



**Moderne Druckluftstation mit luft- und fluidgekühlten Schraubenkompressoren. Als übergeordnete Steuerung dient das Verbundsystem Vesis.**

Bild: Kaeser Kompressoren

## Moderne Steuerungskonzepte steigern den Kompressorwirkungsgrad

**Angesichts der unterschiedlichen Möglichkeiten, Kompressorensysteme zu steuern, ist es besonders wichtig, vor jeder Änderung oder Neuplanung einer Druckluftstation eine Analyse durchzuführen. Mit ihrer Hilfe lassen sich Druckluftstationen auf höchste Leistung hin auslegen, also große Liefermenge bei niedrigem Energieverbrauch.**

ERWIN RUPPELT



Druckluft ist heute neben elektrischem Strom der in Industrie und Handwerk am häufigsten genutzte Energieträger. Doch während wir den Umgang mit elektrischen Geräten schon vom Kindesalter an lernen, sind Bedeutung, Einsatzmöglichkeiten und Vorteile des Energieträgers Druckluft noch immer zu wenig bekannt: Aufgrund ihrer nahezu universellen Anwendungsmöglichkeiten ist Druckluft mittlerweile für zahlreiche Arbeits- und Produktionsabläufe unentbehrlich geworden.

Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt ist leitender Projekt-Ingenieur bei der Kaeser Kompressoren GmbH, 96450 Coburg, Tel. (0 95 61) 6 40-0, Fax (0 95 61) 6 40-1 30.

Trotz ständiger technischer Weiterentwicklung stellt sich aber nach wie vor zahlreichen Betrieben, die Druckluft intensiv nutzen und wirtschaftlich erzeugen wollen, eine nicht einfache Aufgabe: die optimale Anpassung der Kompressor-Förderleistung an unterschiedlich hohe Luftverbräuche.

Die Verdichterhersteller bieten heute viele Möglichkeiten an, Kompressoren leistungsabhängig zu steuern. Sie reichen von der individuellen, kompressorinternen Steuerung bis zu umfassenden Verbundsteuerungssystemen. In letzter Zeit ist immer wieder zu hören, das eine oder andere Steuerungssystem ermögliche bis zu 30% Energieeinsparung. Dazu sei nur soviel vorausgeschickt: Bei richtiger Auslegung und optimiertem Einsatz einer Druckluftstation ist kein Steuerungssystem allein in der Lage, 30% Energieeinsparung zu erreichen. Lediglich wenn eine Druckluftstation falsch ausgelegt ist oder wenn moderne Steuerungssysteme mit zehn oder fünfzehn Jahre alten Druckluftstationen verglichen werden, die mit konventionellen und somit überholten Methoden arbeiten, dann sind durch optimierte Steuerungen Einsparungen in dieser Höhe möglich.

Die Frage, welche Steuerungsart und welche Kompressorengröße die richtige ist, muss daher immer in einem Zusammenhang gestellt werden. Im wesentlichen bieten sich heute die folgenden Steuerungsmöglichkeiten an:

- ▶ kompressorinterne Steuerungsarten wie Steuerung/Regelung über das Ansaugventil, zum Beispiel Dual- oder Quadro-Regelung, und Regelung durch Drehzahlveränderung sowie
- ▶ übergeordnete Steuerung im Kompressorverbund.

Eine der wirtschaftlichsten und zugleich preisgünstigsten Steuerungsarten ist die Vollast-/Leerlauf-/Aussetz-Steuerung (Dualregelung). Kommt es während der Nachlaufzeit durch Druckluftentnahme aus dem Leitungsnetz zum Unterschreiten des vorher eingestellten Minimaldrucks, dann schaltet der Kompressor von Leerlauf- auf Vollastbetrieb um. Bleibt eine Druckluftentnahme während der Nachlaufzeit aus, so wird der Kompressor stillgesetzt.

Bei modernen Druckluftstationen lässt sich normalerweise zwischen Grund- und Spitzenlast unterscheiden. Steuerungen für Grund- oder Mittelastkompressoren können heute verschieden konzipiert sein: Einmal als

Vario-Steuerung, bei der der Kompressor mit Hilfe eines integrierten PC automatisch über die Nachlaufzeiten entscheidet, oder als Quadro-Steuerung, bei der der Kompressor sooft wie möglich stillgesetzt wird. Bei Spitzenlastkompressoren wird dagegen in der Regel mit Dual-Steuerung gearbeitet.

