

Korrekte Parametrisierung der Druckluftsteuerung

Durch eine effiziente Steuerung von Druckluftanlagen lassen sich wesentliche Kosteneinsparungen erreichen

Steigende Energiekosten sind in vielen Betrieben zurzeit ein Thema. Auf Druckluftanlagen entfallen durchschnittlich 10% der Stromkosten in Industrie- und Gewerbebetrieben, wobei in einigen Branchen deutlich höhere Werte auftreten. Häufig wird Energie verschwendet, weil die Steuerung der Kompressoren und ihres Zusammenspiels ungenügend ist. Meist reicht schon eine Neuparametrisierung der Steuerung, um Energieeinsparungen in der Grössenordnung von 10% zu realisieren, ohne dass Investitionen erforderlich sind. Wie diese und andere Einsparpotenziale risikolos genutzt werden können, erfahren Anwender jetzt durch die Kampagne «Effiziente Druckluft» von Energie-Schweiz.

Innerhalb der Kompressorstation ist zwischen der internen Regelung des einzelnen Kompressors und der übergeordneten Regelung für das Zusammenspiel der einzelnen Kompressoren in der Druckluft-

Peter Radgen, Thomas Lang

station zu unterscheiden. Ziel der übergeordneten Steuerung ist es insbesondere, für eine gleichmässige Auslastung der Kompressoren zu sorgen und diese entsprechend des Druckluftbedarfs einzusetzen. Vielfach übernimmt sie zudem Alarmfunktionen und die Auswertung und Dokumentation der Betriebsdaten. Einen Überblick über die Steuerung von Druckluftanlagen zeigt Bild 1.

Als Führungsgrösse für die Steuerung der Druckluftanlagen wird meistens der Netzdruck verwendet. Dieser wird häufig am Druckluftbehälter gemessen, seltener auch an einem von der Druckluftstation entfernten Punkt in der Druckluftverteilung. Die Druckmessung erfolgt dabei im einfachsten Fall mit mechanischen Druckschaltern. Diese arbeiten allerdings sehr ungenau ($\pm 0,2$ bar) und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Moderne elektronische Druckaufnehmer weisen

demgegenüber Genauigkeiten von etwa 0,03 bar auf. Durch den Einsatz elektronischer Druckaufnehmer kann somit das für den einwandfreien Betrieb erforderliche Druckband zwischen Einschalt- und Ausschalt drücken verkleinert werden, zudem ist eine grössere Druckkonstanz gegeben. Jedes Bar Druckreduzierung ist

dabei energetisch wertvoll, denn je 0,1 bar erforderlicher Druckerhöhung steigt der Energiebedarf um etwa 0,7% an.

Interne Steuerung der Kompressoren

Einzelne Kompressoren können sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich geregelt werden. Die Vollast/Leerlauf-Aussetzregelung ist im Druckluftbereich die verbreitetste Lösung, wobei in den letzten Jahren der Einsatz drehzahl geregelter Antriebe deutlich an Bedeutung zugenommen hat.

Bei der Vollast/Leerlauf-Aussetzregelung läuft der Kompressor bei Erreichen der unteren Druckgrenze p_{min} an und fördert Luft ins Netz. Durch die Erhöhung der Liefermenge steigt der Druck im Netz an und bei Erreichen der oberen Druckgrenze von p_{max} geht der Kompressor durch Druckentlastung zuerst in den Leerlauf. Sinkt der Netzdruck während der Leerlaufzeit wieder auf p_{min} ab, so wechselt der Kompressor von Leerlauf auf Vollast, andernfalls wird nach Ablauf einer bestimmten Nachlaufzeit der Kompressor vollständig abgeschaltet. Bild 2 zeigt die Leistungsaufnahme und den Druckverlauf einer solchen Steuerung.

