



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



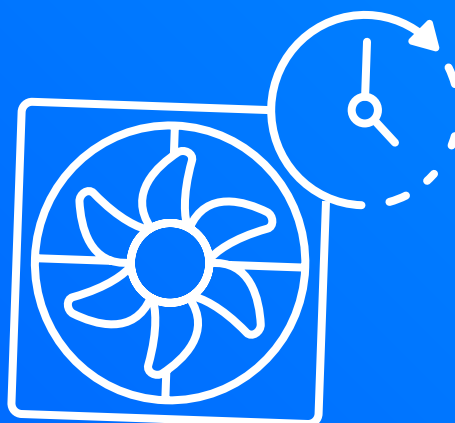
Initiative
Energieeffizienz- und
Klimaschutz-Netzwerke



80 MILLIONEN GEMEINSAM FÜR
ENERGIEWECHSEL

Kurzfristmaßnahmen für Energieeffizienz.

PRODUKTION UND PROZESSTECHNIKEN.





Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Optimierung der zeitlichen Steuereinheiten von Querschnittstechnologien

Kategorie der Maßnahme

Organisatorisch technisch-orientiert

Thema der Maßnahme

Querschnittstechnologien

Umsetzungszeitraum

sehr kurzfristig (< 4 Wochen)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Wenn es um die Optimierung des Energieverbrauchs von technischen Anlagen und Prozessen geht, werden klassische Querschnittstechnologien häufig als wenig relevant angesehen. Dabei besteht hier zumeist ein relativ einfach erschließbares Potenzial für Energieeinsparungen. Insbesondere die Betriebs- und Abschaltzeiten der Querschnittstechnologien lassen sich sehr schnell und ohne größere Investitionen optimieren.

Einordnung

Durch die Anpassung der zeitlichen Steuerung von Querschnittstechnologien wie Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren oder Beleuchtungsanlagen wird die Betriebszeit und damit der Energiebedarf optimiert. Anlagen werden gezielt in den Zeiträumen abgeschaltet, in denen sie nicht benötigt werden, zum Beispiel, wenn Produktionsprozesse ruhen oder Räume nicht genutzt werden. So wird Energie nur dann verbraucht, wenn es wirklich nötig ist.

Oft wird im betrieblichen Ablauf erst gehandelt, wenn Anforderungen nicht mehr ausreichend gedeckt werden, es also zum Beispiel zu gewissen Zeiten kein ausreichendes Druckluftniveau gibt. Die Auslegung und die zeitliche Bereitstellung der Querschnittstechnologien werden hingegen eher selten überprüft. Dies kann zu einem erheblichen unnötigen Energieaufwand durch Anlagenleerlauf führen. Ein Beispiel ist ein Kompressor, der zehn

Stunden am Tag 10 bar Druck bereitstellt, obwohl dieses Druckluftniveau im Laufe des Tages nur selten benötigt wird. Dies ist vor allem der Fall, wenn die Anforderungen aus den Produktionsprozessen sinken, zum Beispiel aufgrund von saisonalen Effekten. Bei der energieeffizienten Gestaltung von Arbeits- und Produktionsprozessen ist es deshalb wichtig, auch den Betrieb der Querschnittstechniken anzupassen.

Umsetzung

Um einen unnötigen Energieverbrauch im Bereich der Querschnittstechnologien zu identifizieren, empfiehlt sich eine Begehung der Betriebsbereiche. Wenn vorhanden, kann auch ein Anlagenkataster genutzt werden. Mitarbeitende aus den Bereichen Technik und Instandhaltung mit einem entsprechenden Überblickswissen können bei der Identifikation unterstützen.

Sind die Steuerzeiten der Anlagen und Geräte ermittelt, werden diese im nächsten Schritt mit dem tatsächlichen Bedarf der zugehörigen Betriebsbereiche abgeglichen. In diesem Prozess sollten die bekannten Anforderungen zudem kritisch hinterfragt werden. Beispielsweise ist zu klären, ob die Beleuchtungsstärke einer Hallenbeleuchtung immer gleichbleiben muss, oder ob diese je nach Arbeitszeit, -bereich und -prozess variieren kann

Nachdem mögliche Steuerzeitanpassungen identifiziert wurden, wird deren technische Machbarkeit mit der vorhandenen Anlagensteuerung überprüft. Sind Anpassungen nicht ohne weiteres möglich, ist die Beschaffung eines zusätzlichen Steuergerätes eine Option. Falls nötig, erfolgt abschließend die Installation und die Parametrierung des vorhandenen oder des neu installierten Steuergerätes durch das Fachpersonal.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Identifikation von zeitlich optimierbaren Verbrauchern im Bereich Querschnittstechnologien
- ☐ Ermittlung des tatsächlichen Bedarfes in den zugehörigen Betriebsbereichen
- ☐ Prüfung der technischen Machbarkeit der zeitlichen Optimierung bzw. Steuerung
- ☐ Ggf. Beschaffung von Steuergeräten
- ☐ Installation und Parametrierung der Steuergeräte

Herausforderungen und Lösungsansätze

Zwischen Energiemanagement und verschiedenen Betriebsbereichen können unterschiedliche Auffassungen zu den Betriebsanforderungen an die Querschnittstechnologien bestehen. Mitunter sind die tatsächlichen Anforderungen aus den Betriebsbereichen nicht bekannt, oder sie werden nicht hinterfragt. Ein Grund hierfür ist übermäßige Vorsicht, um mögliche negative Auswirkungen auf Produktionsprozesse und -anlagen oder auf die Produkt- oder Arbeitsqualität zu vermeiden.

In diesen Fällen sollte sich die verantwortliche technische Leitung um einen Konsens mit dem betroffenen Betriebspersonal bemühen. Hierzu können klärende Gruppenbesprechungen einberufen werden. Unterstützend können in manchen Fällen Messungen durchgeführt werden, zum Beispiel zur Lichtstärke, zum Druckluftniveau, zur Luftqualität oder zur Produktqualität nach Anpassung der Einstellungen bei den Querschnittstechnologien.

Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen

Wenn andere Energieeinsparmaßnahmen bei den Prozessen im Bereich der Nutzenergie zu veränderten Zeiten führen, wie beispielsweise eine veränderte Zeitplanung von Batch-Prozessen (üblich bei Galvanik-Bädern) müssen die Zeiteinstellungen von betroffenen Querschnittstechniken entsprechend angepasst werden.

PRAXISBEISPIEL

Laufzeitreduktion von Abluftventilatoren außerhalb der Nutzungszeit

In einem einschichtig genutzten Verwaltungsgebäude mit ca. 4.000 m² Fläche befinden sich mehrere Abluftventilatoren älteren Baujahres für Toiletten, Teeküchen, Putzräume etc., die ganzjährig durchgehend betrieben werden. Außerhalb der Nutzungszeit, vor allem nachts und am Wochenende, ist eine Lüftung jedoch weitgehend überflüssig.

In diesen Fällen wird durch den Einbau von 22 elektronisch steuerbare Zeitschaltuhren die Laufzeit auf insgesamt 12 Stunden pro Tag reduziert, wobei stündlich bei bestimmten Raumfunktionen (z. B. Toiletten) Ein- und Ausschaltintervalle vorgesehen werden. Auf diese Weise erfolgt über 24 Stunden pro Tag eine den Erfordernissen entsprechende Entlüftung. Neben der Einsparung elektrischer Antriebsenergie der Abluftventilatoren wird zusätzlich der Raumwärmeverlust in diesen Bereichen reduziert und somit auch Heizenergie eingespart.

Abluftvorrichtungen des Beispiels:

Toiletten	BJ 1991	1.900 m ³ /h	2,34 kW
Putz-/ Abstellräume	BJ 1991	3.800 m ³ /h	2,92 kW
Teeküche	BJ 1991	3.100 m ³ /h	2,92 kW

Unternehmensgröße	Mehrere 1000 Beschäftigte
Investitionssumme	5.000 € inkl. Montagekosten
Energieeinsparung (Strom)/ a	11.600 kWh/ a
Energieeinsparung (Gas)/ a	44.800 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ¹	13,9 t/ a
Kosteneinsparung ²	7.480 €/ a
Amortisationszeit	0,4 a
Rentabilität ³	24.865 €
Nutzungsdauer	5 Jahre

Weiterführende Informationen und Quellen

Schmidt, M., Haubach, C., Preiß, M., Spieth, H., Bauer, J. (2018): Roadmap Umwelttechnik und deren Bezüge zur Ressourceneffizienz, in: *100 Betriebe für Ressourceneffizienz*, (Bd. 2), Springer Spektrum, S. 84 – 87.

¹ CO₂-Emissionsfaktor: Nach UBA 202 g/ kWh für Erdgas und 420 g/ kWh für Strom

² Strompreis: 0,22 €/ kWh; Gaspreis: 0,11 €/ kWh

³ Rentabilität: Nettobarwert mit kalkulatorischem Zinssatz von 8%



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Technische Dämmung von Maschinen und Anlagen

Kategorie der Maßnahme:

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme:

Dämmung

Umsetzungszeitraum

Kurzfristig (bis 2 Monate)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Prozesswärme (und -kälte) ist in vielen Industrieunternehmen die größte Energieanwendung. Da häufig mit hohen Temperaturunterschieden gearbeitet wird, kann es zu großen energetischen Verlusten in industriellen Prozessen kommen. Diese Verluste lassen sich durch eine gute technische Dämmung von Anlagen, Maschinen und Leitungen reduzieren.

Einordnung

Bei industriellen Prozesse können sehr unterschiedliche Betriebstemperaturen notwendig sein: von -190 °C bei Flüssigstickstoff bis weit über 1000 °C in der Metallurgie (zum Beispiel für den Betrieb von Hochöfen). Aus diesem Grund bietet die technische Dämmung von Maschinen und Industrieanlagen sowie den zugehörigen Versorgungssystemen relativ betrachtet größere Potenziale, um die Energieeffizienz zu steigern, als die Dämmung von Gebäuden. Die Wärmeverluste, die durch nicht oder unzureichend gedämmte Maschinen und Anlagen entstehen, wie etwa Extrusionsmaschinen oder Härte-, und Nitrieröfen, können mehr als 20 Prozent des Energieeinsatzes betragen. Insbesondere Armaturen und Flansche sowie Frontplatten von Ofenbrennern weisen aufgrund ihrer großen Oberflächen oft hohe Verluste auf. Gleichzeitig sind sie relativ schwierig zu dämmen, sodass gerade

hier die technische Dämmung häufig vernachlässigt wird.

Wenn die Temperatur des Mediums oder der Ofenatmosphäre deutlich höher ist als die Umgebungstemperatur, kann die Intensität des Wärmeübergangs von der Oberfläche der Maschine oder Anlage an die Umgebung durch Wärmedämmung reduziert werden. Die Dämmung weist an ihrer äußeren Oberfläche eine deutlich geringere Temperatur gegenüber der Umgebung auf als die Anlage selbst. Wie groß das Temperaturgefälle in der Wärmedämmung ist, hängt von ihrer Dicke und dem Wärmedurchlasskoeffizienten des gewählten Dämmmaterials ab. Auch die Strömungsbedingungen an der Oberfläche der Dämmung spielen eine Rolle. Zum Beispiel vermindert starke Zugluft die Dämmwirkung.

Ist die Temperatur des Mediums deutlich niedriger als die Umgebungstemperatur, wird mit einer Kälte-dämmung der Wärmeübergang von der Umgebung an das Medium reduziert. Bei der Kälte-dämmung ist zusätzlich auf das Kondensationsrisiko zu achten: Die Kondensation von Luftfeuchte benötigt zusätzliche Kälte und verursacht so Energieverluste. Je höher der Temperaturunterschied zwischen Medium und Umgebung, desto mehr lohnt sich eine Dämmung.