### Drosselklappen-Regelung arbeitet kontinuierlich

Die Drosselklappen-Regelung ist die baulich einfachste Teillaststeuerung. Sie ist zugleich die einzige kontinuierliche Steuerungsart, bei der unter Vollast keine nennenswerten Verluste auftreten. Im Teillastbereich wird allerdings nicht in erster Linie die Leistungsaufnahme, sondern die Liefermenge des Kompressors verringert. So beträgt seine Leistungsaufnahme bei 50%iger Auslastung noch immer 86 % gegenüber Vollast. Wirtschaftliche Aspekte dürften somit eine derartige Steuerung für eine stationäre Kompressoranlage ausschließen.

Unter der Voraussetzung, dass die speziellen Eigenschaften von Schraubenkompressoren bei Drehzahlveränderungen berücksichtigt werden, können drehzahlveränderliche Antriebe wirtschaftlich sein. Andernfalls werden die in der Anschaffung teuren Antriebe extrem unwirtschaftlich. Hier trennt sich bereits die Spreu vom Weizen, wenn man die Vollastfähigkeit derartiger Maschinen in Betracht zieht. Gute drehzahlveränderliche Kompressoren können durchaus mit 100% Einschaltdauer und 100% Leistung betrieben werden, dagegen ist das bei nicht optimal ausgelegten Anlagen, die zunächst durch ihren großen Regelbereich bestechen, häufig nicht ohne wesentlich erhöhte Wartungskosten möglich. Der Grund: Es handelt sich oft um Anlagen mit kleinen Kompressorblöcken, die bei 100% Leistung mit einer hohen Drehzahl arbeiten müssen, um einen großen Regelbereich zu erlangen. Ihre Wirtschaftlichkeit ist demzufolge vergleichsweise schlechter und der Wartungsbedarf höher.

Folgende Punkte sollten in jedem Fall bei der Auslegung drehzahlveränderlicher Antriebe beachtet werden: Aufgrund zusätzlicher Verluste der Regelantriebe sind drehzahlveränderliche Anlagen im Bereich zwischen 100 und 80%, in manchen Fällen auch bis 70 % der Auslastung unwirtschaftlicher als standardgesteuerte Anlagen mit Vollast-Leerlauf-Steuerung. Ein Höchstmaß an Effizienz erreichen drehzahlveränderliche Schraubenkompresso-

ren bei Auslastungen zwischen etwa 70 und 45% der maximalen Förderleistung. Bei Anlagen, die in ihrem Teillastregelbereich weit unter die 50%-Grenze gehen, wird das Leistungsverhalten der Maschine wieder spezifisch ungünstig.

In jedem Fall ist bei einer drehzahlveränderlichen Anlage ein Leistungsdiagramm anzufordern, das die spezifische Leistung (Bild 1) über die Liefermenge zeigt und nicht, wie häufig anzutreffen, lediglich die Leistung über die Liefermenge. Das Leistungsverhalten der Maschine wird in letzterem Fall nur linear dargestellt und gibt somit optisch keinen Aufschluss über die wahren Kosten einer Regelungsart. Allgemein gesagt bedeutet dies, dass nicht sosehr die Steuerungsart (Gleichstromregelung oder Frequenzrichterregelung) für die Kosten ausschlaggebend ist, sondern vielmehr der Aufbau, die Blockgröße und der Regelbereich des Kompressors.

### Übergeordnete Steuerungen im Kompressorenverbund

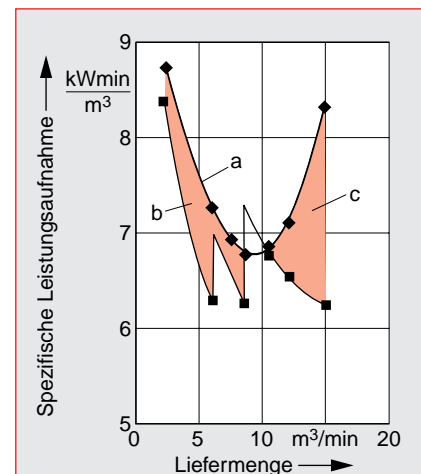
Über eine bedarfsgerechte, kompressorinterne Steuerung hinaus lässt sich heute im Teillastbereich durch Lastverteilung auf mehrere Kompressoreinheiten und moderne übergeordnete Steuerungen eine hohe Wirtschaftlichkeit der Druckluftherzeugung erreichen. Grundsätzlich bieten sich verschiedene Möglichkeiten zur Aufteilung eines Maschinenparks an.