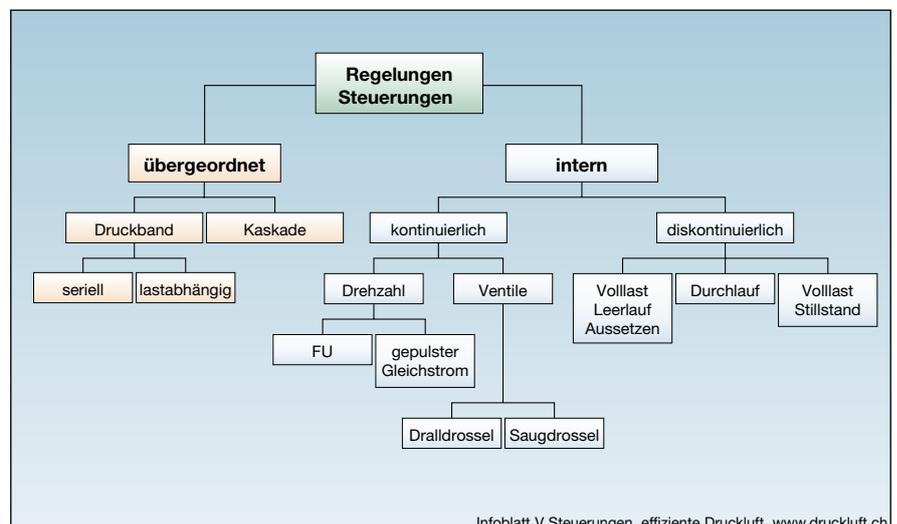


Bild 1 Steuerung von Druckluftanlagen

Infoblatt V Steuerungen, effiziente Druckluft, www.druckluft.ch

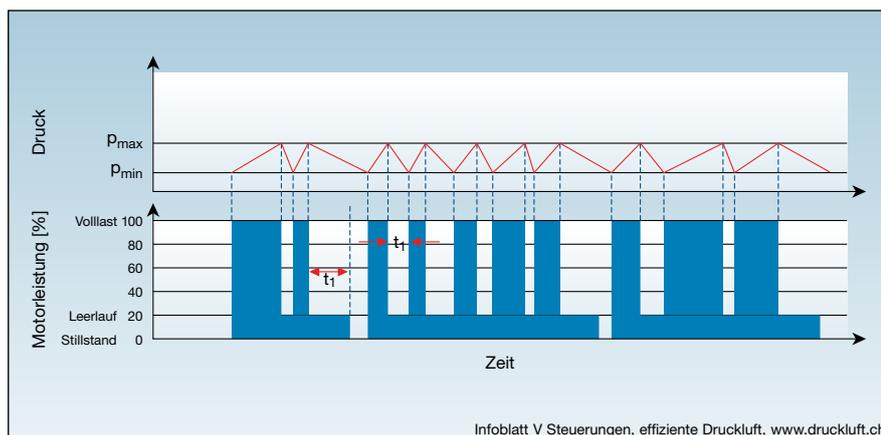


Bild 2 Volllast/Leerlauf-Aussetzregelung eines Kompressors

Die Länge der erforderlichen Nachlaufzeit im Leerlauf ist dabei abhängig von der Anzahl der zulässigen Schaltspiele des Elektromotors. Um eine thermische Überlastung des Motors durch häufiges Starten zu verhindern, darf der Motor je nach Grösse maximal 4 bis 10 Schaltspiele pro Stunde ausführen. Um dies sicherzustellen, muss die Nachlaufzeit dann auf 6 bis 15 Minuten eingestellt werden, in denen der Kompressor Strom verbraucht, ohne Druckluft zu erzeugen. Dies kann je nach Druckluftverbrauchsprofil und Konfiguration der Druckluft-erzeugung zu hohen Leerlaufkosten und damit zu einer ineffizienten Druckluft-erzeugung führen. Moderne Steuerungen passen deshalb die Nachlaufzeiten der Kompressoren in Abhängigkeit von den auftretenden Druckgradienten an. Zu beachten ist dabei, dass für Kolbenkompressoren ggf. keine Nachlaufzeiten erforderlich sind, d.h., dass diese im Last-/Aus-Betrieb eingesetzt werden können.