¹ Maßnahme mit sehr geringen Anschaffungs-/ Herstellungskosten, z. B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.

Umsetzung

Anlagen und Maschinen mit unzureichender oder fehlender technischer Dämmung lassen sich am besten durch eine Begehung der Betriebsbereiche identifizieren. Als Hilfsmittel können Infrarot-Kameras und Temperaturmessgeräte eingesetzt werden. Mitarbeitende in den Bereichen Technik und Instandhaltung verfügen oft über ein entsprechendes Überblickswissen und können bei der Identifikation der schlecht gedämmten Anlagen, Maschinen und Leitungen unterstützen.

Eine mangelnde Dämmung an Maschinen- und Anlagenteilen lässt sich anhand folgender Merkmale erkennen:

- Sichtbare Beschädigungen von Oberflächen
- Hohe Umgebungstemperaturen im Anlagen- oder Maschinenumfeld gegenüber den sonst üblichen Temperaturen in der Produktionsumgebung
- Tauwasser an der Oberfläche (bei Kälteanwendungen)
- Auffallend hohe oder niedrige Oberflächentemperaturen von Maschinen und Anlagen

Bei den identifizierten Maschinen oder Anlagen wird anschließend die Dämmschichtdicke und das passende Dämmmaterial in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur ermittelt. Vereinfacht kann folgende wirtschaftliche Dämmdicke angenommen werden (Hinweis: Dickere Dämmschichten führen oft zu noch geringeren Energieverlusten, und sind weiterhin wirtschaftlich):

- Bis 100 °C: 1 mm für jedes °C Temperaturdifferenz gegenüber der Umgebung
- Ab 100 °C: 0,5 mm für jedes weitere °C Temperaturdifferenz gegenüber der Umgebung

Im Detail hängen die erforderlichen Dämmschichtdicken jedoch von den Spezifikationen des eingesetzten Dämmmaterials ab.

Bei der Festlegung der geeigneten Dämmung sind auch rechtliche Rahmenbedingungen und Normen zu beachten, zum Beispiel zur Arbeitssicherheit, welche Mindest-Dämmschichtdicken, oder maximale Oberflächentemperaturen vorgeben.

Bei kleineren Maschinen und Anlagen mit Betriebstemperatur bis zu 500 °C können die Isolationsarbeiten meist durch die eigene Instandhaltung, oder einen Fachbetrieb durchgeführt werden. Bei größeren Maschinen und Anlagen sowie bei Ofentemperaturen über 500 °C empfiehlt es sich, eine Fachplanung oder den Ofen-, bzw. Anlagenhersteller einzubinden.

Zudem sollte bei der Planung auch die Förderfähigkeit der Isolationsarbeiten geprüft werden. Beispielsweise kann ein Investitionszuschuss durch die *Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)* in Modul 4 möglich sein.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Identifikation von nicht oder unzureichend gedämmten Anlagenteilen
- ☐ Ermittlung der notwendigen und wirtschaftlichen Dämmschichtdicke und des Materials abhängig von der Oberflächentemperatur
- ☐ Beschaffung, Installation und Abnahme

Die folgende Auflistung gibt typische Dämmstoffe und deren Temperaturbereich, beziehungsweise obere Anwendungsgrenztemperatur, als Richtwert an:

- Polystyrol-Partikelschaum (EPS) und Extruderschaum (XPS) von -180 °C bis 80 °C
- Polyurethan-/Polysocyanurat-Hartschaum (PUR/PIR) von -180 °C bis 130 °C
- Schaumglas (CG) von -265 °C bis 430 °C
- Glaswolle bis 400 °C
- Steinwolle bis 700 °C
- Erdalkali-Silikat-Wolle (AES) bis 1.050 °C
- Aluminium-Silikat-Wolle (ASW) bis 1.300 °C
- Polykristalline Wolle (PCW) bis 1.650 °C

Herausforderungen und Lösungsansätze

Häufig wird bei Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten die Dämmung nicht wieder ordnungsgemäß hergestellt. Dies betrifft oft Reparaturen an Armaturen, Flanschen und Pumpen aufgrund der komplexen

Oberfläche oder der schlechten Zugänglichkeit für Isolierungsarbeiten. Bei der Abnahme der Reparaturarbeiten sollte daher auf nicht mehr isolierte Teile geachtet und auf einer ordnungsgemäßen Wiederherstellung der Isolation bestanden werden.

Wechselwirkungen zu anderen Maßnahmen

Neben einer Isolation sollte geprüft werden, ob bei den jeweiligen Wärmeabnehmern geringere Prozesstemperaturen, beziehungsweise höhere Temperaturen bei Kälteprozessen, bei gleichbleibendem Nutzen möglich sind. In diesen Fällen vermindert sich der Energieeffizienzgewinn durch eine Dämmung etwa um die Temperaturdifferenz, die durch die Absenkung erzielt wird. Wenn beispielsweise die Temperatur eines Waschbades durch ein neues Tensid von 65 °C auf 55°C abgesenkt werden kann, vermindert sich der Effizienzgewinn der Isolation um etwa 20 Prozent.

Co-Benefits

Eine technische Dämmung kann zum Schutz der betriebstechnischen Anlage beitragen. Eine Kälteedämmung kann zum Beispiel Kondensatbildung und somit auch das Korrosionsrisiko reduzieren. Außerdem können Dämmungen als Brand- und Gefrierschutz im Freien dienen. Durch die technische Dämmung werden heiße oder kalte Oberflächen der Maschinen oder Anlagen isoliert, sodass beim Bedienen eine geringere Verletzungsgefahr besteht. Bei Feuerschub in unmittelbarer Nähe schützen die mineralischen Dämmungen die Oberflächen der Maschinen und Anlagen sowie eventuell darauf verlegte Kabel oder Sensoren.

Darüber hinaus kann eine Dämmung zu einer besseren Prozesskontrolle beitragen, da sie wie ein Wärmespeicher wirkt. Auf diese Weise kann eine unbeabsichtigte Absenkung der Medientemperatur verringert werden.

PRAXISBEISPIEL

Zusätzliche technische Dämmung eines Pulverlackierofens

In einem größeren Unternehmen der Kfz-Zulieferindustrie wird ein circa 9 m langer alter Pulverlackierofen mit einer zusätzlichen technischen Dämmung ausgestattet. Die Dämmschicht ist 30 cm dick. Zusätzlich zum Ofengehäuse werden auch die Brennerplatten gedämmt, die zuvor teilweise Oberflächentemperaturen von bis zu 150 °C aufgewiesen haben.

Das Unternehmen erbringt die Dämmung in Eigenleistung durch die interne Instandhaltungsgruppe. Auf diese Weise wird bei gleichbleibender Produktionsauslastung eine Erdgaseinsparung von circa 30 Prozent erzielt. Der Produktionsprozess wird dabei nicht negativ beeinflusst. Zusätzlich werden die Temperaturen in der Anlagenumgebung signifikant gesenkt, was sich insbesondere in den Sommermonaten für die Mitarbeitenden positiv auf ihre Arbeitsumgebung auswirkt.

Unternehmensgröße	Großunternehmen (2.000 Mitarbeitende)
Investitionssumme	37.000 EUR inkl. Transaktions- und Dämmkosten
Energieeinsparung (Erdgas)/ a	123.000 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ²	24,8 t/ a
Kosteneinsparung ³	13.530 €/ a
Amortisationszeit	2,7 Jahre
Rentabilität ⁴	53.800 EUR
Nutzungsdauer	10 Jahre

Weiterführende Informationen und Quellen

Ministerium für ein lebenswertes Österreich (2017): *Leitfaden für technische Dämmung*, Wien.

Schwarz, J. (2016): *Mit Vollwärmedämmung zu mehr Energieeffizienz*, JOT Journal für Oberflächentechnik, 56(11), S. 40 – 43.

Tomšů, F., Palčo, Š. (2018): *Feuerfeste Werkstoffe, Öfen und Wärmedämmstoffe*. Keram, S. 30 – 33.

² CO₂-Emissionsfaktor: Nach BAFA 202 g/ kWh für Erdgas

³ Gaspreis: 11,0 ct/ kWh

⁴ Rentabilität: Nettobarwert mit kalkulatorischem Zinssatz von 8%



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Energieeffizienz im Erzeuger- und Verteilerkreis von Kältenetzen

Kategorie der Maßnahme:

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme:

Querschnittstechnologien

Umsetzungszeitraum

kurzfristig (bis 2 Monate)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

In vielen Betrieben ist Kälte für die Prozess- und Raumkühlung in der Produktion unerlässlich. Dabei verbrauchen die Pumpen im Kälte-Versorgungsnetz der Produktionsanlagen einen relevanten Anteil der Gesamtenergie des Systems. Hier kann gespart werden, indem die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf des Kühl-Verteilerkreises angehoben und der Volumenstrom im Verbrauchernetz verringert wird. Dadurch minimiert sich der Widerstand im Verteilernetz und die Netzpumpen verbrauchen weniger Strom.

Einordnung

Der Erzeugerkreis und der Verbraucherkreis eines Kühlsystems sind durch eine hydraulische Weiche oder eine hydraulische Ausgleichsleitung drucklos voneinander entkoppelt. Daher werden die Erzeugeranlagen nicht negativ durch den Verbraucherkreis beeinflusst. Außerdem wird eine Unterversorgung der Verbraucher vermieden, wenn der netzseitige stets unter dem erzeugerseitigen Volumenstrom liegt.

Die Fördermengen der Erzeugerpumpen werden in Abhängigkeit des geforderten Volumenstroms der Kältemaschinen dimensioniert (konstanter Volumenstrom). Ist der Volumenstrom im Verbraucherkreis höher als im Erzeugerkreis, führt das im Kaltwassernetz zu einer Anhebung der Vorlauftemperatur. Wird dann der Sollwert

überschritten, werden weitere Kälteerzeuger durch Folgeschaltung angefordert und die Kälteanlage verbraucht zusätzlich Strom.

Umsetzung

Für einen optimalen Betrieb und eine höhere Energieeffizienz sollten die Pumpen bedarfsgerecht ausgelegt werden. Die Leistung von mit Frequenzumrichtern (FU) geregelten Verbrauchernetzpumpen wird über den Differenzdruck zwischen Saug- und Druckseite geregelt. In der Praxis laufen Pumpen häufig nicht im effizientesten Betriebspunkt. Dies kann an einer überdimensionierten Auslegung, an Fehlern oder Mängeln in der Bestandshydraulik oder an einer fehlenden Parametrierung liegen.

Erste Schritte bei der Umsetzung

Anpassung der Netzpumpen-Parametrierung:

- ☐ Bestandsaufnahme
- ☐ Voreingestellten Sollwert reduzieren
- ☐ Kontrolle der Verbrauchernetz-Temperaturen im Betrieb
- ☐ Iterativen Anpassungsprozess bis zum gewünschten Ergebnis fortsetzen

¹Maßnahme mit sehr geringen Anschaffungs-/ Herstellungskosten, z.B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.



