



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Druckluftsysteme: Wärmeanfall und Energierückgewinnung.

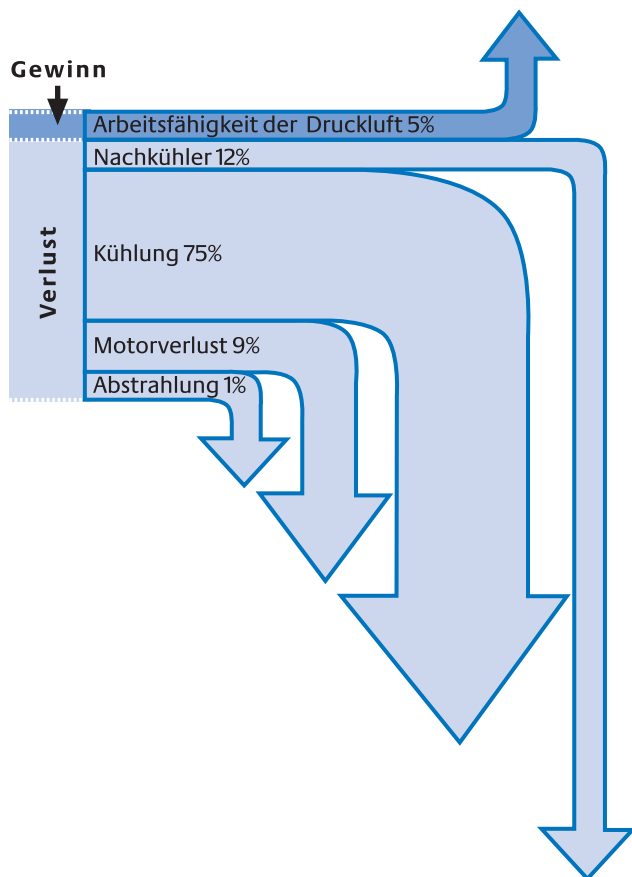
Wo bleibt die Energie, die in den Verdichter hinein gesteckt wird? +
Be- und Entlüftung + Luftkühlung + Wasserkühlung + Wärmerück-
gewinnung.

Wo bleibt die Energie, die in den Verdichter hinein gesteckt wird?

Druckluft ist normalerweise wenig energieeffizient.

Druckluft ist eine teure Energie, der Kubikmeter kostet etwa 1,5 bis 3 Cent. Bei Anlagen mit wenigen Betriebsstunden machen die Stromkosten nur etwa 20 Prozent der Betriebskosten aus, bei Anlagen, die rund um die Uhr laufen, können es bis zu 80 Prozent sein. Die vielen Kilowattstunden elektrischer Energie, die der Verdichter aufnimmt, entsprechen bei weitem nicht der Arbeitsleistung der Luft, die am Ende vom Kompressor geliefert wird. Der theoretische Wirkungsgrad eines Verdichters kann zwar bei bis zu 50 Prozent liegen. Über das ganze System von der Erzeugung bis zum Werkzeug wird aber meistens nur ein Gesamtwirkungsgrad von etwa fünf Prozent erreicht. In anderen Worten, nur ein zwanzigstel der eingesetzten, hochwertigen elektrischen Energie wird am Ende in nutzbare Arbeit umgewandelt. Ein solcher Wirkungsgrad wäre zum Beispiel bei der Stromerzeugung aus Brennstoffen nicht akzeptabel.

Abb. 1: **Energienutzen ohne Wärmerückgewinnung**



Produktivitätsvorteile kompensieren die hohen Energiekosten.