Kontinuierlich geregelte Anlagen arbeiten in einem Druckband zwischen p_{max} und p_{min} , wobei zusätzlich ein Sollwert

vorgegeben wird. Die gängigste Möglichkeit zur kontinuierlichen Regelung von Kompressoren ist die Drehzahlregelung, die entweder über Frequenzumrichtung oder über Gleichstrommodulation erfolgen kann. Der Kompressor wird jeweils bei einem Druck p_{min} gestartet. Die Drehzahl des Motors ergibt sich dann aus der Anlagenkennlinie, sodass die Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert möglichst gering ist. Typischerweise kann eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ bar erzielt werden. Liegt der Druckluftverbrauch ausserhalb des Regelbereichs, so wird je nach Folgesteuerung die Anlage abgeschaltet oder ein zusätzlicher Kompressor zugeschaltet. Bild 3 zeigt das Regelverhalten eines entsprechenden Kompressors.

Drehzahlvariable Kompressoren arbeiten am effizientesten im Bereich von 40 bis 80% ihrer Maximallast, sie können aber auch mit 20% der Maximallast betrieben werden. Allerdings sinkt der Wirkungsgrad in diesen Fällen deutlich ab. Bild 4 zeigt ein typisches Profil der spezifischen Leistung über der Auslastung

bzw. der Drehzahl. Gerade in Fällen, in denen häufig Teillastzustände auftreten, arbeiten sie aber meist effizienter als Kompressoren mit Volllast/Leerlauf-Aussetzregelung. Welche Lösung im konkreten Fall die optimale ist, sollte durch entsprechende Analysen vor der Investition geprüft werden.

Nachteilig für die Wirtschaftlichkeit sind die hohen Kosten für den Frequenzumrichter, die dazu führen, dass die Investitionen für einen gleich grossen Kompressor mit Frequenzumrichter etwa 70% höher sind als für einen Kompressor mit Last/Leerlauf-Aussetzregelung. Zudem fallen etwas höhere Wartungskosten an, und der Wirkungsgrad im optimalen Betriebspunkt ist aufgrund der zusätzlichen Verluste des Frequenzumrichters meist etwas geringer. Zu berücksichtigen sind auch die Netzrückwirkungen, die durch entsprechende Massnahmen ausgeschlossen werden müssen.

Neben der Drehzahlregelung kommt gelegentlich auch die Ansaugdrosselregelung zum Einsatz, die auch als Proportionalregelung bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um Kompressoren mit Volllast/Leerlauf-Aussetzregelung, die zusätzlich mit einem Ansaugregler versehen sind. Die Ansaugregelung führt aber nur zu einer geringen Reduzierung des Stromverbrauchs und sollte deshalb heute nur noch in Sonderfällen bzw. im Bereich der Turbokompressoren zum Einsatz kommen. Bild 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Leistungsaufnahme und Liefermenge bei Proportionalregelung.

Übergeordnete Regelung

Neben der Einzelregelung der Kompressoren kommt der übergeordneten Steuerung der gesamten Druckluftstation eine besondere Bedeutung für die Effizienz der Gesamtanlage bei. Im Wesentlichen unterscheidet man dabei zwischen Kaskaden- und Druckbandregelung.

Bei der Kaskadensteuerung ist jedem Kompressor ein bestimmter Schaltbereich durch die übergeordnete Regelung zugewiesen (Bild 6).

Je nach Anzahl der Kompressoren führt eine Druckkaskadensteuerung zu einem erforderlichen Druckband von mehr als 1 bar. Da jedes zusätzliche Bar Druck etwa 6 bis 7% Mehrenergieverbrauch verursacht, liegen hier die ersten Einsparpotenziale. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass bei der Kaskadensteuerung der mittlere Netzdruck stark durch den im höchsten Druckbereich arbeitenden Kompressor bestimmt wird. Deshalb sollte diese Art der Steuerung bis maximal 2 Kompressoren eingesetzt werden.¹⁾ Meist