Die Parametrierung bei differenzdruckgeregelten Pumpen lässt sich im Betrieb kurzfristig und mit geringem Aufwand beheben. Hierzu wird der voreingestellte Sollwert des Volumenstroms so lange reduziert, bis die gewünschte Temperaturspreizung erreicht ist. Anschließend muss die Verbraucher-Netztemperatur im Betrieb regelmäßig auf Veränderungen hin kontrolliert werden. Werden überall die vorgeschriebenen Temperaturen erreicht, kann der iterative Prozess fortgesetzt werden. Bei unerwünschten Veränderungen sollten die Parameter kontrolliert und schrittweise wieder rückgängig gemacht werden. Auch hier empfiehlt sich ein iteratives Vorgehen, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

Die Regelung der Pumpen sollte im Betrieb angepasst werden. Zur Optimierung muss die Parametrierung der Netzpumpen so eingestellt werden, dass der Volumenstrom gesenkt wird. Dabei passt sich die Vorlauftemperatur auf der Verteilerseite der Vorlauftemperatur der Erzeugerseite an.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Fehler oder Mängel im Hydrauliksystem des Verbrauchernetzes können es erschweren, die Regelung der Anlage korrekt einzustellen. Bei älteren Anlagen mit offenen Bypass-Leitungen vor den Verbrauchern zeigt sich häufig auch nach einer angepassten Parametrierung der Netzpumpen nicht der gewünschte Effekt. Wenn sich keine Senkung des Volumenstroms einstellt, müssen entsprechende Fehlerstellen identifiziert werden, die die Wirkung der Maßnahme beeinträchtigen.

Ist keine oben beschriebene hydraulische Entkopplung zwischen den beiden Kreisen vorhanden, muss diese zum Beispiel durch die Installation einer hydraulischen Weiche hergestellt werden. Dies übernimmt ein Kälteanlagenbauer. In diesem Zusammenhang kann sich auch die Anschaffung neuer drehzahl geregelter Netzpumpen lohnen.

Co-Benefits

Gerade bei älteren „gewachsenen“ Kältenetzen sollten alle Bereiche des Verteilnetzes auf der Verbraucherseite gründlich untersucht werden. Im Zuge dessen können zum Beispiel die Solltemperaturen an den Verbrauchern hinterfragt und entsprechend angepasst werden.



PRAXISBEISPIEL

Einsparung von Pumpenstrom durch Anhebung der Temperaturspreizung

Ein Klimakaltwassernetz wird in einem Klinikbetrieb mit einer geringen Spreizung von 3 Kelvin (K) betrieben. Bislang wurde das System nicht näher auf Effizienz im Betrieb geprüft. Durch den oben beschriebenen iterativen Prozess wird über 3 Anpassungsschleifen festgestellt, dass die Spreizung auf 6 K angehoben werden kann. Da der Zusammenhang linear ist, halbiert sich so der Volumenstrom im Verbrauchernetz. Der Energieaufwand der Verbraucherpumpen wird durch diese Maßnahme erheblich reduziert.

Insgesamt fallen 7.000 € für das ausführende Fachunternehmen sowie das Nachrüsten von Sensorik an. Die Pumpen waren bereits zuvor mit Frequenzumrichtern ausgestattet.

Bei einem Klimakältebedarf von etwa 500 kW_{th} (Spitzenlast) wird ein jährlicher Verbrauch von rund 1.000.000 kWh_{th} erfasst. Die Betriebsstundenzahl liegt bei 8.760 h/ a, da die Klinik rund um die Uhr und ganzjährig Kälteenergie für die Klimatisierung und die Kühlung zahlreicher medizinischer Geräte (zum Beispiel MRT) benötigt. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Pumpen liegt bei rund 2 kW_{el}, womit der Stromverbrauch bei 17.520 kWh pro Jahr liegt. Durch die Halbierung des Volumenstroms sinkt der Stromverbrauch der Pumpe auf ein Achtel.

Unternehmensgröße	mittel
Investitionssumme	7.000 €
Energieeinsparung (Strom)/ a	15.312 kWh
CO ₂ -Einsparung/ a ²	6,4 tCO₂/ a
Kosteneinsparung ³	4.884,5 €/ a
Amortisationszeit	1,4 a
Rentabilität	Sehr gut
Nutzungsdauer	> 5 Jahre

² CO₂-Emissionsfaktor: 0,420 kg CO₂/ kWh für Strom (UBA: Bundesdurchschnitt für 2021)

³ Strompreis: 0,319 €/ kWh



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Instandhaltung des Economisers in Dampfkesselanlagen

Kategorie der Maßnahme

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme

Wärme

Umsetzungszeitraum

sehr kurzfristig (< 4 Wochen)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Kommt es bei Economisern in Dampfkesseln zu Verschmutzungen, leidet die energetische und ökonomische Effizienz – ein Problem, das in Betrieben oft übersehen wird. Dabei reichen in den meisten Fällen gering-investive Maßnahmen aus, um den optimalen Betriebszustand wiederherzustellen. Zum Beispiel helfen regelmäßige Reinigungen, unnötigen Energieverlusten vorzubeugen.

Einordnung

Integrierte oder nachgeschaltete Economiser einer Dampfkesselanlage können deren Wirkungsgrad um bis zu 7 Prozent steigern. Dabei dienen Economiser als Vorwärmer für Speisewasser, das anschließend in den Dampfkessel geleitet wird. Bei der Wärmequelle handelt es sich meist um Abwärme, die aus demselben Dampfkessel stammt.

Nach einer gewissen Betriebszeit tritt in Economisern in vielen Fällen Fouling (Verschmutzung) auf. Fouling beschreibt die ungewünschte Ablagerung von Teilchen auf Oberflächen. Oftmals kommt es in Folge von Fouling zu Korrosion, was zu einem Komplettausfall des Wärmetauschers des Economisers führen kann. Um den optimalen Betriebszustand wiederherzustellen, müssen die betroffenen Flächen gereinigt werden. Für unterschiedliche Fouling-Typen stehen auch verschiedene Reinigungsverfahren und Präventionsmöglichkeiten zur Auswahl. Ist die Zusammensetzung der

eingesetzten Medien bekannt, kann die Wahl einer geeigneten Präventionsmethode dazu führen, dass seltener gereinigt werden muss. Nichtsdestotrotz ist die regelmäßige Reinigung der Flächen des Wärmetauschers sehr wichtig für die Vermeidung von Energieverlusten. Die energetische und ökonomische Bedeutung von Reinigungen wird allerdings häufig unterschätzt.

Umsetzung

In Economisern kann Fouling in unterschiedlicher Menge, Größe und Lage auftreten. Um die Art und die Stärke der Verschmutzung festzustellen, sollte deshalb stets darauf geachtet werden, dass eine passende Nachweismethode eingesetzt wird. Grobe Verschmutzungen lassen sich oft durch Messungen von Druckverlusten und Temperaturen am Ein- und Ausgang feststellen. Auf diese Weise kann jedoch nicht ermittelt werden, wo die Verschmutzung auftritt.

Für eine Ortung sowie für den Nachweis von dünneren Verschmutzungsschichten werden elektrische oder akustische Methoden eingesetzt. Beispiele sind Leitfähigkeitssensoren oder Wandler. Bei diesen invasiven Messmethoden werden Gerätschaften in den Wärmetauscher eingebracht. Diese Messungen können während des Betriebs durchgeführt werden.

¹Maßnahmen mit sehr geringen Anschaffungs-/ Herstellungskosten, z. B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.



Wurde die Art beziehungsweise Stärke der Verschmutzung festgestellt, muss im nächsten Schritt ermittelt werden, ob eine Reinigung des Wärmetauschers zeitnah nötig ist. Hierbei ist zu bedenken, dass die Reinigung mit Ausfallzeiten des Economisers oder der kompletten Anlage einhergehen kann. Mögliche Reinigungsmethoden sind Hochdruck-Wasserstrahlen sowie mechanische, chemische und thermale Reinigungen.

Je nach Art und Menge der Verschmutzung empfehlen sich unterschiedliche Reinigungsarten. Mechanische Reinigungen oder Wasserhochdruckstrahlen können vor Ort durch die Mitarbeitenden mithilfe geliehener Gerätschaften verrichtet werden. Alternativ kann auch externes Fachpersonal beauftragt werden. Falls die Außerbetriebnahme vermieden werden soll und die Verschmutzungsart es zulässt, ist eine chemische Reinigung durch Fachpersonal zu empfehlen.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Ermittlung von Verschmutzungsgrad und -art
- ☐ Prüfung der Wirtschaftlichkeit
- ☐ Auswahl einer Reinigungsmethode
- ☐ Beschaffung der nötigen Reinigungsgeräte oder Beauftragung der Reinigung

Herausforderungen und Lösungsansätze

Die Bestimmung der optimalen Zeitabstände zwischen zwei Reinigungen ohne physische Kontrolle vor Ort ist aktuell ein wichtiges Thema der Forschung. Numerische oder rechnerische Methoden zur Abschätzung des Verschmutzungsgrades auf Grundlage minimalen Messaufwandes werden entwickelt und ausgereift. Teilweise sind kommerzielle Softwaretools bereits verfügbar.



PRAXISBEISPIEL

Reinigung eines Economisers

Ein Unternehmen entschließt sich nach Hinweis eines Energietechnikers, den Economiser für die Vorwärmung von Speisewasser zu reinigen. Die Reinigung wird von außen und von innen durchgeführt, um sowohl äußere Staubablagerungen als auch Fouling im Inneren zu beseitigen. Der Economiser wird für die Vorwärmung von Speisewasser auf maximal 130 °C genutzt. Die Wärmequelle ist Rauchgas, welches von 230 – 250 °C auf circa 180 – 190 °C abgekühlt wird.

Der thermische Wirkungsgrad steigt um 1 Prozent im Vergleich zum ungereinigten Zustand. Grund dafür sind die verbesserte Wärmeübertragung und der erhöhte Massenstromdurchsatz. Daraus folgt, dass die Feuerungsleistung des Erdgaskessels ebenfalls um etwa 1 Prozent reduziert werden kann, was zu Erdgas- und Kosteneinsparungen führt.

Unternehmensgröße	KMU
Investitionssumme	13.359 EUR
Energieeinsparung (Strom)/ a	0 kWh/ a
Energieeinsparung (Gas)/ a	250 MWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ²	50,5 t/ a
Kosteneinsparung ³	32.755 EUR/ a
Amortisationszeit	0,4 a
Rentabilität ⁴	45.053 EUR
Nutzungsdauer	2 Jahre

Weiterführende Informationen und Quellen

Al Hadad, W., Schick, V., Maillet, D. (2019): *Fouling detection in a shell and tube heat exchanger using variation of its thermal impulse responses: Methodological approach and numerical verification*, Applied Thermal Engineering, 155, S. 612 – 619.

Hale, M. (2021): *Types of heat exchanger fouling*, World Pumps, 2021(1), S. 20 – 22.

Wallhäußer, E., Hussein, M.A., Becker, T. (2012): *Detection methods of fouling in heat exchangers in the food industry*, Food Control, 27(1), S. 1 – 10.

² CO₂-Emissionsfaktor: Nach BAFA 201 g/ kWh für Erdgas

³ Gaspreis: 16,8 ct/ kWh

⁴ Rentabilität: Nettobarwert mit kalkulatorischem Zinssatz von 8 %



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Frequenzumrichter auf tatsächlichen Bedarf einstellen

Kategorie der Maßnahme

Organisatorisch technisch-orientiert

Thema der Maßnahme

Maschinen und Prozesstechniken

Umsetzungszeitraum

mittelfristig (ca. 3 Monate)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Wird bei Ventilatoren und Pumpen der Volumenstrom um 50 Prozent reduziert, senkt dies die elektrische Leistungsaufnahme des Antriebsmotors im Durchschnitt auf unter 15 Prozent. So sind durch eine stufenlose Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter erhebliche Energieeinsparungen möglich.

