

Substitution von Druckluft in der Produktion

Potenziale zur Senkung des Energiebedarfs

Christoph Pohl und Jens Hesselbach, Universität Kassel



Dipl.-Wirtsch.-Ing., Dipl. Oec. Christoph Pohl arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Kassel, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse (upp).



Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach leitet das Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse (upp) an der Universität Kassel.

Der schlechte Wirkungsgrad der Druckluft, bezogen auf die eingesetzte Endenergie, macht die Druckluft sehr teuer. Nach heutigem Wissensstand können Druckluftsysteme zwar wesentlich effizienter betrieben werden als noch vor einigen Jahren und auch die Palette der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung wächst beständig an, jedoch ist der Gesamtwirkungsgrad von Druckluftanlagen nach wie vor unbefriedigend. Daran können auch die vielversprechendsten Effizienzmaßnahmen wie z.B. eine Wärme-

rückgewinnung nichts ändern. Einen Lösungsweg bietet die Vermeidung von Druckluft in der Produktion. Die Substitution von druckluftbetriebenen Prozessen ist Gegenstand dieses Beitrags.

Druckluftanlagen in der Industrie nutzen Elektrizität für die Erzeugung von Druckluft. Dabei ist der Energiebedarf der entscheidende Faktor bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Druckluftanlage, da die Energiekosten den größten Anteil an den Kosten haben. Diese machen neben der Investition (circa 5 %) und der Wartung (circa 15 %) typischerweise etwa zwei Drittel der Kosten des gesamten Druckluftsystems aus [1]. Die Umwandlung der Elektroenergie in Druckluft, die dann als mechanische Wirkenergie genutzt wird, führt zu einem Systemwirkungsgrad (ohne Optimierung) der Druckluft von maximal 10 % bezogen auf die eingesetzte Endenergie.

Druckluft ist in sehr vielen Anwendungsbereichen einsetzbar. Dazu zählen Einsatzgebiete wie Transport, Reinigung oder Steuerung und Regelung mit Druckluft ebenso wie der Bereich der pneumatischen Antriebe. Eigenschaften wie Geschwindigkeit und hohe Dauerkräfte sowie die Tatsache, dass pneumatisch betriebene Bauteile meist kostengünstiger sind als Alternativen, wie zum Beispiel elektrische Bauteile, machen die Druckluft zum ständigen Begleiter in heutigen Produktionsunternehmen.

Steigende Energiekosten, das wachsende Klimaschutzbewusstsein der Un-

ternehmen und die technisch gestiegenen Anforderungen an die Produktionsprozesse haben dazu geführt, dass auch der Bereich der Pneumatik in den letzten Jahren mehr und mehr in den Fokus von Energieeinsparungsmaßnahmen gerückt ist.

Einsparpotenzial von über 30 % durch Optimierung

Beschränkten sich die bisherigen Bestrebungen der Effizienzsteigerungen von Druckluftanlagen zumeist nur auf das Beseitigen von Leckagen, so ist die Palette der Energieeffizienzmaßnahmen im Zuge steigender Energiekosten immer weiter angewachsen. Heutige Effizienzmaßnahmen reichen von Anpassungen des Druckluftsystems an die vorhandenen Anforderungen bis hin zum Einsatz effizienterer Technologien. Eine der vielversprechendsten Maßnahmen zur Steigerung des Systemwirkungsgrads von Druckluftsystemen ist die Wärmerückgewinnung.

Durch Optimierungen an den Druckluftanlagen kann die Energie effizienter genutzt und somit weniger Energie verbraucht werden. Das BMU geht davon aus, dass 20 bis 40 % des Energieverbrauchs in der Industrie für Druckluftanwendungen bis 2020 eingespart werden könnten [2]. Ruppelt spricht von einem Einsparpotenzial von 33 % im Durchschnitt, in einzelnen Bereichen könnten die Einsparungen bei über 50 % liegen. Das sind in Deutschland 4,7 Milliarden kWh Einsparungen bei Druckluftanwendungen [3]. Radgen geht von einer Einsparung von 13

Kontakt

Universität Kassel
Institut für Produktionstechnik
und Logistik
Fachgebiet Umweltgerechte Produkte
und Prozesse
34125 Kassel
Tel.: + 49 561 / 804 1842
E-Mail: pohl@upp-kassel.de
URL: <http://www.upp-kassel.de>

Milliarden kWh Elektrizität in der Europäischen Union aus. Das entspricht einer CO₂ Einsparung von 5,3 Millionen Tonnen und einer Einsparung von 1,2 Milliarden Euro Energiekosten. Allein in Deutschland sind das 210 Millionen Euro [4].