Dazu ein Beispiel: Ein Betrieb arbeitet in drei Schichten mit folgenden zu regelnden Spitzenlastverbräuchen:

- ▶ erste Schicht: 15 m<sup>3</sup>/min,
- ▶ zweite Schicht: 12 m<sup>3</sup>/min,
- ▶ dritte Schicht: 6 m<sup>3</sup>/min.

Die erste Möglichkeit ist, einen Kompressor mit einem Volumenstrom von 15 m<sup>3</sup>/min zu verwenden. Für jede Arbeitsschicht ergeben sich unterschiedliche Bedingungen. Erste Schicht: gute Wirtschaftlichkeit, keine Absicherung; zweite Schicht: Anlage geht in Teillastbetrieb, verschlechterte Wirtschaftlichkeit, keine Absicherung; dritte Schicht: Anlage zu etwa 30% ausgelastet, nochmals verschlechterte Wirtschaftlichkeit, keine Absicherung.

Als zweite Möglichkeit kommen zwei Kompressoren mit einem Volumenstrom von je 15 m<sup>3</sup>/min in Frage. Erste Schicht: gute Wirtschaftlichkeit, vollkommene Absicherung; zweite Schicht: Anlage geht in Teillastbetrieb, verschlechterte Wirtschaftlichkeit, vollkommene Absicherung; dritte Schicht: Anlage zu etwa 30% ausgelastet,



**Bild 1: Spezifischer Leistungsbedarf für eine Liefermenge zwischen etwa 3 und 15 m<sup>3</sup>/min.**

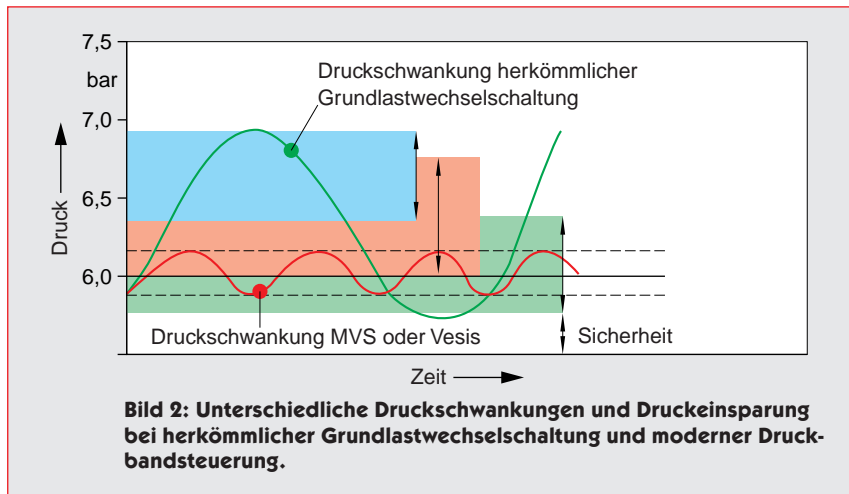
a frequenzrichter-geregelte Maschinen mit hohem Basisenergiebedarf, b zwei Standardkompressoren, Fördermenge 9 und 6 m<sup>3</sup>/min, mit Vesis gesteuert, gute Grundwirtschaftlichkeit, c Energieeinsparung durch die beiden kleineren Verdichter mit Teillastregelung

nochmals verschlechterte Wirtschaftlichkeit, vollkommene Absicherung.

Als dritte Möglichkeit bietet sich an, zwei Kompressoren mit einem Volumenstrom von je 7,5 m<sup>3</sup>/min einzusetzen. Erste Schicht: gute Wirtschaftlichkeit, keine Absicherung; zweite Schicht: Spitzenlastanlage geht in Teillastbetrieb, nur geringfügig verschlechterte Wirtschaftlichkeit, teilweise Absicherung; dritte Schicht: etwa 85% Auslastung der Grundlastmaschine, gute Wirtschaftlichkeit, vollkommene Absicherung.

Die vierte Möglichkeit besteht darin, drei Kompressoren mit Volumenströmen von einmal 9 und zweimal 6 m<sup>3</sup>/min zu verwenden. Erste Schicht: gute Wirtschaftlichkeit, nahezu vollkommene Absicherung durch Standbyanlage; zweite Schicht: Spitzenlastmaschine geht in Teillastbetrieb, nur geringfügig verschlechterte Wirtschaftlichkeit, vollkommene Absicherung durch Standbyanlage; dritte Schicht: gute Wirtschaftlichkeit, Spitzenlastmaschine wird Grundlastmaschine, 100%ige Sicherheit.