Einordnung

Frequenzumrichter (FU) werden in der Prozesstechnik vor allem zur Steuerung von Pumpen, Verdichtern und Lüftern eingesetzt. In den meisten Fällen werden FU werksseitig parametrieren und sind häufig nicht optimal auf den aktuellen Betrieb eingestellt. Das führt dazu, dass mögliche Einsparpotenziale nicht ausgeschöpft werden. Daher sollte die Förderleistung von Pumpen und Ventilatoren an den tatsächlichen Bedarf der Anlage angepasst werden. Dies ist über die stufenlose Drehzahlregelung der Antriebsmotoren möglich. Im Gegensatz zu einer Drossel-, Drall- oder Bypassregelung reduziert eine Drehzahlregelung die tatsächliche Antriebsleistung und erlaubt eine Regelung über einen weiteren Bereich der Förderleistung. Hierbei ist eine Reduktion auf bis zu 20 Prozent der maximalen Förderleistung möglich.

Durch das Anpassen des Volumenstroms kann viel Energie eingespart werden: Die Leistung des

Asynchronmotors reduziert sich nämlich annähernd mit der dritten Potenz einer Reduktion des geförderten Volumenstroms. In lufttechnischen Anlagen wird beispielsweise oft nur für eine kurze Zeitdauer die Maximalleistung benötigt, viele Anlagen werden jedoch mit einem festen Nennvolumenstrom betrieben. Eine Drehzahlregelung der Ventilatoren mittels Frequenzumrichter, die über eine Regelgröße in der Abluft (zum Beispiel Schadstoffgehalt, Luftfeuchte) stetig geregelt werden, passt den Luftvolumenstrom bedarfsgerecht an. So wird erst bei Erreichen der eingestellten Grenzwerte die Drehzahl stetig erhöht.

Umsetzung

Ist der Leistungsbedarf in Anlagen mit FU-betriebenen Aggregaten variabel, sollte für diejenigen Anlagenteile, für die ein Volllastbetrieb nicht notwendig ist, zunächst ein Lastprofil erstellt werden. Dabei wird untersucht, wie hoch der Energiebedarf im Voll- und Teillastbereich der Anlage ist. So kann zum Beispiel ein Profil über die Anwesenheits- oder Produktionszeiten erstellt werden, um zu identifizieren, in welchen Zeiten die Volumenströme reduziert werden können oder die Anlage komplett abgeschaltet werden kann. Lassen sich typische, sich wiederholende Muster in den Lastprofilen erkennen, kann die Reduktion der Volumenströme vergleichsweise simpel über eine zeitliche Steuerung erfolgen.

Weisen die Verbrauchsprofile keine signifikanten Muster auf, oder verändern sich diese mit der Zeit, sollte eine bedarfsgerechte Regelung der Drehzahl mithilfe von geeigneten Sensoren erfolgen. Dafür muss zunächst eine anwendungsspezifische Regelgröße (beispielsweise Staubbelastung oder Gasfraktionen, Druck, etc.) identifiziert werden. Für diese werden passende Grenzwerte und Schwankungsbreiten festgelegt. Die bedarfsgerechte Regelung ist mit höherem Umsetzungsaufwand verbunden, weist aber ein höheres Einsparpotenzial und höhere Flexibilität bei Änderung der Anlagenbedingungen auf.

Bestehende nachgelagerte Steuerungen oder Regelungen sollten durch FU-Drehzahlregelungen der Antriebsmotoren ersetzt werden. Dabei müssen die bisherigen, mechanischen Steuereinrichtungen nicht entfernt, sondern lediglich auf vollen Durchfluss eingestellt werden. Sollte bisher keine Steuerung oder Regelung des Volumenstroms vorhanden sein, lohnt sich eine Nachrüstung von Frequenzumrichtern an Pumpen, Ventilatoren und Verdichtern, sobald in mehr als 10 Prozent der Betriebszeiten Schwankungen im benötigten Volumenstrom auftreten.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Lastprofil der Anlagen erstellen
- ☐ Abschaltung der Anlagen außerhalb von Betriebszeiten prüfen
- ☐ Anpassung der Steuerparameter auf geringere Drehzahlen prüfen
- ☐ Nachrüstung von Frequenzumrichtern prüfen, falls unregelmäßige Motoren vorhanden sind
- ☐ Bedarfsgerechte Regelung über Sensoren prüfen

Herausforderungen und Lösungsansätze

Herausforderungen ergeben sich bei der Festlegung der Zielwerte für die anwendungsspezifischen Regelgrößen. Um eine optimale Prozessführung zu gewährleisten, ist eventuell eine Testphase notwendig. Zum Beispiel bei lufttechnischen Anlagen betreffen die Re-

gelgrößen auch die Arbeitsbedingungen am Arbeitsplatz. In solchen Fällen sollte in den ersten Wochen nach der Anpassung ein Feedback der betroffenen Mitarbeitenden eingeholt werden.

Im Vollastbetrieb sind Frequenzumrichter durch interne Verluste von etwa 5 Prozent weniger effizient als Motoren, die direkt oder über eine Stern-Dreieck-Schaltung angeschlossen sind. Ihr Einsatz lohnt sich daher vor allem im Teillastbetrieb, in dem sie wesentlich effizienter sind.

Wechselwirkungen zu anderen Maßnahmen

Die in der Maßnahme „Bedarfsgerechte Regelung und Optimierung von Ventilatoren“ vorgeschlagenen Prinzipien lassen sich auch auf andere Anlagen mit FU-betriebenen Aggregaten übertragen. So lässt sich eine Überdimensionierung des Antriebs durch vorhandene Schieber- oder Bypassregelungen des Volumenstroms erkennen. Zudem sollte eine mögliche Laufzeitreduzierung der erste Schritt beim Identifizieren von Einsparpotenzialen sein. Sinnvoll ist zunächst eine Bestandsaufnahme aller vorhandenen Anlagen mit FU-betriebenen Aggregaten.

Co-Benefits

Durch die infolge der Maßnahmen tendenziell langsamer laufenden Ventilatoren ergibt sich in vielen Fällen auch eine geringere Lärmbelastung. Auf diese Weise kann eine bedarfsgerechte Regelung von lufttechnischen Anlagen auch den Komfort an den Arbeitsstätten erhöhen.

FU-betriebene Asynchronmotoren benötigen wesentlich geringere Anlaufströme als direkt angeschlossene Motoren und führen so zu weniger Spannungseinbrüchen im Betriebsnetz.



PRAXISBEISPIEL

Drehzahlreduzierung bei Raumluftechnik-Anlagen

In einem Großmarktbetrieb werden die bis dahin auf Nennvolumenstrom laufenden Ventilatoren einer Raumluftechnik-Anlage auf den tatsächlichen Bedarf eingestellt. Durch eine Laufzeitreduzierung und Drehzahlregelung gelingt es, den durchschnittlichen Abluftvolumenstrom der Raumluftechnik-Anlage auf 80 Prozent des Auslegungsvolumenstroms zu reduzieren. Dies führt zu erheblichen Stromeinsparungen. Da die Raumwärme in dem betrachteten Betrieb über Warmluftgeräte erzeugt wird, wird durch die Maßnahme auch der Lüftungswärmebedarf reduziert. Diese Einsparung wird jedoch nicht erfasst und quantifiziert.

Unternehmensgröße	Großunternehmen
Investitionssumme	33.970 €
Energieeinsparung (Strom)/ a	192.000 kWh/ a
Energieeinsparung (Gas)/ a	
CO ₂ -Einsparung/ a ¹	80,6 t/ a
Kosteneinsparung ²	42.240 €/ a
Amortisationszeit	0,8 a
Rentabilität ³	249.500 €
Nutzungsdauer	10 Jahre

Weiterführende Informationen und Quellen

Kuh, Christoph (2009): *Effizienzmaßnahmen in lufttechnischen Anlagen*, Diplomarbeit, Technische Universität Wien.

¹ CO₂-Emissionsfaktor: 420 g CO₂-Äquivalent/ kWh

² Strompreis: 22 ct/ kWh

³ Rentabilität: Nettobarwert mit kalkulatorischem Zinssatz von 8%



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Reduzierung des Druckniveaus in Druckluftsystemen

Kategorie der Maßnahme:

Organisatorisch technisch-orientiert

Thema der Maßnahme:

Druckluft

Umsetzungszeitraum

Kurzfristig (bis 2 Monate)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

In vielen Industriebereichen wird Druckluft verwendet, um Endgeräte, zum Beispiel Werkzeuge, zentral mit der benötigten Energie zu versorgen. Die komprimierte Luft wird über ein Leitungssystem bei einem festgelegten Druckniveau zum Endgerät befördert. Häufig wird dafür ein höherer Druck bereitgestellt als für die Druckluftverbraucher am Ende des Leitungsnetzes erforderlich ist. Hier kann eine Reduzierung des Druckniveaus erhebliche Mengen Energie sparen.

Einordnung

Bei der Auslegung des Systemdrucks wird das Druckniveau oft höher als nötig dimensioniert, um die gewünschte Leistung an den Anlagen oder Werkzeugen zu gewährleisten. Dadurch wird deutlich mehr Energie benötigt als für die Geräte eigentlich erforderlich wäre. Je zusätzlichem Druck in Bar, der im System bereitgestellt wird, benötigt der Kompressor zwischen 6 und 10 Prozent mehr elektrische Energie.

Durch die Reduzierung beziehungsweise Anpassung des Systemdrucks wird zum einen weniger Energie eingesetzt, zum anderen kann auch Leckagen und Beschädigungen im System vorgebeugt werden.

Umsetzung

Eine Anpassung des Druckniveaus ist mit geringem Aufwand verbunden. Zunächst sollten dazu die Druckanforderungen der Endgeräte erfasst werden. Um den tatsächlich vorliegenden Druck zu ermitteln, ist eine Messung an der entsprechenden Stelle im Druckluftnetz nötig.

Im Anschluss kann der Kompressor schrittweise auf das ermittelte Druckniveau eingestellt werden. Dieses orientiert sich meist am Verbraucher mit den höchsten Anforderungen sowie an der Länge des Druckluftnetzes. Die Anpassung sollte in kleinen Schritten durchgeführt und regelmäßig kontrolliert werden. Durch Druck- und Funktionskontrollen an den Verbrauchern werden größere Druckabfälle im System schnell erkannt, sodass zügig eingegriffen werden kann.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Prüfung des vorhandenen Drucks an den Endgeräten
- ☐ Prüfung der Druckanforderungen der Endgeräte
- ☐ Schrittweise Senkung des Druckniveaus auf das erforderliche Niveau
- ☐ Erneute Prüfung der Anforderungen, evtl. nach Beseitigung von Leckagen

Parallel zur Absenkung des Druckniveaus sollten gegebenenfalls Leckagen beseitigt werden, um den beim Kompressor erforderlichen Druck weiter zu minimieren. Nach der Beseitigung von Leckagen sollten die Druckanforderungen erneut geprüft werden.

Zudem sollte bei der Anpassung des Systemdrucks eventuelle Schwankungen berücksichtigt werden, die zum Beispiel durch handbetriebene Druckluftwerkzeuge entstehen können. Gegebenenfalls muss berücksichtigt werden, dass die Abnahme nicht kontinuierlich, sondern mitunter schwankend erfolgt. Dann muss auch zu diesen Zeiten ausreichend Druckluft bereitgestellt werden und es darf nicht zu einem Druckabfall an anderen Verbrauchern kommen.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Das Anpassen von Regelparametern bei der Druckluftversorgung ist ein Eingriff in bestehende Prozesse und kann im Betrieb auf Widerstand treffen. Hier ist es wichtig, Befürchtungen und Beobachtungen der Anlagenverantwortlichen aufzunehmen und, falls die

Druckabsenkung negative Auswirkungen an den Endgeräten hat, schnell auf Hinweise zu reagieren. Durch eine konstruktive Mitarbeit der Belegschaft kann die Maßnahme deutlich schneller umgesetzt werden.