Druckluft ist neben dem elektrischen Strom der in Industrie und Handwerk am häufigsten genutzte Energieträger. Den Unternehmen ist der schlechte Wirkungsgrad bei der Umwandlung der Druckluft in mechanische Wirkenergie heutzutage weitgehend bekannt. Dennoch schätzen viele Unternehmen, befragt nach ihren Einsparpotenzialen im Betrieb, am häufigsten (zusammen 72,8 %) ein Einsparpotenzial von weniger 10 % oder gar kein Potenzial. Lediglich 16,6 % der befragten Unternehmen gehen von Einsparpotenzialen von mehr als 10 % aus [5].

Wie groß die Potenziale bezogen auf die Europäische Union und besonders auf Deutschland sind, verdeutlichen die Zahlen der Kampagne „Druckluft effizient“ [6]. In der Europäischen Union sind circa 315.265 Druckluftkompressoren installiert. Ungefähr dreiviertel davon haben Anschlussleistungen bis 110 kW, das letzte Viertel stellen die Anlagen mit Leistungen bis 300 kW dar. Davon entfallen 43.765 auf Frankreich, 35.660 auf Griechenland, Spanien und Portugal sowie 55.00 Anlagen auf Großbritannien und 43.800 auf Italien. Der Rest teilt sich auf die übrigen EU-Länder auf. Auf Deutschland entfallen demnach etwa 62.000 Druckluftanlagen mit einer

Anschlussleistung zwischen 110 kW und 300 kW [7].

Der Stromverbrauch von Druckluftanlagen in der Europäischen Union beträgt jährlich ca. 80 Milliarden kWh. Auf Deutschland entfallen 14 Milliarden kWh für die Druckluftherzeugung. Dies entspricht in etwa der Stromerzeugung von 1,3 Kernkraftwerken [4]. Deutschland hatte zum Vergleich 2008 einen Brutto-Stromverbrauch von 639 Milliarden kWh [8].

Nach wie vor schlechter Wirkungsgrad

Energetisch betrachtet ist die Druckluftnutzung jedoch auch im optimierten Zustand noch ineffizient. Der Systemwirkungsgrad des Kompressors bis hin zum Druckluftverbraucher bleibt trotz Optimierung sehr gering. Bei einfacher Betrachtung des Wirkungsgrads eines industriellen Kompressors mit

$$\eta = \frac{p_0 \cdot V}{P_{el}} \text{ oder } \eta = \frac{p_0 \cdot V}{W_{el}}$$

p_0	Überdruck
V	Volumenstrom
V	Volumen
P_{el}	elektrische Leistung
W_{el}	elektrische Arbeit

wird deutlich, dass dieser mit knapp über 20 % bereits sehr niedrig ist (angenommene Beispielrechnung mit 7 bar Überdruck, einer Fördermenge von 7200m³/h im Normzustand und einer Leistungsaufnahme von 890 kW). Zur ganzheitlichen Betrachtung des Gesamtwirkungsgrads der Druckluft

müssen jedoch noch Leckageverluste (in der Regel sind das zwischen 30 und 50 %), Druckverluste (durch zum Beispiel Filterung) und Verluste für die Druckluftaufbereitung (beispielsweise für die Kältetrocknung) berücksichtigt werden. Je nach Anspruch an die Druckluftqualität und die Leckagerate kommt der Gesamtwirkungsgrad des Druckluftsystems damit nicht über 10 % hinaus. Multipliziert mit einem durchschnittlichen Strompreis von 0,1 EUR pro Kilowattstunde liegt der Preis für einen Normkubikmeter Druckluft in einem Bereich zwischen 1,6 und 2 Cent.

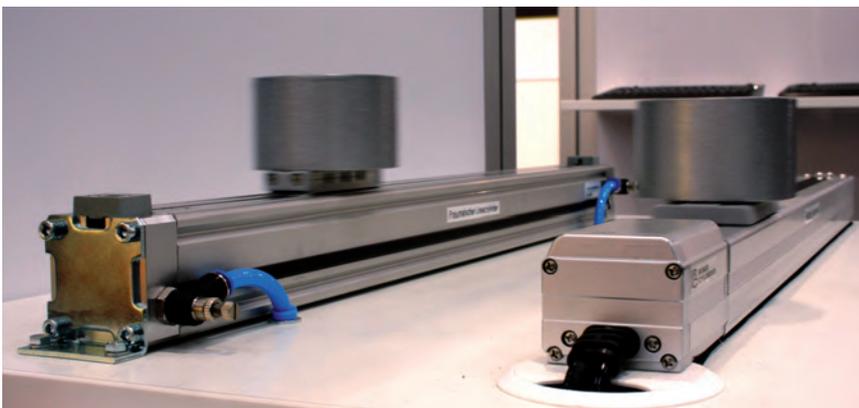
Zwar sind, wie eingangs erwähnt, die Investitionskosten alternativer druckluftloser Komponenten meist deutlich teurer, allerdings lohnt sich angesichts der hohen Betriebskosten ein genauer Blick auf die Konkurrenten der Druckluft. Die vielversprechendste Alternative sind dabei für Linearbewegungen elektrisch angetriebene Zylinder. Die Endenergie kann so direkt in mechanische Wirkenergie umgesetzt werden.