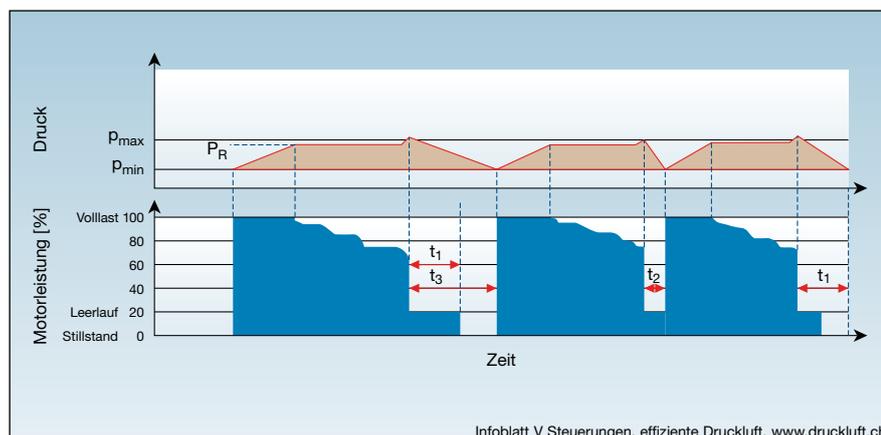


Bild 3 Regelung eines drehzahlgeregelten Kompressors

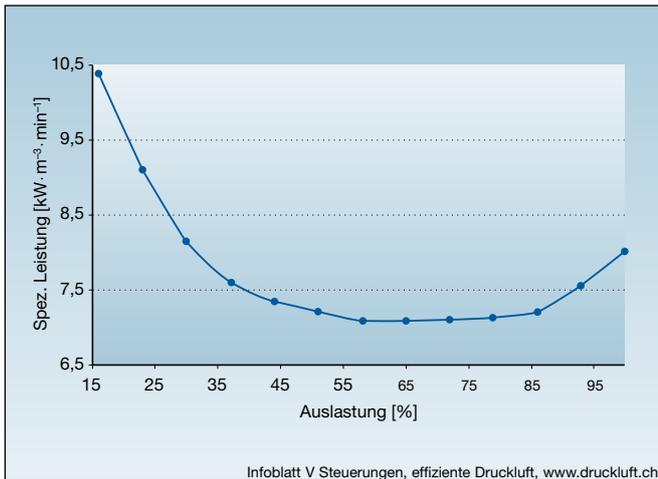


Bild 4 Spezifische Leistung eines drehzahl-regelbaren Kompressors in Abhängigkeit von der Auslastung

rechnet sich zudem der Ersatz von Druckkaskadensteuerungen durch moderne Druckbandsteuerungen, die zusätzlich weitere Funktionen übernehmen können und mit denen alle Kompressoren innerhalb eines engen Druckbandes von 0,2 bar geregelt werden können. Die Vorteile dieser Steuerungsart sind in Bild 7 dargestellt. Sie führt sowohl zu einer Reduktion des Maximaldruckes als auch des Druckbandes und somit zur Verringerung der Energiekosten der Druckluftstation.

Druckbandsteuerungen können zudem auch verschiedene Kompressorengrößen lastabhängig auswählen und koordinieren. Die richtige Auswahl der Kompressorengrößen verhindert, dass Regellöcher entstehen, die bei falscher Abstufung der Kompressoren zu Instabilitäten in der Steuerung führen können. Zur Verbesserung der Überwachung und zur Darstellung der Prozesse innerhalb einer Druckluftstation können diese übergeordneten Regelungen nicht nur die Daten der Kompressoren, sondern auch Daten der jeweiligen Aufbereitungs- und Verteilungssysteme in einer Druckluftstation

erfassen und diese über eine entsprechende Leittechniksoftware an eine zentrale Leitstelle weitergeben. Dies ermöglicht zudem ein einfaches Monitoring der Druckluftanlage einschliesslich des Energie- und Druckluftverbrauchs.