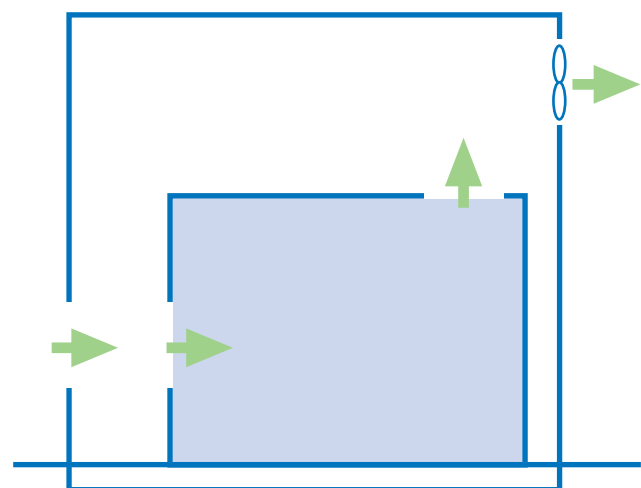
Der Grund, dass der Einsatz von Druckluft trotz der geringen Energieeffizienz in den überwiegenden Fällen wirtschaftlich ist, liegt in den zahlreichen Vorteilen der Druckluftanwendungen. Druckluftantriebe haben nicht nur geringere Anschaffungskosten als gleichwertige elektrische Antriebe. Sie sind vor allem auch robuster, schneller und haben eine höhere Energiedichte. Die so erzielbaren Produktivitätsgewinne wiegen die erhöhten Energiekosten auf. Die Begeisterung für die vielfältigen Möglichkeiten der

Druckluft sollte aber nicht den Blick dafür trüben, dass hier große Mengen Energie zum Schornstein, respektive Abluftkanal, hinaus geblasen werden – wenn keine Vorkehrungen dagegen getroffen werden. Allein ein 18,5 kW-Kompressor erzeugt so viel Wärme, dass man damit mühelos ein Einfamilienhaus beheizen könnte. Das ist nicht nur technisch möglich, sondern auch hochwirtschaftlich. Die zusätzlichen Aufwendungen für eine Wärmerückgewinnungsanlage in dieser Größenordnung amortisieren sich erfahrungsgemäß bereits innerhalb von zwei Jahren. Voraussetzung ist, dass diese korrekt geplant und ausgeführt wird und die Wärme an Ort und Stelle verwendet werden kann.

Die erzeugte Wärme muss vom Kompressor weg transportiert werden.

Die vom Verdichter erzeugte Wärmemenge ist so groß, dass sie zu einer Erhitzung der Umgebungsluft über die für den Kompressor zulässigen Bedingungen führt, wenn sie nicht abtransportiert wird. Diese Wärme – und das ist fast die gesamte Energie, die dem Kompressor aus dem elektrischen Leitungsnetz zugeführt wird – muss wieder abgeführt werden. Die zulässigen Temperaturen im Kompressorraum sind im VDMA-Einheitsblatt 4363 festgehalten. Sie liegen zwischen +5 °C und +40 °C. Ist die Temperatur zu niedrig, besteht die Gefahr des Einfrierens der Kompressor-Sicherheitsorgane. Ist die Temperatur zu hoch, kann es zum Problem der Überlastung von Bauteilen kommen.

Abb. 2: **Natürliche Be- und Entlüftung des Kompressorraums bei kleinen Antriebsleistungen**

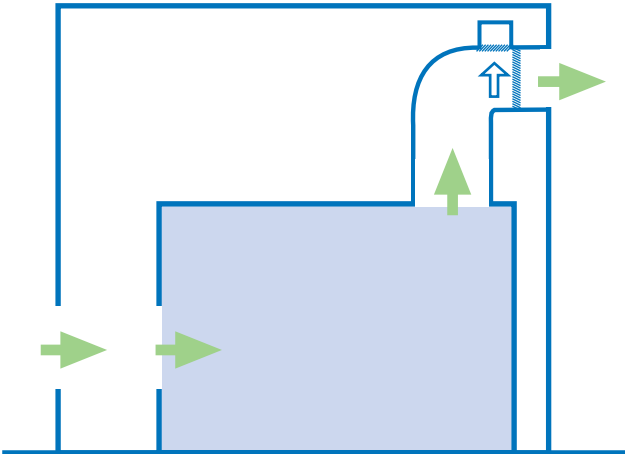


Eine Luftkühlung ist die einfachste Art der Wärmeabfuhr.