Manche Anlagen müssen entgegen ihren tatsächlichen Leistungsanforderungen konstant mit einem höheren Druck versorgt werden, um Beschädigungen zu vermeiden. In diesen Fällen ist bei der Absenkung des Druckniveaus mit Vorsicht vorzugehen. Dazu kann es hilfreich sein, die Anforderungen mit dem Hersteller der Anlage abzustimmen.

Co-Benefits

Durch die Reduzierung des Druckniveaus verringert sich auch der Verschleiß an Leitungen und Ventilen. Zudem können Leckagen im Gesamtsystem leichter erfasst werden, wenn der vorliegende Druck an den versorgten Geräten mit dem vom Kompressor bereitgestellten Druck abgeglichen wird. Auf diese Weise können weitere Einsparpotenziale identifiziert werden.



PRAXISBEISPIEL

Druckreduzierung von 8,5 Bar auf 6,5 Bar

Ein mittelgroßes Unternehmen aus dem Bereich der Metallverarbeitung benötigt für verschiedene Anlagen und Werkzeuge Druckluft. Zur Erzeugung des Druckniveaus wird ein frequenz geregelter Kompressor mit einer elektrischen Leistung von 15 kW eingesetzt. Bei einer Laufzeitmessung ergibt sich eine Betriebszeit von circa 6.000 Stunden pro Jahr. Im Durchschnitt ruft der Kompressor durch den Frequenzumrichter 80 Prozent seiner Leistung ab. Das Leitungsnetz wird konstant mit einem Druck von 8,5 Bar versorgt.

Anhand der Betriebsdaten wird ein elektrischer Energieverbrauch von circa 72.000 kWh pro Jahr berechnet. Eine Prüfung des Drucks an den Endgeräten ergibt, dass dieser wesentlich höher ist, als der eigentlich erforderliche Druck zum Betreiben der Anlagen. Demnach reicht ein Druck von 6,5 Bar im Leitungsnetz aus, um alle Anlagen in voller Funktion zu betreiben.

Bei einer Druckreduktion um 1 Bar kann der Energieverbrauch um circa 6 bis 10 Prozent sinken. Für die Beispielrechnung wird ein konservativer Wert von 6 Prozent verwendet. Bei einer Reduzierung des Drucks im Leitungssystem um 2 Bar lässt sich ein Einsparpotenzial von 8.381 kWh pro Jahr realisieren.

Unternehmensgröße	mittel
Investitionssumme	keine
Energieeinsparung (Strom)/a	8.381 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/a ¹	3,52 t/ a
Kosteneinsparung ²	2.674 €/ a
Rentabilität	Sehr gut
Nutzungsdauer	fortlaufend

Weiterführende Informationen und Quellen

Fraunhofer ISI (2003): *Druckluft effizient*, [online], <http://druckluft-effizient.de/wp-content/uploads/2020/09/fakten-00-09.pdf>, [02.12.2022].

¹ CO₂-Emissionsfaktor: 0,420 kg/ kWh (UBA 2021)

² Strompreis: 0,319 €/ kWh



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Leckageortung und -beseitigung in Druckluftnetzen

Kategorie der Maßnahme

Organisatorisch technisch-orientiert

Thema der Maßnahme

Druckluft

Umsetzungszeitraum

Sehr kurzfristig (unter 4 Wochen)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Druckluft ist verdichtete Luft, die als Energieträger zum Betreiben von Endgeräten, zum Beispiel Werkzeugen, genutzt wird. Die Druckluft wird von einem Kompressor erzeugt und über ein Leitungssystem bereitgestellt. Dabei entsteht eine Druckdifferenz zwischen dem Umgebungsdruck und dem in der Leitung vorherrschenden Druck. Dies führt dazu, dass durch kleinste undichte Stellen, sogenannte Leckagen, Luft entweichen kann. Die zusätzliche Arbeit, die vom Kompressor verrichtet werden muss, um das Druckniveau im Leitungssystem aufrechtzuerhalten, führt zu einem erhöhten Energieverbrauch.

Einordnung

Druckluft wird oft als Allzweckmittel eingesetzt und kann in vielen Bereichen und Prozessen verwendet werden. Der Betrieb des Kompressors erfordert den Einsatz von elektrischer Energie. Hierbei entstehen verschiedenste Verluste, sodass am Ende teilweise nur 5 – 10 Prozent Nutzleistung an den Pneumatikaggregaten verbleibt. Der größte Teil der aufgewendeten Energie wird als Abwärme durch Motorverluste, Kompressorverluste, Anlauf- und Nachlaufverluste, die Druckluftaufbereitung, Druckverluste an Reduzierventilen und Umwandlungsverluste an die Umgebung abgegeben.

Die entstehenden Energieverluste können eingedämmt werden, indem das Leitungssystem gezielt auf

Luftaustrittsstellen untersucht wird. Hierzu ist ein gut aufgebautes und regelmäßiges Leckagemanagement hilfreich, das Kontrollen und Rundgänge oder auch den Einsatz professioneller Ortungswerkzeuge umfasst.

Umsetzung

Leckagen können ohne Hilfsmittel geortet werden, indem auf Zischgeräusche geachtet und die Geräuschquelle lokalisiert wird. Diese Prüfung sollte außerhalb der Betriebszeiten erfolgen, wenn keine Störgeräusche in der Umgebung auftreten. Zudem können Undichtigkeiten auch erfüllt werden, da die ausströmende Luft in der Regel deutlich kälter ist als die Umgebungsluft.

Um einiges zuverlässiger arbeiten Leckageortungsgeräte, die in der Lage sind, kleinste Undichtigkeiten im Leitungssystem festzustellen. Um die undichten Stellen zu lokalisieren, verwenden die Geräte moderne Ultraschalltechnik. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Messungen innerhalb der Betriebszeiten stattfinden können, da die Geräte auch bei Störgeräuschen in der Umgebung funktionieren.

Die Lokalisierung von Druckluftleckagen sollte entlang der gesamten Druckluftkette erfolgen (Kompressor, Druckluftaufbereitung, Leitungsinstallation, Verbrauchende). Dazu muss das System regelmäßig „abgelaufen“ werden, um Leckagen durch Hören und Abtas-



ten aufzuspüren. Zudem sollte das System mindestens einmal im Jahr mit Hilfe eines Ultraschallgerätes gewartet werden.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Regelmäßige Kontrolle der Leitungen
- ☐ Professionelle Wartung des Systems
- ☐ Lokalisieren von Leckagen
- ☐ Kennzeichnung der Leckagen
- ☐ Beseitigung der Leckagen mithilfe von Dichtungen, Armaturen oder neuen Rohrleitungen

Lokalisierte Leckagen sollten deutlich gekennzeichnet und bestenfalls schriftlich in einem Bericht festgehalten werden. Die Beseitigung der Leckagen kann zum Beispiel durch Dichtungen, Armaturen und Fittings oder durch das Verlegen neuer Rohrleitungen erfolgen.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Besonders für kleine Unternehmen stellt der Zeitaufwand der regelmäßigen Wartung eine Hemmschwelle dar. Zudem bedeutet die Anmietung von professionellen Geräten eine finanzielle Belastung. Die wirtschaftlichen Vorteile sollten daher im Zuge einer kleinen Analyse erarbeitet und vorgestellt werden. Dies kann eventuell auch im Rahmen einer geförderten Energieberatung erfolgen.

Oftmals wird das vollständige Überprüfen des Netzwerkes dadurch erschwert, dass es entlang des Leitungssystems schlecht erreichbarer Stellen gibt. In diesen Fällen sollte auf eine professionelle Wartung mit Ultraschallgeräten gesetzt werden. Die Geräte müssen nicht lokal eingesetzt werden, sondern können Leckagen über weite Entfernungen hinweg identifizieren.

Während der Wartung stehen die druckluftbetriebenen Endgeräte still, wodurch es innerhalb des Produktionsprozesses zu Verzögerungen kommen kann. Um die ökonomischen Schäden minimal zu halten, empfiehlt es sich, die Beseitigung der Leckagen in der produktionsfreien Zeit durchzuführen, zum Beispiel an Wochenenden oder Feiertagen.

Fördermöglichkeiten

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Maßnahmen zur energetischen und ressourcenorientierten Optimierung von industriellen sowie gewerblichen Anlagen und Prozessen in Unternehmen.

Die Förderung wird durch das Programm *Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft* ausgeschüttet. In *Modul 4* wird die Optimierung von Anlagen gefördert, in *Modul 1* die Anschaffung von Kompressoren und Leckage-Ortungsgeräten. Gefördert werden ausschließlich investive Maßnahmen.

Co-Benefits

Indem das Rohrleitungssystem ausgebessert wird, steigt auch die Verfügbarkeit der Druckluft. Durch die Steigerung der Energieeffizienz verringern sich die Laufzeiten der Kompressoren, wodurch Material geschont wird und der Wartungsaufwand sinkt.

Zudem kann der notwendige Betriebsdruck schneller bereitgestellt werden, wodurch sich eventuelle Wartezeiten verringern. Grundsätzlich tragen Maßnahmen dieser Art zu energieeffizienten Produktionsabläufen bei.

PRAXISBEISPIEL

Beseitigung einer einzelnen Leckage in einem Druckluftleitungssystem

Ein Unternehmen aus dem Bereich der Metallverarbeitung benötigt für mehrere Anlagen Druckluft und verfügt daher über ein Druckluftsystem in Form einer Ringleitung, welches mit 7,6 Bar betrieben wird.

Im Betrieb wird in einem 3-Schicht-System gearbeitet. Zwischen den Schichten wird der Kompressor aktuell nicht ausgeschaltet. Erst samstags um 6 Uhr morgens schaltet die Nachtschicht nach Dienstschluss den Kompressor aus. Ab sonntags um 22 Uhr wird die Anlage wieder in Betrieb genommen. Damit ergibt sich eine Betriebszeit von 128 Stunden pro Woche in rund 50 Wochen im Jahr.

Innerhalb des Leitungssystem kann eine Leckage mit einem Durchmesser von 2 mm festgestellt werden. Zum Aufrechterhalten des Druckniveaus werden insgesamt zwei Kompressoren eingesetzt, die eine Leistung von jeweils 25 kW besitzen, um einen Volumenstrom von 4,58 m³/ min zu befördern.

Resultierend aus den angegebenen Parametern errechnet sich ein Energieverlust von fast 10.000 kWh pro Jahr, der durch die Beseitigung der Leckage behoben wird.

Unternehmensgröße	mittel
Betriebszeiten	6.400 Stunden
Energieeinsparung (Strom)/ a	9.683 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ¹	4,06 t/ a
Kosteneinsparung ²	2.989 €/ a
Amortisationszeit	Wenige Tage
Rentabilität	Sehr hoch
Nutzungsdauer	nicht bestimmbar

Weiterführende Informationen und Quellen

Decker, Karsten (2020): *Leckagen im Druckluftnetz professionell aufspüren und beseitigen*, [online] <https://info.at-lascopco-kompressoren.de/blog/leckagen-professionell-aufsp%C3%BCren-und-beseitigen>, [30.03.2023].