Weitere Potenziale liegen in der Integration der automatischen Nachtabschaltung der Druckluftanlage ausserhalb der Betriebszeiten. Durch die Abschaltung ausserhalb der Betriebszeiten können die Druckluftleckagen – meistens die Schwachstelle Nummer eins bei der Druckluftversorgung – deutlich reduziert werden. Bereits 10 Lecks mit je 1 mm Durchmesser führen zu vermeidbaren Energiekosten im Umfang von 5000 Franken pro Jahr. Leckagen eliminieren ist daher der erste Schritt zu weniger Energiekosten. Verlustarme Armaturen, Kupplungen und Schläuche helfen dabei, das Optimierungspotenzial auszuschöpfen. Wird die Druckluftanlage ausserhalb der Produktionszeiten – d.h. nachts und am Wochenende – automatisch durch die Steuerung abgeschaltet, so reduzieren sich die Kosten der 10 Lecks mit je 1 mm

Durchmesser auf 1800 Franken pro Jahr. Durch die automatisierte Abschaltung mittels der Steuerung lassen sich somit ohne weitere Massnahmen jährlich 3200 Franken einsparen.

Lastverteilung und Regellöcher

Damit eine Steuerung effizient arbeiten kann, müssen die Grössen der Kompressoren so gewählt werden, dass eine sinnvolle Steuerung möglich ist. Meist gibt es

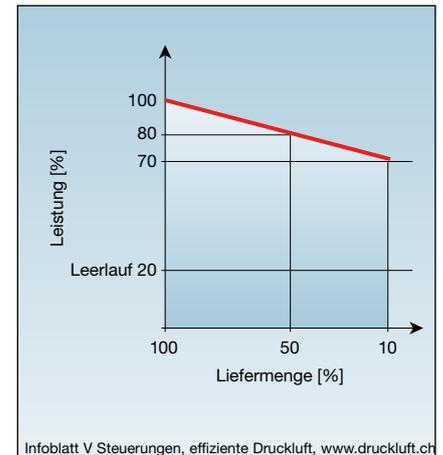


Bild 5 Regelung des Volumenstroms durch Ansaugdrosselung

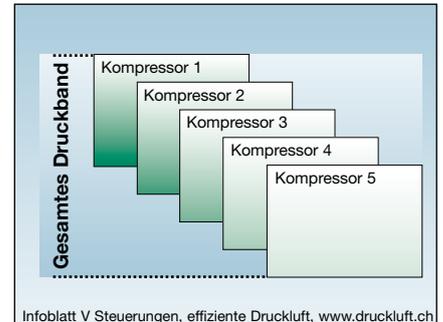


Bild 6 Kaskadensteuerung von mehreren Kompressoren

Installierte Kompressoren	Erste Schicht: 6.00–14.00 [15 m³/min]	Zweite Schicht: 14.00–22.00 [12 m³/min]	Nachtbetrieb: 22.00–6.00 [6 m³/min]	Investition [%]	Energieverbrauch [%]
15 m³/min	Hohe Effizienz; keine Absicherung ¹⁾	Durch Teillastbetrieb geringe Effizienz; keine Absicherung ¹⁾	Sehr niedrige Effizienz durch schwache Auslastung; keine Absicherung ¹⁾	50	100
15 m³/min 15 m³/min	Hohe Effizienz; 100% Absicherung ¹⁾	Durch Teillastbetrieb geringe Effizienz; 100% Absicherung ¹⁾	Sehr niedrige Effizienz durch schwache Auslastung; 100% Absicherung ¹⁾	100	100
7,5 m³/min 7,5 m³/min 7,5 m³/min	Hohe Effizienz; 100% Absicherung ¹⁾	Nur geringer Effizienzverlust durch Teillastbetrieb; 100% Absicherung ¹⁾	Nur geringer Effizienzverlust durch Teillastbetrieb; 100% Absicherung ¹⁾	80	94
9 m³/min 6 m³/min 6 m³/min	Hohe Effizienz; fast vollständige Absicherung ¹⁾	Nur geringer Effizienzverlust durch Teillastbetrieb; 100% Absicherung ¹⁾	Hohe Effizienz; 100% Absicherung ¹⁾	83	95