Eine Verteilung der Gesamt-Druckluftherzeugung auf mehrere kleinere Einheiten hatte früher den Nachteil, dass man zur stufenweisen Einschaltung der Kompressoren eine Druckkü-



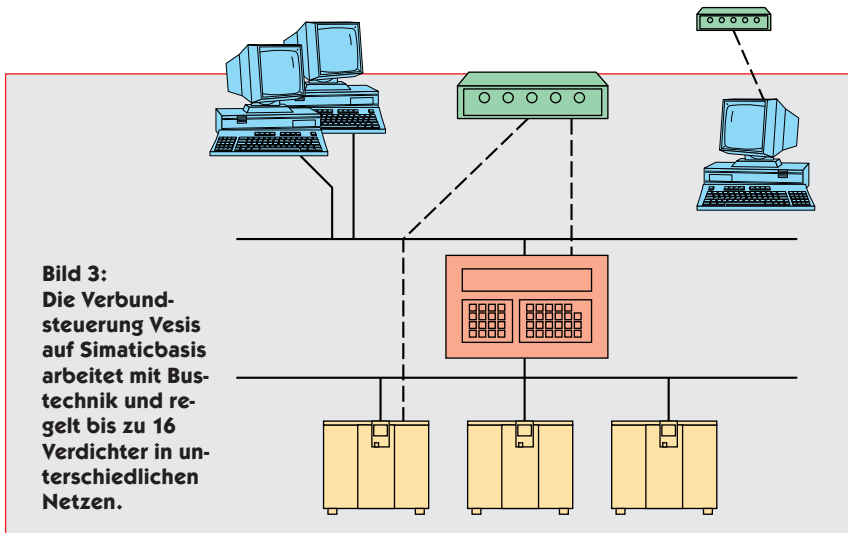
berhöhung von 1 bis 2 bar benötigte, um die Maschinen ordnungsgemäß miteinander zu verschalten (Kaskadensteuerung; Bild 2). Eine Druckerhöhung um 1 bar bedeutet aber 6% mehr Energieaufwand. Hier bieten Verbundsteuerungen wie das System Vesis auf Simatic-Basis (Druckbandsteuerung; Bild 3) und das kompressorinterne Steuerungssystem [1] Sigma-Control inzwischen umfassende und sehr wirtschaftliche Lösungen an, die die Steuerung von bis zu 16 Kompressoren schicht- und verbrauchsabhängig mit einer Druckdifferenz von nur  $\pm 0,1$  bar erlauben.

Grundlage einer Leistungsbeurteilung der verschiedenen Steuerungs-

und Regelungsmöglichkeiten für Schraubenkompressoren sollte die Wirtschaftlichkeit sein. Wichtigste Voraussetzung für eine kostengünstige Druckluftherzeugung ist zunächst eine gute Grundwirtschaftlichkeit des Kompressors. Denn eine noch so gute Teillaststeuerung kann die Grundwirtschaftlichkeit eben sowenig verbessern, wie ein noch so großer Regelbereich die Wirtschaftlichkeit einer unwirtschaftlichen Anlage erhöhen kann. Dies verdeutlicht die Graphik in Bild 1, die den spezifischen Leistungsbedarf bei verschiedenen Arten der Druckluftherzeugung darstellt. Es ist also in jedem Fall wichtig, nur Maschinen mit einer guten Grundwirtschaftlichkeit

zur Regelung einzusetzen. Sie lässt sich keinesfalls durch einen überproportional großen Regelbereich kompensieren. Das gilt sogar für einen Regelbereich von 90%: Wenn der Kompressor eine schlechte Grundwirtschaftlichkeit aufweist, stellt eine Anpassung der Kompressorleistung an den Druckluftbedarf durch Frequenzumrichterregelung selbst dann noch keine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit dar. Diese kostspielige Variante ist dann auf jeden Fall einer Kombination aus einem 9- und einem 6-m<sup>3</sup>-Kompressor mit Standardsteuerung und Einbindung in eine übergeordnete Leittechnik unterlegen, die unter diesen Bedingungen eine gute Wirtschaftlichkeit aufweist (Bild 1).