Heutige Bestrebungen gehen dahin, die Druckluftnutzung in allen Anwendungsbereichen auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren und in Bereichen, wo es elektrische Alternativen gibt, die Druckluftnutzung zu ersetzen.

Druckluftbetriebene Prozesse können nach heutigem Stand der Technik prinzipiell in den meisten Bereichen durch druckluftlose Alternativen ersetzt werden. Vor allem im Bereich von Antriebseinheiten ist der Ersatz fast ausnahmslos möglich. Antriebseinheiten sind in nahezu allen Maschinen und Anlagen vorhanden und müssen nur einfache lineare oder rotatorische Bewegungen erfüllen. Für diese einfachen Bewegungsarten sind aktuell am Markt unterschiedliche elektromechanische Alternativen erhältlich.

Allerdings gibt es auch Bereiche, in denen speziell entwickelte Anwendungen der Druckluftnutzung vorhanden sind. Für solche Anwendungen, die oft speziell für einzelne Branchen entwickelt wurden, beispielsweise das Hin- und Her-schießen von Schiffchen in Webmaschinen, gibt es kaum druck-

Bild 1: Energetischer Vergleich eines pneumatischen und eines elektrischen Linearzylinders.



luftlose Alternativen. Dafür müssen analog der Entwicklung der speziellen pneumatischen Anwendung spezielle alternative Konzepte entwickelt werden. Dieser Bereich ist allerdings aufgrund der geringen Marktanteile im Hinblick auf die Gesamteinsparpotenziale eher zu vernachlässigen.

Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen des HIER! Teilprojekts „Druckluftarme Produktion“ werden am Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse der Universität Kassel Untersuchungen durchgeführt, um Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz im Bereich der Druckluftsubstitution für die Produktion aufzuzeigen.

Durch einen direkten Vergleich eines elektrisch angetriebenen Linearzylinders mit einem druckluftbetriebenen Zylinder können die Unterschiede beider Systeme für eine ausgewählte Bewegungsaufgabe verdeutlicht werden (Bild 1).

Die Auswahl der Zylinder ist so erfolgt, dass diese vergleichbare Spezifikationen aufweisen. Die Zylinder sind in Schlittenausführung mit einer Hublänge von 50 cm und einer maximalen Zuladung von 12-14 kg ausgeführt. Es wurde für den Vergleich eine Zuladung von 2,0 kg gewählt. Die Parameter wie zum Beispiel die Geschwindigkeit beider Systeme sind für den Versuch nahezu identisch.

Der elektrische Zylinder wird über einen 24 V Motor angetrieben. Dieser treibt eine Kugelspindel an. Der Pneumatikzylinder ist ein kolbenstangenloser Zylinder.

Da bereits eingangs auf die höheren Investitionskosten verwiesen wurde, sollen diese zuerst betrachtet werden. Der elektromechanische Zylinder liegt mit einer Investition von ungefähr 1.600 EUR etwa 500 EUR über der Investitionssumme des pneumatischen Systems.

Die Anschaffung des alternativen elektromechanischen Zylinders ist circa 33 % teurer gegenüber dem druck-

luftbetriebenen Zylinder. Berücksichtigt sind dabei alle für den Betrieb notwendigen Komponenten wie Steuerungen, Anschlüsse, Schläuche und Kabel.

Für die experimentelle Gegenüberstellung und den energetischen Vergleich der Zylinder sind diese mit entsprechender Messtechnik ausgestattet. Dabei wird die Energie des elektrischen Zylinders (inkl. Steuerung) direkt über einen Energiezähler erfasst. Zur Bestimmung des Energieverbrauchs des pneumatischen Zylinders wurde ein Volumenstrommessgerät für die benötigte Druckluft installiert. Über den Volumenstrom kann so der Energieverbrauch ermittelt werden. Dabei wird von einem mäßig effizienten Kompressor ausgegangen. Zur Verdichtung eines Kubikmeters werden demnach 130 Wh benötigt.