¹⁾ Redundanz

Tabelle Zusammenspiel verschiedener Kompressoren

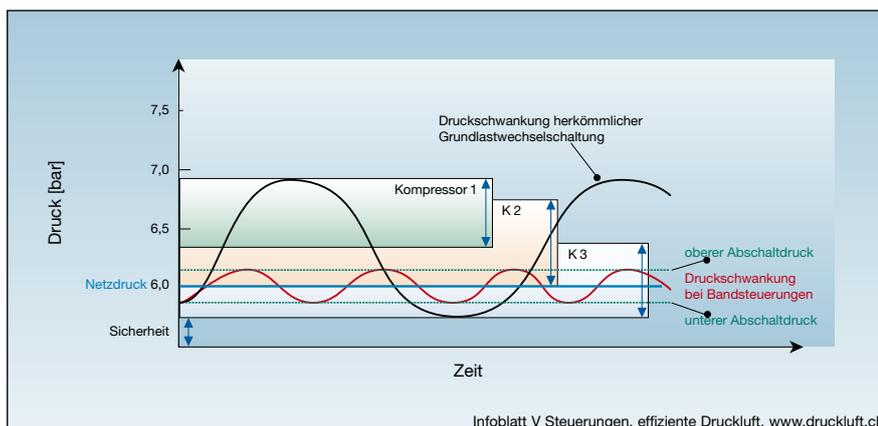


Bild 7 Druckbandregelung

Herkömmliche Grundlastwechselschaltungen (Kaskadensteuerungen) und moderne Kompressorverbundsteuerungen (Druckbandsteuerungen) weisen unterschiedliche Druckschwankungen und Druckeinsparungen auf

mehrere verschiedene Varianten, die unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Die Tabelle zeigt für vier unterschiedliche Kombinationen von Kompressoren die Auswirkungen in Abhängigkeit vom Druckluftverbrauch. Zudem unterscheiden sich die Varianten in Bezug auf Versorgungssicherheit (Redundanz), Investitionen und Energieverbrauch.

Die falsche Abstimmung der einzelnen Kompressoren kann auch nicht durch eine Steuerung wieder wettgemacht werden. Dies gilt auch bei Einsatz drehzahlgeleiteter Anlagen, mit denen die Liefermenge stufenlos verändert werden kann. Denn auch diese Anlagen haben einen begrenzten Regelbereich, der typischerweise zwischen 25 und 100% der maximalen Liefermenge liegt. Werden mehrere Kompressoren zur Deckung des Druckluftbedarfs eingesetzt, so kann ein Regelloch auftreten, wenn der Liefermen-

genregelbereich des geregelten Kompressors kleiner ist als die Liefermenge des nächsten schaltenden Kompressors. Bild 8 zeigt im linken Teilbild die fehlerhafte Kombination. Sobald die Liefermenge geringfügig über die Liefermenge des geregelten Kompressors hinausgeht, wird durch die Steuerung die Grundlastmaschine 1 zugeschaltet. Nach dem Zuschalten fährt die geregelte Maschine auf die minimale Liefermenge, allerdings kann sie nicht so weit herunterregeln, wie es dem Bedarf entspräche. Deshalb schaltet kurze Zeit später die Grundlastmaschine wieder ab. Die falsche Abstimmung führt in diesem Fall zu einem ständigen Schalten der Grundlastmaschine, was sich sowohl energetisch als auch in Bezug auf den Verschleiss negativ auswirkt. Im rechten Teilbild von Bild 8 ist das Schaltverhalten bei korrekter Auslegung dargestellt.

