

**Autor**

Karl-Heinz Feldmann

Metapipe GmbH,  
44135 Dortmund

Energiequelle	Einheit	Kosten
Erdgas	Nm <sup>3</sup>	bekannt
Strom	kWh	bekannt
Wasser	m <sup>3</sup>	bekannt
Dampf	kg	bekannt
Druckluft	m <sup>3</sup>	??????

Bild 1: Wichtige Energiequelle der Industrie



Bild 2: Im Technischen Dienste Management stehen sich Aufgaben, Spannungsfelder und Erfolgsfaktoren gegenüber

## „Kostenblase“ Druckluft Energieeinsparpotentiale in Druckluftnetzen

Krisenmeldung der Industrie über notwendiges „cost cutting“ ist nicht nur unter Betriebsleitern und -technikern zum „Top-Thema“ geworden, sondern auch in der Chefetage nach einer Studie des Fraunhofer ISI in Karlsruhe. Eine Verstärkung erfährt die Diskussion durch politische Zwänge, wie die heiß diskutierte Energieeffizienzrichtlinie der EU-Kommission [1]. Die Energievergeudung bei der teuersten Nutzenergie, der Druckluft, wurde bisher weitestgehend übersehen: Kostenunterschiede wie 0,10 € für 1 kW Strom und 2 € für 1 kWh Druckluft zwingen jetzt auch die Druckluftenergie auf den Prüfstand.

**Zuerst Transparenz, dann Effizienz**

Druckluft ist die teuerste Energieform, die aus Strom hergestellt wird: von 100 % bleiben als Faustformel für die Druckluft ca. 5 % übrig.

Das heißt für die Herstellung von „1 kWh“ Druckluft bei 10 Cent pro kWh Strom werden bis zu 2 € aufgewendet. Bei schlecht gewarteten Anlagen bei denen nach der EU-Studie [2] in 80 von 100 Betrieben bis zu 50 % der Energie vergeudet wird, wäre dieser Betrag noch höher. Natürlich kann man auf den wichtigen Energieträger Druckluft in Industrie- und Gewerbebetrieben nicht verzichten, aber bei diesen Kosten ungerührt und unnötig 100 % mehr zu produzieren als notwendig ist, das sabotiert jegliche Kostensenkungsmaßnahmen. Für Betriebe, je nach Branche, ergeben sich, bei Aufwendungen für Druckluft zwischen 10 und 30 % des Stromverbrauchs, Einsparpotentiale zwischen 5 und 15 %.

**Wirtschaftliche Zwänge und ökologischer Nutzen**

In der Automobilbranche konnte man am gleichen Tag in der Wirtschaftspresse lesen: „...fährt der Konjunktur auf und davon“ (Porsche: Druckluftpreisträger 2003) oder „...stottert sich zum Gewinn“ (Mitbewerber). Wie halten es die beiden Firmen mit der Druckluft? Porsche arbeitet seit langem mit einer Druckstufe (6 bar), der Mitbewerber, wie viele ebenfalls unter starkem Kostendruck leidende Automotive-Kollegen, traditionell mit drei Druckstufen.

Das ist sicherlich eine unzulässige Korrelation, aber ein Indiz. Wer heute erst feststellt, wie teuer die Druckluft ist, wer glaubt mit Kosmetik, z. B. mit der Anschaffung von ölfreien, drehzahlgeregelten Kompressoren in Verbindung mit vorhandenen schwarzen Rohren Drucklufttechnik sanieren zu können, oder wer sein 7,5 bar Netz mit dem 12,5 bar Netz kurzschaltet oder ähnlichen konfuse Aktionen Energie verschleudert, muss sich nicht wundern, wenn in der Wirtschaftspresse die Investoren gelegentlich schon Zweifel äußern, ob Kostensenkungen vor dem Hintergrund versteinertes Gewohnheiten überhaupt möglich sind.

Es wäre irrig anzunehmen, dass z. B. Länder mit niedrigen Personalkosten Energiefragen, die lange Zeit bei uns vernachlässigt wurden, ebenfalls auf die lange Bank schieben. In China veranlasst z. B. die Tongji-Universität in Shanghai Seminare zur Vermeidung der teuren Druckluftenergie und zwar gemeinsam mit den industriellen Anwendern. Bezogen auf deutsche Hochschulen, zarte Ansätze einer Änderung sind erkennbar, gilt heute noch der Satz von A.G. Stapel, dem früheren Pressesprecher von Atlas Copco:

„...Druckluft ist eine wunderbare Energie mit dem einzigen Nachteil, dass sie in der Aus- und Fortbildung nicht vorkommt.“

Erst wenn die Kostenblase Druckluft durch die schalldichten Fenster der Planer und Geschäftsführungen sichtbar wird, gibt es den erlösenden Knall und die notwendige Kostenentspannung.