¹ CO₂-Emissionsfaktor: 0,42 kg/ kWh

² Strompreis: 0,319 €/ kWh; Es existieren Instandhaltungskosten in Höhe von 100 €



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Substitution kleiner Druckluftverbraucher

Kategorie der Maßnahme

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme

Druckluft

Umsetzungszeitraum

Mittelfristig (wenige Monate)

Effizienz/ Substitution

Substitution

Umsetzung durch

Management und Mitarbeitende

In vielen Industriebereichen wird Druckluft verwendet, um Endgeräte zentral mit mechanischer Energie zu versorgen. Der Wirkungsgrad von Druckluftanlagen ist jedoch oft sehr gering. Nur ca. 10 Prozent der eingesetzten Energie kann tatsächlich in Nutzenergie umwandelt werden. An vielen Stellen empfiehlt es sich deshalb, kleinere Druckluftverbraucher mit einem geringen Druckniveau durch andere technische Lösungen zu ersetzen, zum Beispiel durch elektrisch betriebene Gebläse. In diesen Fällen spricht man von einer Druckluftsubstitution.

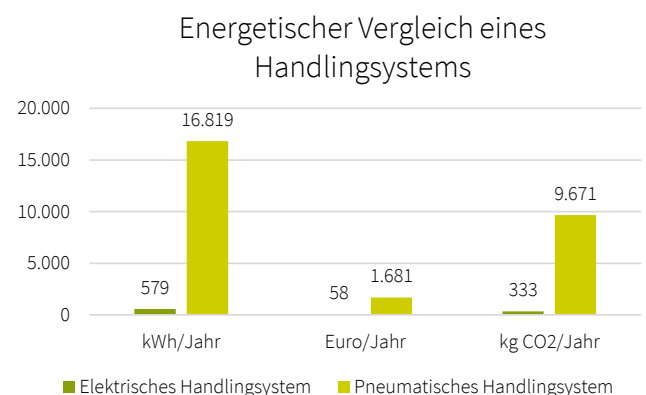
Einordnung

Trotz der Ineffizienz von Druckluftanlagen gibt es zum Einsatz von Druckluft häufig keine adäquate Alternative. Nahezu in allen Industriezweigen ist der Einsatz Standard, vor allem in Prozessen zum Antrieb, zur Belüftung und zur Reinigung. Wird ein hohes Druckniveau benötigt, kann die Anwendung nur mit sehr großem Aufwand substituiert werden. Es gibt jedoch auch viele Fälle, in denen ein höheres Druckniveau bereitgestellt wird, als eigentlich notwendig ist. Beispiele sind das schnelle Säubern von Arbeitsflächen oder das Abblasen von Produkten, um ungewollte Reste wie etwa Sägespäne zu beseitigen. Dafür werden Druckluftpistolen verwendet, die ohne Drosselung

Druckluft ausstoßen. Diese Druckluft geht somit vollständig verloren und muss vom Kompressor wieder neu erzeugt werden. Hier ist es sinnvoll, alternative Technologien zu nutzen, die deutlich effizienter sind.

Umsetzung

Zunächst ist zu klären, ob es im Unternehmen Anwendungsbereiche gibt, in denen die Substitution von Druckluft möglich ist. Das nachfolgende Diagramm zeigt, wie hoch das Einsparpotenzial von Substitution sein kann. Die Auswertung bildet die Verbrauchsdaten eines realen Unternehmens ab, in dem ein pneumatisches auf ein elektrisches Handlingsystem umgestellt wurde. Der Energieverbrauch wurde auf rund 5 Prozent des ursprünglichen Verbrauchs reduziert.



Bildnachweis: Limón GmbH

¹ Maßnahme mit sehr geringen Anschaffungs-/ Herstellungskosten, z. B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.

Neben der Umstellung im Bereich Handling kann insbesondere in Bereichen mit niedrigem Druckniveau viel Energie gespart werden, wenn Druckluft durch andere Technologien ersetzt wird. So ist zum Beispiel der Einsatz von Gebläsetechnik an Stellen, an denen ein niedriges Druckniveau genutzt wird, kostengünstiger und spart Energie. Neue Systeme sind meist flexibel und können verschiedene Anforderungen aus dem Bestand erfüllen.

Besonders geeignet sind solche Gebläse bei Fließbandproduktionen, wie zum Beispiel einer Glasflaschenmanufaktur, bei der Tröpfchen von den Flaschen entfernt werden sollen. Für punktuelle Anwendungen, wie dem Säubern des Flaschenkopfes, empfehlen sich kleinere Gebläse oder Seitenkanalverdichter. Diese arbeiten bei einem geringeren Luftvolumenstrom und eignen sich für Anwendungen mit niedriger Luftausströmgeschwindigkeit.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Druckniveau aller Anwendungen prüfen
- ☐ Anforderungen an Gebläse ermitteln
- ☐ Ansätze für druckluftfreie Lösungen prüfen
- ☐ Erste kleine Verbraucher ersetzen

Bei großflächigeren Anforderungen, wie dem Säubern von Flaschen von jeder Seite, ist der Einsatz von Luftklingen sinnvoller. Diese erzeugen einen homogenen Luftvorhang. Auch Venturi-Druckluftpistolen können eingesetzt werden. Hier wird das physikalische Prinzip der Venturi-Düse genutzt, indem das Luftvolumen einer Pistole durch das Einspeisen angesaugter Luft um ein Vielfaches erhöht wird, ohne zusätzliche Druckluft verwenden zu müssen.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Druckluftanlagen werden häufig als störungsarme, günstige Systeme angesehen. Substitutionsmaßnahmen finden in manchen Betrieben daher meist wenig Zustimmung. Mit kleineren Maßnahmen sollte hier vorerst in solchen Fällen Vertrauen geschaffen werden, bevor Umstellungen im Prozess vorgenommen werden.

Außerdem kann es sein, dass Prozesse für den Umbau unterbrochen werden müssen. Druckluftanlagen sollten daher zuvor an allen kritischen Stellen eingehend geprüft werden. Der Umbau kann auch außerhalb der Betriebszeiten vorgenommen werden.

Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen

Durch das Substituieren von manchen Druckluftverbrauchern wird automatisch weniger Druckluft verwendet. Dadurch amortisieren sich andere Druckluffeffizienzmaßnahmen langsamer. Darunter fallen beispielsweise die Leckageortung oder das Absenken des Druckniveaus.

PRAXISBEISPIEL

Austausch alter Druckluftpistolen durch Venturi-Pistolen

In einem mittelgroßen Versandlager werden die Produkte per Druckluft von grobem Schmutz gereinigt. Das Unternehmen arbeitet im 3-Schicht-Betrieb. Zur Effizienzsteigerung werden die alten Druckluftpistolen gegen neuere Venturi-Pistolen getauscht.

Die gesamte Druckluft wird an insgesamt 8 Druckluftpistolen verteilt, welche über einen 2,7 kW Kompressor mit Druckluft versorgt werden. Der Kompressor läuft 20 Stunden am Tag und erzeugt damit einen jährlichen Stromverbrauch von 6.700 kWh.

Mit den Venturi-Pistolen werden Einsparungen in Höhe von 30 Prozent erwartet. Die Investitionskosten belaufen sich pro Pistole auf etwa 25 €.

Unternehmensgröße	Mittel
Investitionssumme	200 €
Energieeinsparung (Strom)/ a	2.010 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ²	844 kg/ a
Kosteneinsparung	641 €
Amortisationszeit	0,3 a
Kapitalwert ³	8.014 €
Nutzungsdauer	fortlaufend

Weiterführende Informationen und Quellen

Druckluft effizient (2005): *Druckluft Abschlussbericht*, [online] <https://www.druckluft-effizient.de/downloads/Abschlussbrochuere-druckluft-effizient.pdf>, [20.04.2023].

DVA Huber (2023): *Das Venturi-Prinzip* [online], <https://venturidüsen.de/>, [20.04.2023].

² CO₂-Emissionsfaktor: 0,420 kg/ kWh

³ Die Rentabilität wird hier als Kapitalwert dargestellt. Er ergibt sich aus der Summe der auf die Gegenwart abgezinste zukünftigen Erfolge einer Investition.



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Betriebszeiten des Druckluftkompressors optimieren

Kategorie der Maßnahme

Organisatorisch technisch-orientiert

Thema der Maßnahme

Druckluft

Umsetzungszeitraum

kurzfristig (bis zu zwei Monate)

Effizienz/ Substitution

Energieeffizienz

Umsetzung durch

Mitarbeitende

In vielen Industriebereichen wird Druckluft verwendet, um Endgeräte zentral mit mechanischer Energie zu versorgen. Die komprimierte Luft wird dabei über ein Leitungssystem mit festgelegtem Druckniveau zum Endgerät befördert. Grundsätzlich sollte hierbei auf eine möglichst effiziente Erzeugung sowie einen kurzen und leakagefreien Transport der Druckluft geachtet werden. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf den Energieverbrauch ist aber auch die Betriebszeit des Kompressors. Hier lassen sich durch technische Optimierungen kurzfristig Einsparungen erzielen.

Einordnung

In einem perfekten System kann das Druckluftniveau über lange Zeit nahezu ohne Verluste gehalten werden. Leider ist nahezu kein Druckluftnetz perfekt, weshalb stetig Verluste entstehen. Insbesondere in Zeiten, in denen keine Druckluft an Werkzeugen und Maschinen abgenommen wird, geht diese anteilig im System verloren und muss durch einen Kompressor neu erzeugt werden, um das angesetzte Druckniveau zu halten. Die Arbeitszeiten des Kompressors oder der Kombination mehrerer Kompressoren sollten also so weit wie möglich optimiert werden, wofür es verschiedene Möglichkeiten gibt.

Umsetzung

Die umzusetzenden Maßnahmen richten sich ganz nach der aktuellen Ist-Situation, die in einem ersten

Schritt detailliert erfasst werden sollte. Dabei ist insbesondere zu klären, wie die Druckluftherzeugung aktuell betrieben wird, wann Kompressoren ausgeschaltet werden und wie das erfolgt. Danach sollte überprüft werden, welche Geräte außerhalb der Betriebszeiten überhaupt mit Druckluft versorgt werden müssen. Liegen außerhalb der Betriebszeiten keine Druckluftverbraucher vor, so kann bei Betriebsschluss die Druckluftversorgung ausgeschaltet werden. Auf diese Weise laufen Kompressoren nicht im Leerlaufbetrieb und Leckagen und Druckverluste im Druckluftnetz werden nicht automatisch ausgeglichen.

Unter Umständen geht es außerhalb der Betriebszeit auch nur um die Versorgung von einzelnen Verbrauchern, die vielleicht auch durch elektrische Alternativen zur Druckluft zu ersetzen sind. Sind Verbraucher vorhanden, die nicht ersetzt werden können, kann möglicherweise das Druckniveau außerhalb der Hauptbetriebszeiten an diese angepasst, das heißt gesenkt werden insbesondere, wenn es sich um ein älteres System handelt. Dieses wird unumgänglich auch eine höhere Anzahl von Leckagen aufweisen und somit Verluste haben

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Ist-Situation und Betriebszeiten des Kompressors erfassen
- ☐ Anforderungen des Druckluftnetzes analysieren und mit Ist-Situation abgleichen
- ☐ Anpassungen an Einstellungen und Betriebszeiten vornehmen
- ☐ Technische Maßnahmen umsetzen

Unterliegen die Kompressoren häufigen Schwankungen bei An- und Abschaltung, sind die Hinweise auf ein ungünstiges Zusammenspiel der Kompressoren oder ein verändertes Verbrauchsprofil im Vergleich zur ursprünglichen Dimensionierung des Systems.

Es kann außerdem geprüft werden, ob das gesamte Leitungsnetz oder Teilbereiche außerhalb der Betriebszeiten oder in Pausen durch Absperrventile von der Drucklufterzeugung abgekoppelt werden können.