Die einfachste Art der Wärmeabfuhr geschieht mittels Kühlluft. Hierbei muss kalte Luft dem Kompressor zu- und die erwärmte Kühlluft vom Kompressor wieder abgeführt werden. Die Kühlluft kann jeweils durch freie Öffnungen zu- und wieder abgeführt werden. Reicht diese natürliche Be- und Entlüftung, die vorwiegend bei kleinen Kompressoren Anwendung findet, nicht aus, dann muss entweder die Zu- oder die Abluftführung durch einen Ventilator unterstützt werden. Reicht das auch noch nicht aus, sind Zu- und/oder Abluft über einen Kanal zu führen. Bei langen Kanälen ist zur Überbrückung von Druckverlusten im Kanal ein Zusatzventilator anzubringen. Besondere Steuerungen

lassen im Winter einen Mischluftbetrieb zu. Über eine Jalousieklappe wird dabei aus dem Kompressorraum warme Luft mit der von außen angesaugten kalten Luft vermischt. Das Zuführen von Kühlluft über Kanäle von außen ist auch dann zu bevorzugen, wenn im Kompressorraum selbst keine saubere Kühlluft zur Verfügung steht.

Abb. 3: **Kanalisierte Abluftführung bei größeren Kompressoren**



Große Kompressoren werden meist mit Wasser gekühlt.

Bei großen abzuführenden Wärmemengen, das heißt bei großen Kompressoren oder bei der Aufstellung mehrerer Kompressoren in einem Raum, ist es oft ein Problem, die erforderliche Kühlluftmenge bereitzustellen. Dann müssen die Maschinen mit Wasser gekühlt werden. Dieses setzt jedoch das Vorhandensein von Kühlwasserkreisläufen voraus. Frischwasser scheidet von vorn herein wegen der hohen Kosten aus. Kompressoren können problemlos an offene oder geschlossene Kühlwasserkreisläufe angeschlossen werden.

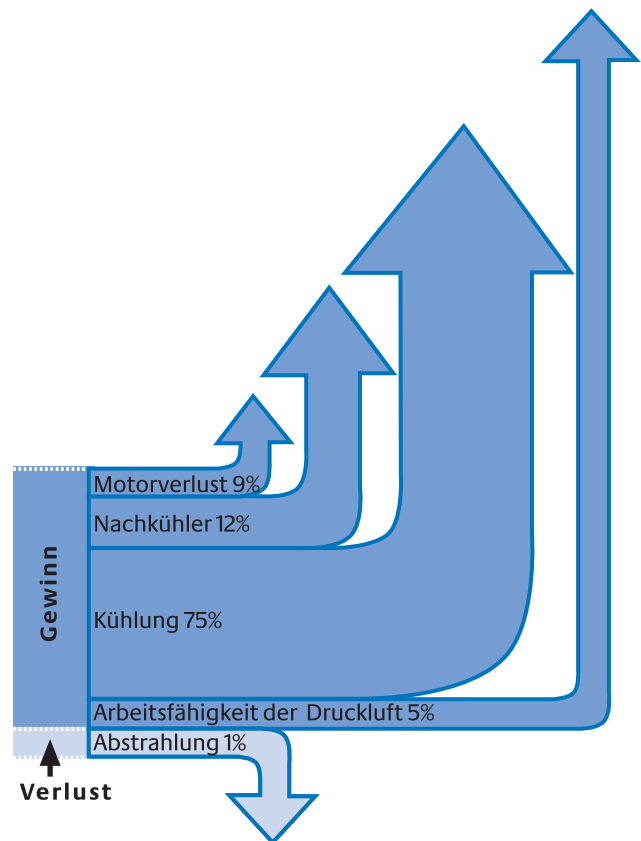
Bei der Entscheidung für eine Wasserkühlung muss sicher gestellt sein, dass der Kühler der Kompressoren auch für die Qualität des Kühlwassers ausgelegt ist. Aggressives Kühlwasser benötigt Kühler mit resistenten Materialien. Sowohl die Wassertemperatur als auch die Ausgestaltung und Sauberkeit des Kühlers können die Leistung und Effizienz der Drucklufterzeugungsanlage beeinflussen.

Ein weiterer Punkt wird gern vergessen: Trotz Wasserkühlung muss die im Kompressor von einzelnen Bauteilen abgestrahlte Wärme auch noch abgeführt werden. Dafür wird zusätzlich noch Kühlluft benötigt.