Druckluftbetrachtung 1983 - 2004

	vor 25 Jahren	vor 12 Jahren	ist	ist
	1983	1991	2003	2004
Druckluftherzeugung	6 Kolbenkompressoren	2 Schraubenkompressoren 5 Kolbenkompressoren	8 Schraubenkompressoren	6 Schraubenkompressoren
Volumenstrom	160m <sup>3</sup> /min	140m <sup>3</sup> /min	110m <sup>3</sup> /min	100m <sup>3</sup> /min
Installierte Leistung	1250 kW	1200 kW	960 kW	720 kW
Stationsdruck	8 - 9 bar	7 - 8 bar	6,8 bar	6,5 bar
Netzdruck	6 bar	6 bar	6 bar	6 bar
Druckverlust	ca. 2,5 bar	1,5 bar	0,7 - 0,8 bar	0,4 bar
Leckagen	40 %	35 %	15 - 20 %	12 %
Druckluftqualität	6	5	4	4
Wärmerückgewinnung	keine	10 %	ca. 35 %	ca. 80 %
Rohrleitungsnetz	Stahl 100 %	Stahl 100 %	Kunststoff 80 % Stahl 20 %	Kunststoff 95 %

Bild 3: Betrachtung der Druckluftversorgung der letzten 20 Jahre

Die Politik, oft als zögerlich angesehen, ist schon viel weiter. In dem Endbericht an die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages [3] wird simpel der Ersatz von druckluftbetriebenen Geräten durch solche mit elektrischem Antrieb als Option empfohlen.

### Effizienzsteigerung heißt Systemkosten senken

ISE ist nicht ein Kürzel für eine Sanierungsmethode der Drucklufttechnik, sondern steht für „Innovative Systems Europe“. Das ist ein global agierender, auf drei Kontinenten fertiger Automobilzulieferer im Oberbergischen, der ca. 5000 Mitarbeiter beschäftigt.

Gefertigt werden für alle namhaften Automobilhersteller Karosseriemodulträger, Fahrwerkskomponenten und Überrollsysteme. Seit mehr als 30 Jahren gibt es Informationen für Anwender, wie der Komplexität der Drucklufttechnik energetisch Rechnung getragen werden sollte. Diese Vorschläge stoßen aber bei vielen auf sture Reformunwilligkeit. Seit mehr als 20 Jahren liegt bei ISE das besondere Augenmerk auf fortschrittliche Produktionsprozesse und intelligent umgesetztes Energiemanagement.

Wenn heute A. Troge, Präsident des Bundesumweltamtes, feststellt, dass Wachstum auch mit weniger Strom möglich ist, dann hat ISE von dieser Erkenntnis schon seit 20 Jahren profitiert. Der Primärenergieverbrauch wurde allein in den letzten ca. zehn Jahren um ein Drittel gesenkt, bei einer Umsatzausweitung von 50 %.

Meinolf Koch, Leiter Technische Dienste: „Wir sparen Kosten und tun zum Nulltarif noch erhebliches für die Umwelt, haben also einen doppelten Gewinn“.

### Königsweg zu „best practise“

Die Zielkriterien einer modernen Druckluftproduktion und -verteilung in der Komplexität ist aus der „Planungscheckliste Drucklufttechnik“ im Kasten auf der nächsten Seite zu erkennen. Die Ergebnisse des Sanierungsablaufes über zwei Jahrzehnte im Ergebnis zeigt Bild 3. Basis aller Energiesparmaßnahmen ist ein penibles Energiemanagementsystem, organisch eingebettet in einen Energiezirkel innerhalb der Zentralen Dienste (Bild 2), welche direkt der Geschäftsleitung unterstellt sind.

Alle Ergebnisse der Einsparmaßnahmen werden im Soll-Ist-Vergleich zum Jahresende festgestellt. Es wird aber über das ganze Jahr für ständige Transparenz der Entwicklung gesorgt. Durch Informationen und Schulungen wird das Bewusstsein der Mitarbeiter geschärft, die Erfolge sind Anlass zu einem sportlichen Ehrgeiz.