Die Umsetzung einer solchen Maßnahme sollte bevorzugt durch eine automatisierte Lösung erfolgen. Dabei kann beispielsweise eine Zeitschaltung am Kompressor zum Einsatz kommen. Ist dies nicht möglich, können auch Prozessanweisungen erstellt und im Betrieb implementiert werden.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Insbesondere in alten Leitungen können sich durch den Druckanstieg beim Einschalten des Kompressors Verschmutzungen im Inneren der Rohre lösen, die ggf. zu Schäden am Leitungsnetz führen. Im Falle von alten Leitungen sollte das System daher stets auf den aktuellen Zustand untersucht und gegebenenfalls gereinigt oder erneuert werden.

Wechselwirkungen zu anderen Maßnahmen

Sollten bereits andere Maßnahmen wirtschaftlich bewertet worden sein, so ist zu prüfen, ob sich die daraus berechnete Einsparung und Wirtschaftlichkeit durch die geringeren Betriebsstunden verändert hat.

Co-Benefits

Durch die geringeren Betriebsstunden der Anlage verringert sich auch der Verschleiß, was einen positiven Effekt auf die Lebensdauer und die Wartungskosten mit sich bringt. Bei größeren Kompressorstationen ist zu beachten, dass die Laufzeiten und damit die Abnutzung der Kompressoren gleichmäßig sein sollten.

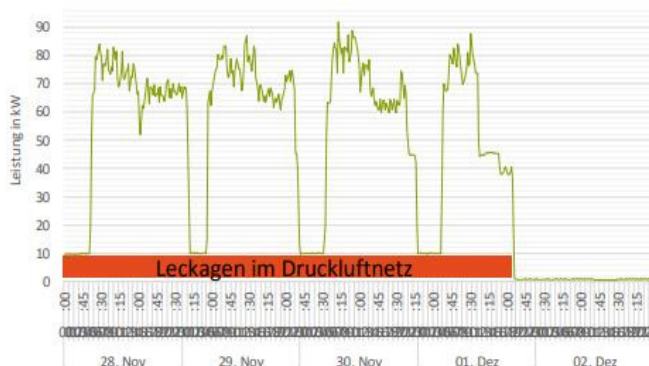
In zahlreichen Druckluftstationen variieren Alter, Größe und Effizienz verschiedener Kompressoren. Bei der Prüfung der Betriebszeiten sollte auch geprüft werden, dass die energieeffizientesten Kompressoren grundsätzlich die meisten Betriebszeiten aufweisen und ggf. bei mehreren Kompressoren die Grundlast decken sollten.

PRAXISBEISPIEL

Hohe Verluste bei Nacht durch einen laufenden Kompressor

In diesem realen Beispielunternehmen wird ein Kompressor mit 18,5 kW elektrischer Leistung verwendet. Dieser wird außerhalb der Betriebszeiten nicht ausgeschaltet, obwohl kein Gerät die Druckluft benötigt. Die Betriebszeiten sind werktags von 6 bis 22 Uhr. An Wochenenden ist der Betrieb geschlossen. Die Laufzeiten des Kompressors außerhalb der Betriebszeiten betragen demnach 4.712 Stunden im Jahr. Über Messungen konnte festgestellt werden, dass die Leistung des Kompressors auch außerhalb der Produktionszeiten bei rund 10 kW liegt. Dies wurde auf Leckagen und andere Verluste zurückgeführt. Am 02. Dezember wurde der Kompressor zum ersten Mal testweise ausgestellt.

Im Lastgang ist der Gesamtenergieverbrauch des Unternehmens dargestellt. Die Druckluftherzeugung verursacht nur einen Teil des gezeigten Verbrauchs.



Bildnachweis: Limón GmbH

Aus den vorliegenden Daten konnte der Energieverbrauch des Kompressors errechnet werden, der jährlich bei ca. 107.030 kWh liegt. In der produktionsfreien Zeit fällt ein Verbrauch von ca. 47.120 kWh an. Das sind rund 44 Prozent des Gesamtverbrauchs, die durch einfache Maßnahmen nun eingespart werden können.

Durch einen Mehrverbrauch zu Beginn der Produktionszeiten ist mit einer finalen Stromeinsparung von rund 35.000 kWh zu rechnen.

Unternehmensgröße	mittel
Investitionssumme	keine
Energieeinsparung (Strom)/ a	35.000 kWh
CO ₂ -Einsparung/ a ¹	14,7 t/ a
Kosteneinsparung ²	11.165 €
Amortisationszeit	-
Nutzungsdauer	Abhängig vom Zustand des Kompressors

Weiterführende Informationen und Quellen

Druckluft effizient (2005): Druckluft Abschlussbericht, [online]

<https://www.druckluft-effizient.de/downloads/Abschlussbrochuere-druckluft-effizient.pdf>, [12.04.2023].

¹ CO₂-Emissionsfaktor: 0,42 kg/ kWh

² Strompreis: 0,319 €/ kWh



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Effiziente Kompressoren und optimierte Luftansaugung bei der Erzeugung von Druckluft

Kategorie der Maßnahme

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme

Druckluft

Umsetzungszeitraum

mittelfristig

Effizienz/ Substitution

Substitution

Umsetzung durch

Mitarbeitende

Durch den Einsatz drehzahlvariabler Kompressoren lässt sich der jährliche Stromverbrauch um bis zu 15 Prozent reduzieren. Eine verbesserte Druckluftaufbereitung kann zu jährlichen Einsparungen von 5 Prozent führen.

Einordnung

Druckluft ist eine der teuersten Energieformen in Industriebetrieben, da lediglich 5 – 14 Prozent der eingesetzten Energie in Nutzleistung umgewandelt wird (Gloor, 2017). Mit etwa 7 Prozent des industriellen Stromverbrauchs in Deutschland sind Druckluftanlagen zugleich ein wichtiger Energieverbraucher mit großem Effizienzpotenzial (Rohde, 2021).

Viele Kompressoren zur Druckluftbereitstellung in Industriebetrieben werden mit einer festen Motordrehzahl in einer Vollast-Leerlauf-Regelung betrieben. Das Ein- und Ausschalten des Kompressors wird dabei durch einen unteren und oberen Druckgrenzwert im System bestimmt. Bei schwankendem Druckluftbedarf ist dieser Betrieb durch Leerlauf-, Anlauf- und Nach-

laufverluste sehr ineffizient. Kommen mehrere Kompressoren in einer Druckluftstation zum Einsatz, kann eine übergeordnete Steuerung die Schaltvorgänge reduzieren und damit die Effizienz erhöhen, indem manche Kompressoren die Grundlast stellen und andere bei Spitzenlast dazu geschaltet werden. Dadurch lassen sich jährlich bis zu 12 Prozent an elektrischer Energie einsparen. Noch deutlich effizienter kann der Bedarf durch den Einsatz von umrichterbetriebenen, drehzahlvariablen Kompressoren gedeckt werden. Diese stellen den geforderten Volumenstrom bei konstantem Druck zur Verfügung und führen durch verringerte Druckschwankungen auch zu geringeren Strömungsverlusten. Das Einsparpotenzial liegt bei bis zu 15 Prozent des jährlichen Strombedarfs und ist umso höher, je stärker der Bedarf an Druckluft in der Anwendung schwankt.

Umsetzung

Zuerst sollte eine Bestandsaufnahme aller eingesetzter Kompressoren und deren Steuerung und Ansaugsysteme durchgeführt werden. Anschließend sollte die

¹ Maßnahme mit sehr geringen Anschaffungs-/ Herstellungskosten, z. B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.

Häufigkeit von Ein- und Ausschaltvorgängen bei Kompressoren mit fester Drehzahl überprüft werden. Werden häufige Schaltvorgänge festgestellt, sollte der Umbau der Einzelsysteme zu einer zentralen Kompressorstation mit einer übergeordneten Steuerung in Erwägung gezogen werden. Bestehende Kompressoren mit fester Drehzahl können darin die Grundlast bereitstellen, die Spitzenlast kann effizient durch drehzahlvariable Kompressoren erzeugt werden.

Aufgrund der höheren Dichte sollte die vom Kompressor angesaugte Luft möglichst kühl sein, um die Effizienz der Anlage zu erhöhen. Dies kann etwa durch einen direkten Außenluftanschluss erreicht werden. Dabei ist der Einbau einer motorisch angetriebenen Außenluftklappe sinnvoll, die bei einer Ansaugtemperatur über 5 °C die Außenluftverbindung öffnet und bei Unterschreitung von 5°C warme Raumluft beimischt. Durch kühlere Ansaugluft kann eine Effizienzsteigerung von 0,3 %/K erreicht werden. Das Einsparpotenzial einer optimierten Luftansaugung und -aufbereitung liegt bei ca. 5 Prozent des jährlichen Strombedarfs (Radgen 2001). Diese Maßnahme hat bei geringem Aufwand eine große Wirkung, welche jedoch im Sommer und an Orten mit dauerhaft hoher Außentemperatur geringer ausfällt.

Bei größeren Anlagen sollte die Möglichkeit einer Abwärmenutzung, eventuell in Kombination mit einer Wärmepumpe zu Heizzwecken oder Warmwasserbereitung, geprüft werden.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Bestandsaufnahme aller Kompressoren
- ☐ Monitoring von Vollast-Leerlauf-Zyklen
- ☐ Implementierung einer übergeordneten Steuerung in gemeinsamer Station prüfen
- ☐ Einsatz drehzahlvariabler Kompressoren prüfen
- ☐ Außenluftanschluss bei Luftansaugungen überprüfen
- ☐ Möglichkeiten der Abwärmenutzung prüfen

Herausforderungen und Lösungsansätze

Beim Umbau einer Kompressorstation kann es zu einer Produktionsunterbrechung kommen. Der Umbau sollte daher während einer ohnehin geplanten Produktionsunterbrechung durchgeführt werden, beispielsweise während einer Anlagenrevision.

Befindet sich die Druckluftanlage weit entfernt von einer Außenwand, ist zur Realisierung einer Außenluftansaugung ein Lüftungskanal mit großem Durchmesser über lange Strecken notwendig. In diesem Fall kann es sich lohnen, die Anlage an eine Außenwand zu versetzen. In dem Zuge kann der Kompressor eventuell direkt mit anderen Kompressoren zu einer gemeinsamen Station integriert werden.

Fördermöglichkeiten

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ermöglicht im Rahmen der Förderung hocheffizienter Querschnittstechnologien die Förderung von effizienten Druckluftanlagen sowie deren übergeordneter Steuerung.

Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen

Wird Druckluft durch Ausbessern und Vermeiden von Leckagen eingespart, reduziert sich der Volumenstrom und damit der Nutzen durch effiziente Kompressoren und Außenluftansaugung geringfügig. Eine Leckageprüfung sollte in jedem Fall stattfinden, bevor neue Kompressoren geplant werden.

Co-Benefits

Durch den Einsatz einer übergeordneten Steuerung und von drehzahlvariablen Kompressoren reduziert sich die störende Geräuschbelastung durch Verringerung oder Vermeidung der Vollast-Leerlauf-Zyklen. Kühlere Ansaugluft durch Außenluftansaugung führt zu einer Verringerung der Kondensatbildung und der Restfeuchte der Druckluft. Eine Außenluftansaugung kann bei staubigen Produktionshallen zudem den Filtermaterialverbrauch verringern.