Beim Vergleich der Steuerungs- und Regelungsarten werden häufig nur die Eigenschaften der Elektromotoren als Basis für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen herangezogen, während die spezifischen Eigenschaften der Kompressorsysteme vernachlässigt werden. Dazu gehört etwa, dass ein Schraubenkompressorblock bei Drehzahlveränderung kein lineares Leistungsverhalten zeigt. Der Schraubenkompressor ist nicht über seinen gesamten Drehzahlbereich wirtschaftlich regelbar. Um bei einem Schraubenkompressor einen Regelbereich von mehr als 60% zu erhalten, muss sein Drehzahlbereich rechts und links des Optimums voll ausgenutzt werden. Dadurch wird jedoch die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage extrem beeinträchtigt. Zudem muss ein für die Maximalleistung des



Kompressors relativ kleiner Verdichterbloc eingesetzt werden, der demzufolge dann eine relativ hohe Drehzahl hat.

Ein für diese Maximalliefermenge tatsächlich geeigneter Schraubenkompressorblock hat zwar eine wesentlich bessere Grundwirtschaftlichkeit, kann aber mit Rücksicht auf die Gesamtwirtschaftlichkeit nicht in einem derart großen Regelbereich betrieben werden. Durch seine bessere Grundwirtschaftlichkeit ist er jedoch im vergleichbaren Regelbereich einer Anlage mit zu kleinem Kompressorblock überlegen (Bild 1). Hinzu kommen die Verschlechterungen des Motorwirkungsgrades bei entsprechenden Lastbereichen. So hat etwa ein Elektromotor mit 90 kW Motornennleistung einen Wirkungsgrad von 94%. Belastet man den Motor mit lediglich 20% seiner Abgabeleistung, dann sinkt der Wirkungsgrad auf 86%.

### Umrichter sind wirtschaftlich im unteren Leistungsbereich

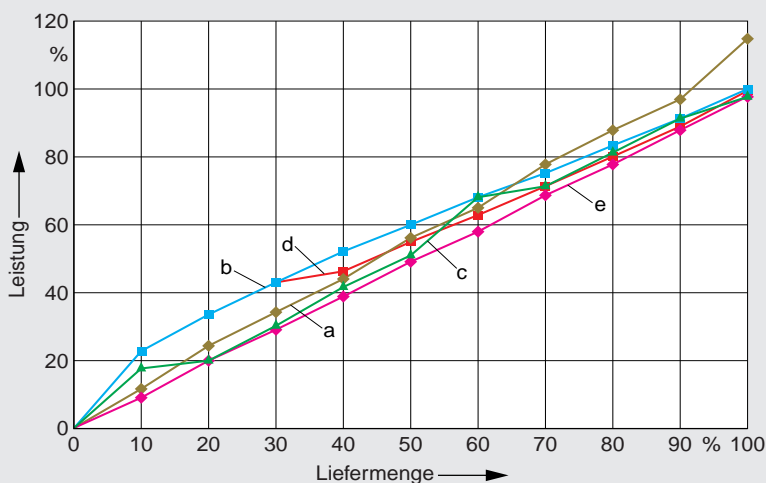
Vergleicht man unter diesen Gesichtspunkten die derzeitigen Möglichkeiten der Technik, so kann man sagen, dass eine frequenzumrichter-geregelte Maschine lediglich in einem Teillastbereich unter etwa 65% in jedem Fall einen wirtschaftlichen Nutzen bringt. In einem Regelbereich zwischen 65 und 100% sind Standardsteuerungen, sogenannte Zweipunkt-Steuerungen mit Vollast-/Leerlauf/Aussetzbetrieb oder Vollast-/Aussetzbetrieb, wirtschaftlicher als Frequenzumrichter-Regelungen bei Kompressorblöcken mit schlechter Grundwirtschaftlichkeit. Im Bereich zwischen 90 und 100% sind die Standardsteuerungen sogar besser als frequenzumrichter-geregelte Maschinen mit guter Grundwirtschaftlichkeit und dies, obwohl die Frequenz-

zumrichtung eine anspruchsvolle und mit hohen Investitionskosten verbundene Technik ist (Bild 4).

Die heutige Technik bietet mit übergeordneten Leitsystemen jedoch auch in dem angesprochenen Teillastbereich unter 65% erheblich bessere Möglichkeiten als herkömmliche Grundlastwechselschaltungen. Wie die Bilder 4 und 5 zeigen, kann man einen Spitzenlast-Förderbereich von 15 m<sup>3</sup>/min auf mehrere kleinere Anlagen verteilen und dadurch auch die Wirtschaftlichkeit im Teillastbereich optimieren. Zusätzlich ist es so auch noch möglich, eine höhere Verfügbarkeit zu erreichen.