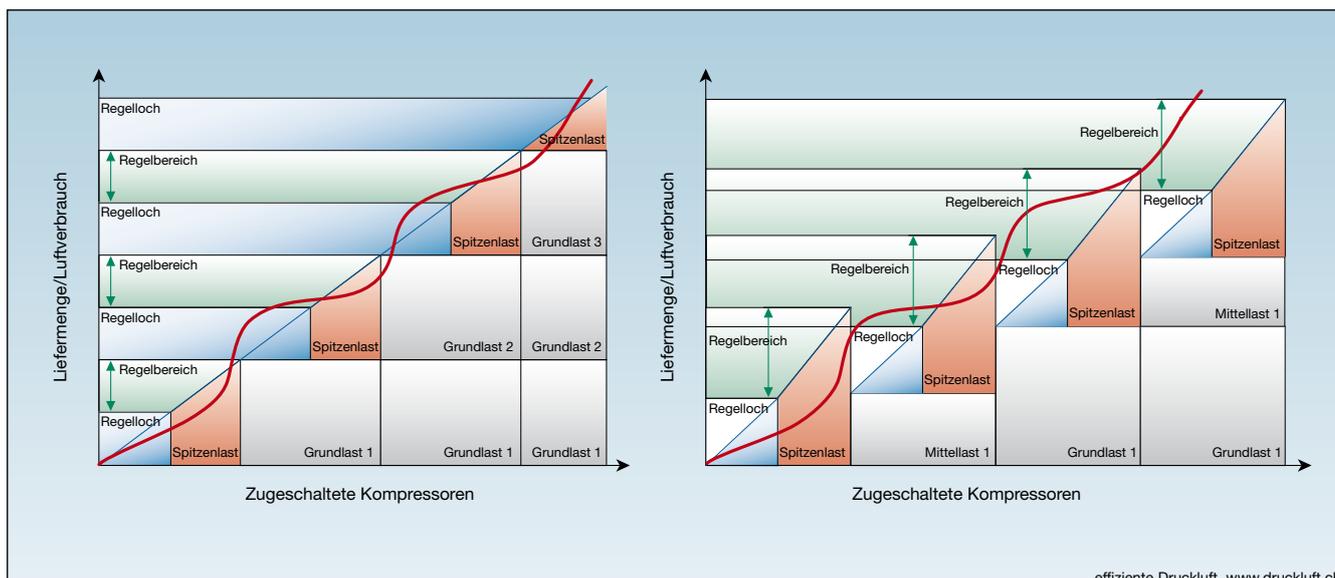


Bild 8 Anlagensplitting und Steuerung. Links: fehlerhaft; rechts: richtig

Dies gilt es insbesondere auch bei der Erweiterung der Druckluftstation mit einer drehzahlgeregelten Anlage zu beachten, denn in diesem Fall wird häufig der Fehler begangen, die vorhandenen gleich grossen Kompressoren um einen drehzahlgeregelten Kompressor gleicher Leistung zu ergänzen, was sofort zum Entstehen eines Regellochs führt.

Wahl der richtigen Schaltreihenfolge

Gerade bei Unternehmen mit stark unterschiedlichem Druckluftverbrauch während der Produktion und ausserhalb der Betriebszeiten kann häufig mithilfe der Steuerung der Energieverbrauch durch das Vertauschen von Grund- und Spitzenlastmaschine reduziert werden. Beträgt beispielsweise der Druckluftverbrauch tagsüber 15 m³/min, nachts aber nur 6 m³/min und wird die Luft mit zwei Verdichtern von 9 bzw. 6 m³/min Liefermenge erzeugt, so führt das Vertauschen von Grund- und Spitzenlastverdichter durch die Steuerung zu einer Energieeinsparung von rund 4%.

Werkzeuge für die Praxis

Ob zum Schrauben, Schleifen, Spritzen, Druckluft hat als universell einsetzbare Energieform so viele Vorteile, dass sie einen festen Platz in der Energieversorgung aller Unternehmen einnimmt. Untersuchungen des Bundesamtes für Energie (BFE) haben ergeben, dass wirtschaftliche Einsparpotenziale in einer Höhe von 20 bis 25% realisiert werden könnten, die häufig jedoch nicht erkannt oder mit der erforderlichen Energie ver-

folgt werden. Bereits eine mittelgrosse Anlage von 30 kW verursacht jährliche Energiekosten in der Grössenordnung von 15 000 Franken. Mit einfachen Massnahmen könnten bei dieser Anlage etwa 3500 Franken pro Jahr an Energiekosten eingespart werden, häufig ohne investive Massnahmen, sondern allein durch Leckagebeseitigung oder die Optimierung der Anlagensteuerung.