Einsparungen von 93 % durch Substitution

Als Basis für diese Beispielrechnung werden 6000 Betriebsstunden pro Jahr (etwa ein Drei-Schicht-Betrieb) zugrunde gelegt. Der Energiebedarf des pneumatischen Zylinders liegt bei 4.212 kWh im Jahr, der Energiebedarf des elektrischen Zylinders liegt lediglich bei 270 kWh pro Jahr. Der CO₂ Ausstoß

von 155 kg pro Jahr gegenüber 2,5t CO₂ ist ebenfalls äußerst deutlich. Dies bedeutet eine Ersparnis des elektrischen Zylinders gegenüber dem druckluftbetriebenen Zylinder von 93 %.

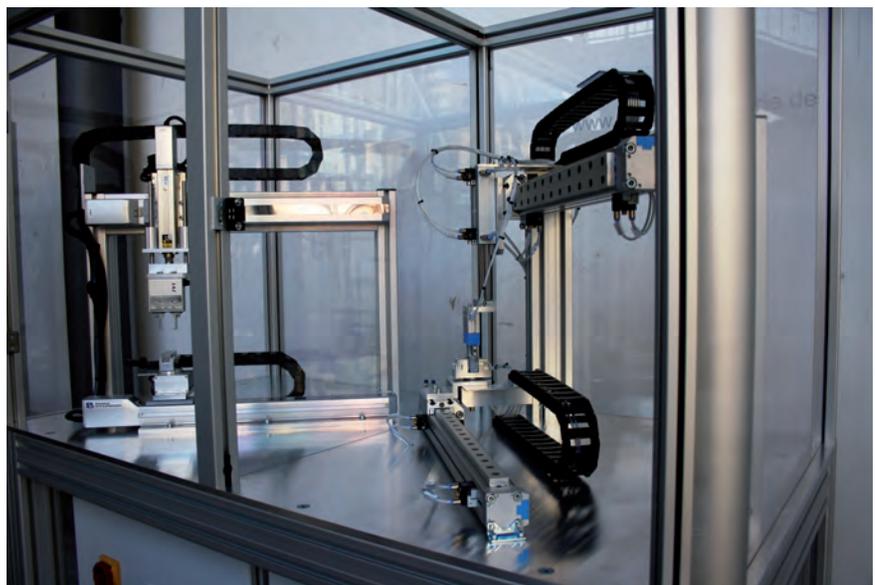
Zur Ermittlung des Strompreises und des CO₂ - Ausstoßes liegt ein Strompreis von 0,1 EUR/kWh und der Wert 575g(CO₂)/kWh(Strom) für den deutschen Strommix zugrunde.

Die höhere Investitionssumme von rund 500 EUR kann bei einer Betriebskostensparnis von 400 EUR pro Jahr somit in circa 1,3 Jahren amortisiert werden. Die höhere Investition von rund 33 % ist für diese Aufgabe durchaus wirtschaftlich sinnvoll, da dadurch die hohen Einsparungen im Bereich der Betriebskosten realisiert werden können.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass nur eine spezielle Anwendung in diesem energetischen Vergleich untersucht wird. Nicht jede Anwendung wird im direkten Vergleich gleich hohe Einsparungen erzielen können. Zu beachten ist weiterhin, dass der Energieverbrauch von mehreren Faktoren (Zuladung, Geschwindigkeit etc.) abhängig ist.

Um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bewegungsaufgaben einschätzen zu können, wurde eine

Bild 2: Energetischer Vergleich eines pneumatischen und eines elektrischen Handlingsystems.



weitere experimentelle Untersuchung durchgeführt.

Bei einer komplexeren Bewegungsaufgabe, wie zum Beispiel dem Handling eines Produkts, wird nicht nur eine geradlinige Linearbewegung ausgeführt. Vielmehr kommen bei klassischen Pick&Place Aufgaben neben der translatorischen Bewegung noch rotatorische Bewegungsaufgaben sowie das Greifen eines Produkts hinzu.

Die Ergebnisse des direkten Vergleichs der Handlingaufgabe im Pick&Place System (Bild 2) sind in der Grafik (Bild 3) zusammengefasst. Auch hierbei sind Einsparungen von etwa 95 % zu verzeichnen. Zugrundegelegt ist hierfür ebenfalls eine Betriebszeit von 6.000 Stunden pro Jahr. Eine Amortisationszeit von 5 Jahren ergibt sich aufgrund der deutlich höheren Investitionssumme von 14.500 EUR für das elektromechanische System gegenüber 9.500 EUR für das pneumatische System.