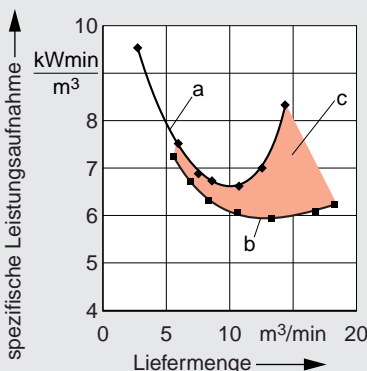
Angesichts der unterschiedlichen Steuerungsmöglichkeiten, Kompressorensysteme zu steuern, ist es besonders wichtig, vor jeder Änderung oder Neuplanung einer Druckluftstation eine entsprechende Analyse durchzuführen. Mit ihrer Hilfe lassen sich Druckluftstationen auf höchstmögliche Leistung hin auslegen, das heißt, Erzeugung einer möglichst großen Druckluftlieferungsmenge bei möglichst niedrigem Energieaufwand. Weiterhin sollte auch die Möglichkeit bestehen, ständig die Wirtschaftlichkeit nicht nur der gesamten Druckluftstation, sondern auch der einzelnen Kompressoren prüfen zu können. Mit moderner Datenverarbeitungstechnik, wie sie zum Beispiel das Steuerungssystem Sigma Control mit einem in den Kompressor integrierten PC bietet, ist dies permanent möglich.

Die angeführten Beispiele haben gezeigt, dass es heute durchaus verschiedene Wege gibt, Kompressoren zu steuern und Druckluft betriebssicher und wirtschaftlich zu erzeugen. Keines dieser Systeme kann jedoch als die



**Bild 4: Prozentuale Darstellung der Leistungsnutzung im Liefermengen-Teillastbereich. Spezieller Einsatzfall: 100% Liefermenge = 15 m<sup>3</sup>/min bei 7,5 bar, 100% Leistung = 90 kW.**

a Leistungsverhalten der frequenzrichter-geregelten Maschine mit Optimum bei 9 m<sup>3</sup>/min, b Leistungsverhalten bei Volllast-/Leerlauf-/Aussetzregelung und 15 m<sup>3</sup>/min Gesamtfördermenge, c Leistungsverhalten eines Kompressors mit 9 und eines mit 6 m<sup>3</sup>/min Liefermenge, verbrauchsabhängig gesteuert über Vesis, d Leistungsverhalten der frequenzrichter-geregelten Maschine mit einem Optimum bei 14 m<sup>3</sup>/min, e Idealkurve



**Bild 5: Spezifische Leistung im Liefermengen-Regelbereich.**

a Kompressor mit einem Regelbereich von 90%, Leistungsoptimum bei rund 9 m<sup>3</sup>/min, b Kompressor mit einem Regelbereich von 60%, Leistungsoptimum bei 14 m<sup>3</sup>/min, c Energieeinsparung durch größeren Kompressorblock

Bilder: Kaeser Kompressoren

Ideallösungen gelten, denn es kommt stets auf den jeweiligen Einsatzfall, die spezifische Anwendbarkeit und die spezifischen Charakteristiken der einzelnen Kompressoren an. Während sich eine übergeordnete Leittechnik heute dank ihrer Fähigkeit, verschiedene Kompressorengrößen individuell einbinden zu können, standardisieren lässt, ist dies bei anderen Regelungsarten wie der Frequenzrichter-technik in keinem Fall möglich. Jeder Anwendungsfall muss genau geprüft, und es muss berechnet werden, ob der Regelbereich eines Kompressors, der sich in seinem Leistungsverhalten nicht konstant zeigt, auch für diese Anwendung geeignet ist. Das gilt für alle kontinuierlichen Liefermengenregelungen mit Ausnahme der Hydraulikkupplungs-

regelung, die für Schraubenkompressoren ungeeignet ist.

Von Pauschallösungen ist abzuraten, denn sie können außer hohen Investitionskosten auch noch hohe Energie- und Wartungskosten zur Folge haben. Zwar gibt es durchaus Lösungen, in denen Frequenzrichter-Regelungen energetisch von Vorteil sind (Bild 5). Dies sollten jedoch Lösungen sein, die speziell auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten sind. Drehzahlregelungen können aber nur dann wirklich wirtschaftlich sein, wenn der Regelbereich in einem für den Kompressorblock vernünftigen Rahmen bleibt.

**Literatur**

[1] N.N.: Kompressorsteuerung senkt Druckluftkosten. Maschinenmarkt 104 (1998) 32, S. 28.