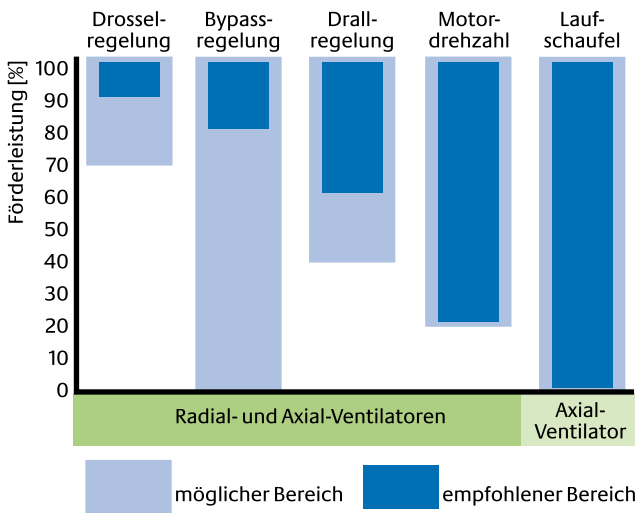
Eine aus Sicht der Betriebskosten optimale Lösung stellen EC-Motoren dar. Sie arbeiten auf Basis der Technologie von Gleichstrommotoren, jedoch ohne Verschleißteile und mit einer integrierten Elektronik, die die Spannungsumschaltung und damit die Drehzahl steuert. EC-Motoren sind hocheffizient und wartungsarm. Die Anschaffungskosten liegen höher als die von Asynchronmotoren gleicher Leistung. Zur Zeit werden EC-Motoren nur für kleinere Leistungen gebaut.

### Laufschaufelregelung bei Axialventilatoren.

Bei einer Laufschaufelregelung werden die umlaufenden Schaufeln am Laufrad während des Betriebs kontinuierlich verstellt. Abgesehen von mit Trafos geregelten Kleinventilatoren ist dies eine der häufigsten Regelungsarten bei Axialventilatoren. Bei Radialventilatoren ist diese Regelungsart nicht anwendbar. Die Schaufeln kleinerer Ventilatoren werden überwiegend pneumatisch, die von sehr großen Ventilatoren hydraulisch verstellt. In einigen Fällen gibt es auch elektromechanische Verstellrichtungen.

Durch die Laufschaufelverstellung verändert sich die Ventilator-Kennlinie. Der Volumenstrom kann von hundert bis null Prozent geregelt werden. Der Wirkungsgrad dieser Regelung ist sehr gut. Durch eine Ölringschmierung sind die Instandhaltungskosten verhältnismäßig gering.

Abb. 4: **Regelbereiche**



**Empfehlungen und Vergleich der verschiedenen Regelungen.**

Alle Regelungen zeigen ein unterschiedliches Verhalten und verursachen unterschiedliche Kosten, je nach dem, mit welchem Ventilator typ sie verwendet werden. Die günstigste Lösung sollte daher im Einzelfall anhand einer Lebenszykluskostenanalyse ermittelt werden. Ohne dass dies in jedem Einzelfall gültig wäre, treffen für die meisten Anwendungsfälle die folgenden Verallgemeinerungen zu:

Drossel- und Bypassregelungen sind sehr ineffizient und sollten nur eingesetzt werden, wenn die Anlage fast immer auf Vollast laufen soll und nur selten der Volumenstrom reduziert wird. Drallregelungen eignen sich vor allem dann, wenn in erster Linie bei Vollast und im oberen Teillastbereich gefahren wird. Drehzahlre-

gelungen sind besonders wirtschaftlich, wenn die Anlage viel im mittleren Teillastbereich arbeitet. Laufschaufelregelungen sind nur bei Axialventilatoren einsetzbar und die beste Lösung, wenn ein sehr großer Regelbereich abgedeckt werden soll. Gegenüber der Drehzahlregelung sind sie dann im Vorteil, wenn sowohl lange bei Vollast als auch lange bei sehr niedriger Teillast gefahren wird.

Unter Lärmschutzgesichtspunkten sind Drossel-, Drall- und Bypassregelung wenig vorteilhaft. Mit einer Laufschaufelregelung lässt sich das Ventilatorgeräusch reduzieren und mit einer Drehzahlregelung reduzieren sich sowohl Ventilator- als auch Motorengeräusch. Die Instandhaltungskosten werden bei den heute üblichen Ausführungen durch keine der vorgenannten Regelungsarten übermäßig erhöht. Für den Einsatz in Klimaanlage ist die Drehzahlregelung unter den kontinuierlichen Volumenstromregelungen am vorteilhaftesten, da bei dieser der Wärmeeintrag in den Luftstrom am geringsten ist.

**Fazit:**

Die Maximalleistung von lufttechnischen Anlagen wird oft nur während einer kurzen Zeit gebraucht. Für die restliche Zeit reicht ein Teil der Leistung aus, um die bestimmungsgemäße Aufgabe zu erfüllen. Durch eine Regelung der Anlagenleistung auf den tatsächlichen Bedarf können in erheblichem Maße Betriebskosten gespart werden. Dies bezieht sich nicht nur auf die Förderung der Luft selbst, sondern auch auf die damit verbundene Aufbereitung, Übertragung von Wärme und Kälte etc. Es gibt verschiedene technische Lösungen zur Regelung der Luftleistung, die jeweils für bestimmte Ventilatoren und Lastprofile am besten geeignet sind. Generell ist eine Anpassung der Ventilatorleistung gegenüber der Regelung mit Drosselklappen und Bypässen zu bevorzugen.

**Tipps:**

- Erstellen Sie ein Lastprofil Ihrer Anlage und ermitteln Sie, ob der größere Teil des Energieverbrauchs insgesamt im Vollast- oder im Teillastbetrieb stattfindet.
- Prüfen Sie bei Anlagen, die überwiegend im Teillastbetrieb arbeiten, die Nachrüstung einer elektronischen Drehzahlregelung.
- Programmieren Sie in die Anlagensteuerung so viele Auszeiten wie möglich ein, z.B. durch Einbeziehung von freier Lüftung, Abschaltung der Lüftungsanlage außerhalb der Arbeitszeit, etc.
- Steuern und regeln Sie einzelne Bereiche mit unterschiedlicher Nutzung getrennt voneinander.

# Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Ohne lufttechnische Anlagen kommt in den Sektoren Industrie und Gewerbe kaum ein Unternehmen aus. Die Lufttechnik ist ein fester Bestandteil moderner Fertigungsstätten. 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 einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Lufttechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Lufttechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de).

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  
Lufttechnik

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