Diese und ähnliche Massnahmen sind detailliert im Leitfaden «Lösen sich auch in Ihrem Betrieb Tausende von Franken in Luft auf?» zur Optimierung von Druckluftanlagen beschrieben. Er hilft Druckluftanwendern bei der fachgerechten Umsetzung von Optimierungsmassnahmen. Die Massnahmen wurden gemeinsam von führenden Herstellern der Druckluftbranche, Forschungsinstituten und EnergieSchweiz im Rahmen der Kampagne «Effiziente Druckluft» erarbeitet. Darüber hinaus stehen viele hilfreiche Tools – z.B. zur Wirtschaftlichkeitsberechnung der Wärmerückgewinnung oder der Rohrdimensionierung der Druckluftverteilungen – kostenlos zur Verfügung. Ein kostenfreies Benchmarking für Druckluftanlagen liefert viele hilfreiche Einblicke und Optimierungshinweise auf Basis der eigenen

Anlagendaten. Weitere Informationen zum Thema Druckluft bietet www.druckluft.ch.

Angaben zu den Autoren

Dr. **Peter Radgen** ist seit 1995 Projektleiter im Bereich *Energieeffizienz in der Industrie* am Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe. Er leitet die Druckluftkampagne im Rahmen des Programms EnergieSchweiz und war Leiter der deutschen Kampagne «Druckluft effizient». Seit 2001 ist er als Dozent an der ETH Zürich für Energieeffizienz im Bereich der Querschnittstechnologien tätig. Dr. Radgen studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe und der INSA, Lyon, Frankreich, und promovierte an der Universität Duisburg. *Fraunhofer ISI, D-76139 Karlsruhe, peter.radgen@isi.fraunhofer.de*

Thomas Lang ist seit 2000 als Senior-Berater für *Marketing Social Change* bei K.M. Marketing AG in Winterthur tätig. Sein Fachgebiet ist die «Diffusion von Innovationen». Er ist Verantwortlicher Kommunikation der Kampagne «Effiziente Druckluft» von EnergieSchweiz und hat deren Konzeption und Implementierung für die Schweiz gesteuert. Thomas Lang ist Elektroingenieur HTL und hat am Institut für Energie in Muttenz das Nachdiplomstudium Energie und an der Kaderschule St. Gallen ein betriebswirtschaftliches Nachdiplomstudium abgeschlossen. Zuvor war er als Programmleiter *Warmwasser* und *Elektrische und elektronische Geräte* beim Bundesamt für Energie sowie in einem Ingenieurbüro im Bereich Entwicklung und in der Planung von Energiesystemen tätig. *K.M. Marketing AG, 8400 Winterthur, thomas.lang@km-marketing.ch*

¹⁾ Bei einem Kompressor handelt es sich um eine Kaskade mit einer Stufe (2 Druckschaltpunkte), bei zwei Kompressoren um zwei Stufen mit 4 Druckschaltpunkten.

Résumé

Le paramétrage correct de la commande d'air comprimé

Une commande efficace des installations à air comprimé permet de réaliser d'importantes économies. L'augmentation des coûts d'énergie préoccupe actuellement de nombreuses entreprises. Environ 10% des coûts du courant électrique sont entraînés dans l'industrie et les entreprises artisanales par les installations à air comprimé, des valeurs nettement plus élevées pouvant apparaître dans certaines branches. Souvent, on gaspille de l'énergie du fait que la commande des compresseurs et de leur interaction est insuffisante. Généralement, il suffit de refaire le paramétrage de la commande pour réaliser des économies d'énergie de l'ordre de 10% sans nécessiter d'investissements. La campagne «Air comprimé efficace» de SuisseEnergie montre maintenant aux utilisateurs comment on peut exploiter sans aucun risque ce potentiel et d'autres potentiels d'économie d'énergie.