Diese Untersuchungen zeigen deutliche Einsparpotenziale bei den Betriebskosten durch die Substitution von pneumatischen Komponenten. Hierbei ist noch nicht berücksichtigt, dass nach ersten Erfahrungen aus Montageanlagen die Wartungs- und Instandhaltungskosten der elektromechanischen Antriebe ebenfalls deutlich niedriger sind.

Ob ein Ersatz der Pneumatik wirtschaftlich sinnvoll ist, ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen für jede Aufgabe gesondert zu betrachten. Die um circa 30 % höheren Investitionen der elektromechanischen Alternativen stellen nach wie vor Probleme bei der Kaufentscheidung in den Einkaufsabteilungen der Unternehmen dar. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die heutigen elektromechanischen Alternativen nicht als Konkurrenzprodukte für die Pneumatiktriebe konzipiert sind. Sie sind vielmehr als ergänzende Produkte gedacht, wenn mehr Funktionen wie Drehmomentüberwachung oder Positionierung gefragt sind. Insofern bedarf

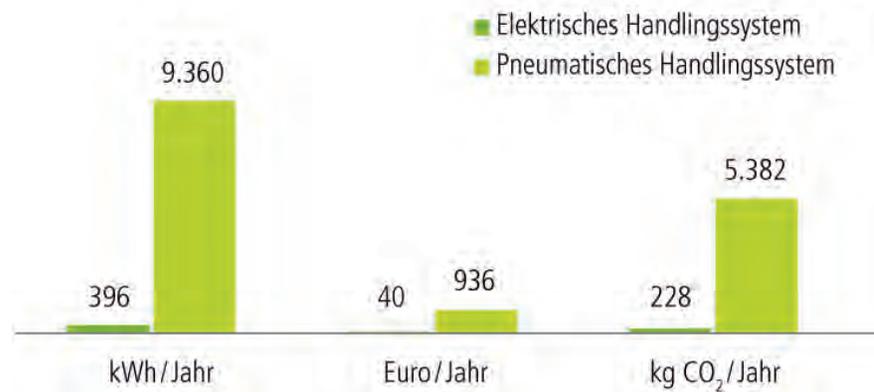


Bild 3: Vergleich Energie, Kosten und CO₂-Ausstoß.

es am Markt einfacher Elektroantriebe mit den gleichen Funktionen zu gleichen Preisen.

Literatur

- [1] Energieagentur NRW: NRW spart Energie – Informationen für Wirtschaft und Verwaltung. Wuppertal 2007.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Energieeffizienz – Die intelligente Energiequelle. Berlin 2009.
- [3] Ruppelt, E.: Druckluft Handbuch. Essen 2003.
- [4] Radgen, P.: Umsetzung von Energieeinsparpotenzialen bei der Druckluftanwendung durch die Kampagne „Druckluft effizient“. In: VDI-Gesellschaft (Hrsg): Druckluft: Erzeugung, Aufbereitung, Verteilung, Anwendung und Planung. Düsseldorf 2002.
- [5] KfW Bankengruppe: KfW-Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen. Frankfurt 2005.
- [6] Träger der Kampagne: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung (ISI) und der VDMA Fachverband Kompressoren, Druckluft und Vakuumtechnik. URL: <http://www.druckluft-effizient.de/>, Abrufdatum 28.07.2011.
- [7] Radgen, P.; Blaustein, E.: Compressed Air Systems in the European Union. Stuttgart 2001.
- [8] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2008. Berlin 2009.

Schlüsselwörter:

Substitution von Druckluft, Wirkungsgrad, energetischer Vergleich, elektrische Antriebe

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Teilprojekts „Druckluftarme Produktion“ des Leitprojekts *HIER! Hessen Innovationen für Energie- und Ressourceneffizienz*, das vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Kennzeichen AZ VIII 78 a 78-15/2009#46 unter anderem mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert wird. Weiterhin gilt unser besonderer Dank dem Volkswagenwerk Baunatal, dem NaturPur Institut für Klima- und Umweltschutz gGmbH sowie der Limón GmbH.

Substitution of Compressed Air – Potential for Reducing Energy Demand in Industrial Production

The low degree of efficiency of compressed air makes it very expensive. This conclusion is based on the energy input. According to today's level of knowledge, compressed air systems operate much more efficiently than several years ago. The range of measures in order to increase efficiency grows resistant but the overall efficiency of compressed air systems is still disappointing. One solution and topic of this paper is the avoidance of compressed air in the industrial production wherever possible.

Keywords:

Substitution of compressed air, degree of efficiency, energetic comparison, electrical actuator