Eine Wärmerückgewinnung erhöht die Effizienz der Druckluftanlage.

Die Wärme aus der Druckluftverdichtung lässt sich zum Heizen und für weitere Prozesszwecke nutzen. Bis zu 90 Prozent der dem Kompressor zugeführten Energie kann als nutzbare Wärme zurückgewonnen werden. Lediglich für den Einbau der Rückgewinnungsanlage fallen Anschaffungs- und Installationskosten an. Nach etwa zwei Jahren haben sich diese amortisiert. Danach steht die Wärme, von geringfügigen Wartungskosten abgesehen, kostenlos zur Verfügung. Produktivitätseinschränkungen oder zusätzliche Stillstandskosten sind bei fachgerechter Planung und Auslegung keinesfalls zu befürchten. In der Lebenszykluskostenanalyse kann für die zurückgewonnene Wärme eine Gutschrift in Höhe der eingesparten Heiz- bzw. Prozesswärmekosten von den Energiekosten der Druckluftanlage abgezogen werden.

Abb. 4: **Energienutzen bei maximaler Wärmerückgewinnung**



Cic
Cin
Ce



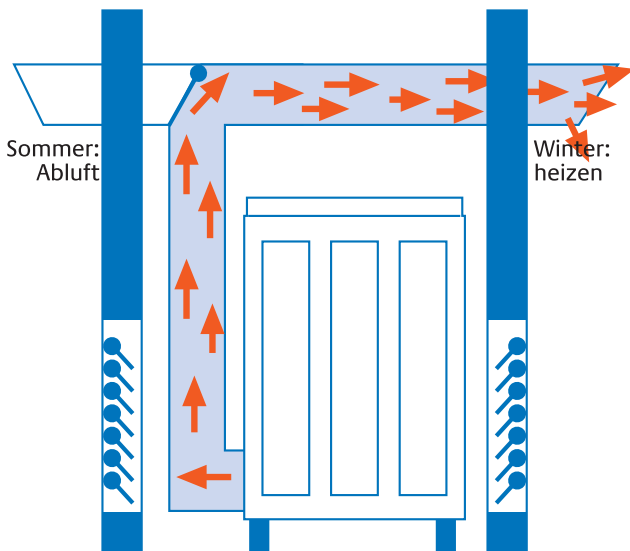
Eine eingesparte Kilowattstunde ist besser als eine zurückgewonnene.

Auch bei einer hundertprozentigen Wärmenutzung sollte dennoch nicht darauf verzichtet werden, nach Möglichkeiten zu suchen, den Druckluftverbrauch zu reduzieren bzw. den Druckluftwirkungsgrad zu erhöhen. Auf zehn eingesparte Kilowattstunden Strom fallen dann zwar bis zu neun Kilowattstunden Wärme weg, diese lassen sich aber wirtschaftlich durch die Gebäudeheizung ersetzen. Schließlich braucht die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom im Kraftwerk fast dreimal soviel Primärenergie, wie die Erzeugung einer Kilowattstunde Heizwärme und ist daher nicht nur mit entsprechend höheren Emissionen sondern auch mit höheren Kosten verbunden.

Die warme Abluft lässt sich direkt zum Heizen verwenden.

Die wirtschaftlichste Art der Wärmerückgewinnung ist die Ausnutzung der Verdichterwärme als Luftheizung. Voraussetzung hierfür ist ein luftgekühlter Kompressor, über den die Kühlluft gezielt hinweggeführt wird. Wirtschaftlich ist diese Art der Wärmerückgewinnung deshalb, weil alle Wärme, auch die abgestrahlte Wärme im Kompressor, ausgenutzt wird und der apparative Aufwand gering ist. Die erwärmte Kühlluft muss über ein Kanalsystem weitergeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass möglichst kurze Wege eingehalten werden. Erstens bedeuten lange Wege Druckverluste im Kanal, die wiederum nur durch einen Zusatzventilator zu kompensieren sind und zweitens treten bei langer Verweilzeit der Kühlluft im Kanal Wärmeverluste auf. Eine Alternative wären isolierte Kanäle, die aber auch höhere Investitionskosten bedeuten.