PRAXISBEISPIEL

Umstellung der Luftzufuhr mehrerer Druckluftkompressoren auf Außenluftansaugung

In einem mittelgroßen Druckereiunternehmen befinden sich mehrere Kompressoren mit direkter Luftansaugung in einem warmen Aufstellungsraum mit einer durchschnittlichen Raumtemperatur von 24 °C. Mit geringer Investition wird die Luftzufuhr auf eine Außenluftansaugung umgestellt. Vor allem im Winter und in den Übergangsjahreszeiten können dadurch die Ansaugtemperaturen deutlich reduziert und so erhebliche Mengen an Strom eingespart werden. Der investive und bauliche Aufwand ist gering und die Investition amortisiert sich in weniger als zwei Jahren.

Unternehmensgröße **150 Mitarbeitende**

Investitionssumme **3.150 €**

Energieeinsparung (Strom)/ a **5.300 kWh/ a**

Energieeinsparung (Gas)/ a

CO₂-Einsparung/ a² **2,2 t/ a**

Kosteneinsparung³ **1.690 €/ a**

Amortisationszeit **1,9 Jahre**

Rentabilität⁴ **8.200 €**

Nutzungsdauer **10 Jahre**

Weiterführende Informationen und Quellen

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): *Website zur Förderung von investiven Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz in Querschnittstechnologien*, [online], https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul1_Querschnittstechnologien/modul1_querschnittstechnologien_node.html, [30.03.2023].

Cluse, R. (2022): *Online-Seminar Effiziente Druckluftsysteme*, [online], <https://plusplusprinzip.de/wp-content/uploads/2022/05/Effiziente-Druckluftsysteme-BVE-Klimaschutzkampagne.pdf>, [30.03.2023].

Gloor, R. (2017): *Impuls-Seminar Energieeffiziente Druckluft*, [online], <https://docplayer.org/53354137-Impuls-seminar-energieeffiziente-druckluft.html> [27.03.2023].

Radgen, P., Blaustein, E. (2001): *Compressed Air Systems in the European Union. Energy, Emissions, Savings potential and Policy Actions*, Stuttgart: LOGUL X Verlag.

Rohde, C. (2021): *Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD*, Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe.

Rößler, M. P. (2014): *Energieeffizienz bei der industriellen Druckluftherzeugung. Studie zu Entwicklungen, Trends und alternativen Erzeugungstechnologien*, TU Darmstadt.

Ruppelt, E. (Hrsg.) (2003): *Druckluft-Handbuch*, Essen: Vulkan-Verlag.

² CO₂-Emissionsfaktor: 420 g CO₂-Äquivalent/ kWh

³ Strompreis: 31,9 ct/ kWh

⁴ Rentabilität: Nettobarwert mit kalkulatorischem Zinssatz von 8 %



Factsheet zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution

Effiziente Druckluftverteilung

Kategorie der Maßnahme

Gering-investiv¹

Thema der Maßnahme

Druckluft

Umsetzungszeitraum

mittelfristig (wenige Monate)

Effizienz/ Substitution

Substitution

Umsetzung durch

Management

Bei der Druckluft können nur etwa 10 Prozent der eingesetzten Energie als Nutzenergie verwendet werden². Alle Komponenten des Druckluftsystems optimal zu betreiben ist daher wichtig für maximale Energieeffizienz. Die Druckluftverteilung etwa wird im Vergleich zu neuen Kompressoren oder einem sauberen Leckagemanagement oft weniger berücksichtigt, birgt jedoch ebenfalls erhebliche Energieeffizienzpotenziale.

Einordnung

Druckluftverteilung bezieht sich auf die Infrastruktur, die erforderlich ist, um Druckluft von einem Kompressor zu verschiedenen Verbrauchern zu transportieren. Eine typische Druckluftverteilung besteht aus Rohrleitungen, Armaturen und Ventilen.

Eine gut geplante und ausgeführte Druckluftverteilung ist wichtig, um eine zuverlässige und effiziente Versorgung mit Druckluft zu gewährleisten. Eine ineffiziente Druckluftverteilung kann zu Druckverlusten, Energieverschwendung und höheren Betriebskosten führen, gerade in historisch gewachsenen Systemen.

Umsetzung

Die Leitungslänge eines Druckluftnetzes lässt sich mit folgender Faustformel beschreiben: je kürzer, desto besser. Bei langen Verteilungswegen sind die Möglichkeiten des Druckverlustes höher, das Druckniveau fällt schneller ab und es entstehen mehr Leckagen. Es kann vorkommen, dass am Ende nicht mehr der gewünschte Druck ankommt, was in der Praxis häufig dazu führt, dass einfach das Druckniveau am Kompressor angehoben wird. Dies erhöht den Energieverbrauch.

Erste Schritte bei der Umsetzung

- ☐ Stellen identifizieren, an denen Verteilung und Dimensionierung nicht optimal sind
- ☐ Zu lange Schläuche austauschen
- ☐ Ggf. Leitungsführung anpassen, um Knicke und Bögen zu vermeiden
- ☐ Alte und kaputte Ventile und Armaturen austauschen
- ☐ Druckluftsystem in Zonen aufteilen

Es ist daher wichtig, auf optimale Rohrverteilung und -dimensionierung zu achten. Auch eine gerade Leitungsführung mit Vermeidung von Knicken und Bögen

¹ Maßnahme mit sehr geringen Anschaffungs-/Herstellungskosten, z.B. wenige hundert Euro bei kleinen Unternehmen oder wenige tausend Euro bei größeren Unternehmen.

² Die Angabe wurde der unter weiterführende Informationen genannten Quelle <https://energie.ch/druckluft/> entnommen.

kann durch eine sorgfältige Planung der Druckluftverteilung sichergestellt werden. Zusätzlich sollte das Verteilsystem in Zonen (nach Nutzung) mit geeigneter Druckregelung oder Absperrventilen eingeteilt werden. So werden nicht genutzte Leitungsabschnitte durch Absperrungen aus der Verteilung genommen und eine bestmögliche Effizienz des Systems wird sichergestellt.

Die hohen Verluste durch Leckagen und verzweigte Leistungswege können sogar dazu führen, dass an den Maschinen, Anlagen und Werkzeugen beispielsweise vielleicht nur 5 Bar benötigt werden, aber dennoch 8 Bar erzeugt werden müssen. Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass es zu keinen Verengungen innerhalb der Leitung kommt. Durch solche Verengungen kann der Luftfluss gestört werden. Um das zu verhindern, sollten die Druckluftschläuche möglichst kurzgehalten und manuelle Verlängerungen und „Schlauchsalat“ vermieden werden. Spiralschläuche können durch gerade PU-Schläuche ersetzt werden.

Der Druckabfall zwischen Druckluftbehälter und Kuppelung sollte 0,1 bar nicht übersteigen. Eine geringe Innenrauigkeit der Verteilungsleitungen hilft zusätzlich, die Qualität der Luft nicht zu beeinträchtigen.

Um weitere Druckverluste zu verringern, sollten außerdem bestehende Armaturen durch verlustarme ersetzt werden. Ein Austausch der bestehenden Sitzventile oder ersatzbedürftiger Armaturen mit hohem Druckverlust durch moderne Kugelhähne oder Klappen mit vollem Durchgang ist zu empfehlen.

Generell ist zu prüfen, ob das gesamte Leitungsnetz oder Teilbereiche außerhalb der Betriebszeiten von der Druckluftzentrale abgekoppelt werden können.

Herausforderungen und Lösungsansätze

Die Erneuerung des Verteilernetzes ist oft mit hohen Kosten verbunden. Daher wird diese Maßnahme trotz der erheblichen Einspareffekte in vielen Unternehmen nicht priorisiert.

Um die Gesamtkosten zu senken, kann es hilfreich sein, das Vorhaben in Teilprojekte zu zerlegen und Bereiche nach und nach abzarbeiten. So kann der Arbeitsaufwand oft über die normale Instandhaltung abgebildet werden oder einzelne Sanierungen können mit der Wartung abgearbeitet werden.

PRAXISBEISPIEL

Austausch alter Druckluftleitungen

Ein Unternehmen aus dem Bereich der Metallverarbeitung benötigt für mehrere Anlagen Druckluft und verfügt daher über ein Druckluftsystem in Form einer Ringleitung, welches mit 7,6 bar betrieben wird.

Die circa 30 Meter lange Rohrleitung ist knapp 40 Jahre alt und besteht aus verzinktem Stahl.

Die Rohre werden nun gegen neue Aluminium-Rohre ausgetauscht, wodurch die Durchflussleistung um 24 Prozent gesteigert wird. Zusätzlich werden an einigen Stellen kleinere Schäden behoben, Ventile ausgetauscht und 3 Zonen gebildet.

Im Unternehmen wird im 2-Schicht-Betrieb gearbeitet und pro Jahr können rund 5.600 Betriebsstunden am Kompressor erwartet werden, der Montagmorgen an und erst Samstagmorgen wieder ausgeschaltet wird.

Derzeitig wird ein 20 kW-Kompressor betrieben, um einen Volumenstrom von 4,5 m³/min zu liefern. Mit dem neuen Rohrsystem kann dieselbe Leistung auch von einem noch verfügbaren 15 kW-Kompressor erreicht werden.

30 Meter Aluminiumleitungen kosten etwa 500 €, die Anschaffung der übrigen Teile beläuft sich ebenfalls auf wenige 100 €. Die Installation und Montage wird von den betriebseigenen Elektrikern und Schlossern vorgenommen und findet deshalb keine Berücksichtigung in der Amortisationsrechnung.

Unternehmensgröße	mittel
Investitionssumme	1.000 €
Energieeinsparung (Strom)/ a	28.000 kWh/ a
CO ₂ -Einsparung/ a ³	11,76 t/ a
Kosteneinsparung ⁴	8.932 €/ a
Amortisationszeit	1 - 2 Monate
Kapitalwert ⁵	79.232 €
Nutzungsdauer	10 Jahre

Weiterführende Informationen und Quellen

Fraunhofer ISI (2003): *Druckluft effizient*, Karlsruhe, [online], <http://druckluft-effizient.de/wp-content/uploads/2020/09/fakten-00-09.pdf>, [02.12.2022].

energie.ch (2023): *Druckluftsysteme - Kennzahlen und Informationen über Energiesparmöglichkeiten bei Druckluftanlagen*, [online], <https://energie.ch/druckluft/>, [11.05.2023].

³ CO₂-Emissionsfaktor: 420 g/ kWh

⁴ Strompreis: 31,9 ct/ kWh

⁵ Die Rentabilität wird hier als Kapitalwert dargestellt. Er ergibt sich aus der Summe der auf die Gegenwart abgezinsten zukünftigen Erfolge einer Investition.

Werden Sie Teil der Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke

Die Factsheets zu Kurzfristmaßnahmen für Energieeinsparung und Energiesubstitution werden von der Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke publiziert. Seit 2014 unterstützt die Netzwerkinitiative Unternehmen aller Branchen und Größen dabei, sich in Netzwerken auszutauschen und dadurch Maßnahmen für mehr Energieeffizienz und Klimaschutz zu identifizieren und umzusetzen. Die Netzwerkinitiative wird von 21 Verbänden und Organisationen der Wirtschaft gemeinsam mit der Bundesregierung getragen und von zahlreichen weiteren Projektpartnern unterstützt.

Die Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke unterstützt



Träger der Initiative



Kooperationspartner der Initiative



Geschäftsstelle



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz**

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

Herausgeber

Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke
c/o Geschäftsstelle
Deutsche Energie-Agentur (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Dieses Factsheet entstand in Kooperation mit der Limón GmbH und IREES GmbH - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien.

Sie möchten mehr News aus der Netzwerkinitiative erhalten?



Abonnieren Sie
unseren Newsletter



Folgen Sie uns auf Twitter
@IEEKN_news