Abb. 5: Luftheizung



Kompressoren mit Öleinspritzung eignen sich zur Heizwassererwärmung.

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung führt das Öl ca. 72% der zugeführten elektrischen Energie in Form von Wärme ab. Diese Energie kann zurückgewonnen werden. Zur Wärmerückgewinnung wird das Öl über einen Wärmeaustauscher geführt, der Heizungswasser um 50 K bis zu 70 °C erwärmen kann. Der Wärmeaustauscher ist in der Regel ein Plattenwärmetauscher, der eine sehr hohe Wärmeausnutzung zulässt,

platzsparend untergebracht werden kann und eben diese hohen Wassertemperaturen ermöglicht.

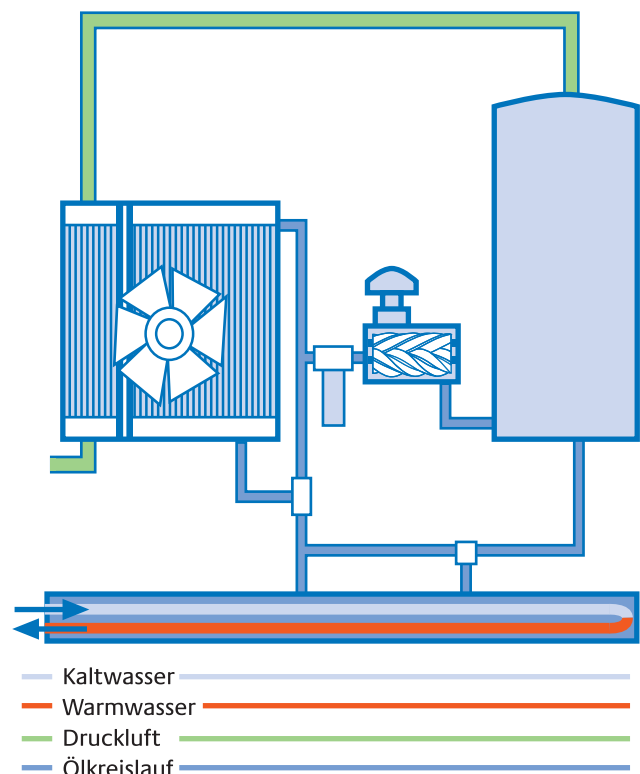
Zu beachten ist hierbei, dass natürlich nur dann Heizungswasser erwärmt wird, wenn der Kompressor im Lastbetrieb arbeitet. Da nicht immer Lastbetrieb ansteht und somit auch nicht immer warmes Wasser abgegeben wird, bedarf es entweder einer Zusatzheizung oder entsprechend dimensionierter Wärmespeicher.

Eine Brauchwassererwärmung erlaubt eine ganzjährige Ausnutzung der Abwärme.

Wird das heiße Kompressoröl zur Erwärmung von Brauchwasser eingesetzt, lässt sich ein deutlich höherer Rückgewinnungsgrad erzielen als bei der Heizwassererwärmung, da der Brauchwasserwärmebedarf über das Jahr in etwa konstant ist. Voraussetzung ist allerdings, dass derart hohe Wärmemengen im Brauchwasser benötigt werden. Ansonsten sind auch Mischsysteme möglich.

Beim direkten Einsatz des Öls zur Erwärmung des Wassers sind besondere Vorkehrungen zu treffen, damit kein Öl in den Wasserkreislauf gerät. Üblicherweise kommen Sicherheitswärmetauscher zum Einsatz. In diesen befindet sich zwischen der Öl- und der Wasserseite eine gut wärmeleitende Sperrflüssigkeit, deren Druck sich bei einem Öldurchbruch ändert. Über einen Druckschalter wird dann ein Signal zum Ausschalten des Systems gegeben. Aufgrund des zusätzlichen Wärmedurchgangswiderstandes ist die mögliche Temperaturspreizung etwas geringer als bei der Heizwassererwärmung im Plattenwärmetauscher. Das Brauchwasser kann um ca. 35 K auf ca. 55°C erwärmt werden.

Abb. 6: Brauchwassererwärmung eines öleingespritzten Kompressors



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

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