Gesamtennergiekosten im Vergleich zum Umsatz in % (Basis Euro)

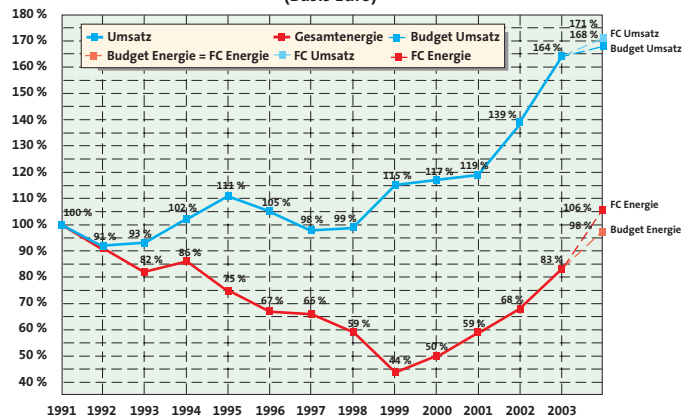


Bild 4: Entkoppelung von Energiekosten und Umsatzwachstum

### Drucklufttechnik ist so einfach

Wer sich unter systemischen Gesichtspunkten drei Kriterien merkt: Luftmenge, Luftqualität und Luftdruck (Fließdruck) vor dem Hintergrund der Kosten wird in allen Gesprächen mit den normalerweise auf der Anbieterseite anzutreffenden Komponentenherstellern bestehen können. Diese simplen Parameter sind wichtig, um als Betreiber festzustellen zu können, ob einzelne Produkte sinnvoll in das System implementiert werden können.

Sanierungen sollten entgegen der normalerweise üblichen Vorgehensweise am Werkzeug beginnen und am Kompressor enden. Als erstes wurden die unterschiedlichen Druckstufen der dezentral aufgestellten Kompressoren vereinheitlicht, d.h. der Standarddruck wurde mit 6 bar bestimmt. Wer ohne Alternativen einen höheren Druck benötigt, muss dezentral einen Booster einsetzen.

Dann wurde die Verrohrung, ein jahrzehntealtes Sammelsurium aller Werkstoffe und Verbindungsarten untersucht mit dem Ergebnis, dass hier nur eine planmäßige Erneuerung mit einem einheitlichen Rohrwerkstoff, einer optimalen Rohrführung, gerechneter Dimensionierung und spaltlosen Rohrverbindern Sinn macht.

Das Ergebnis der Untersuchungen der Druckluftverteilung war die Entscheidung für ein korrosions- und oxydationsfreies Premiumrohrsystem aus Kunststoff mit kaltgeschweißten Verbindungen.

Hallenbereichsweise wurden Halle für Halle neue Ringleitungen verlegt, in der rechnerisch optimal ermittelten Nennweite von 63 mm. Um nicht die Produktion während der Implementierung zu stoppen, fand ein Umschalten in arbeitsfreien Zeiten statt.

Begonnen wurde jeweils an den 16 dezentralisierten Kompressoren. Die Anzahl ist mittlerweile auf sechs zentrale Aggregate (Bild 7) geschrumpft. Über Hauptleitungen mit der Nennweite 90 mm werden alle Hallen versorgt. Natürlich sind auch alle Hallen untereinander verbunden, Priorität hat die Sicherstellung der Verfügbarkeit (Bild 5). Aus Gründen fehlender Druckluft darf der Betrieb nie zum Stillstand kommen.

Das Ergebnis dieser Sanierung ist eine Leckagerate von unter 10 %, ein völlig entfallender Wartungsaufwand und aufgrund der standardisierten Anschlussleitungen im Nennweitenbereich zwischen 20 und 32 mm die Vermeidung der sonst üblichen Flaschenhälse.

Nun werden auch reichlich Armaturen mit glattem Durchgang (Kugelhähne) verwendet und gleichzeitig findet eine grundsätzliche Umstellung auf Sicherheitskupplungen mit glattem Durchgang statt. Eine oxydations- und korrosionsfeste Verrohrung vermeidet Verunrei-

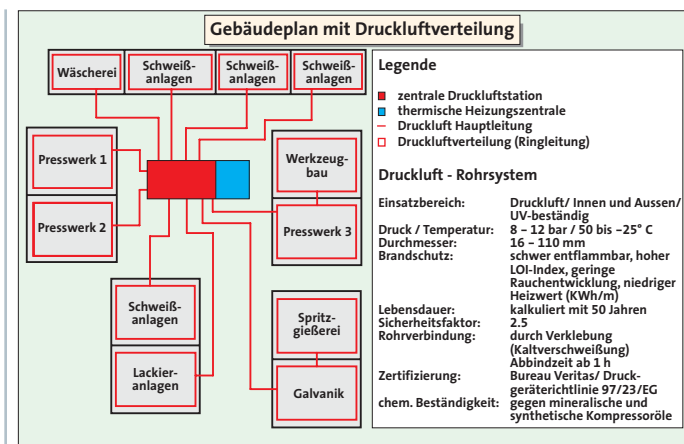


Bild 5: Beispiel für ein Druckluftnetz

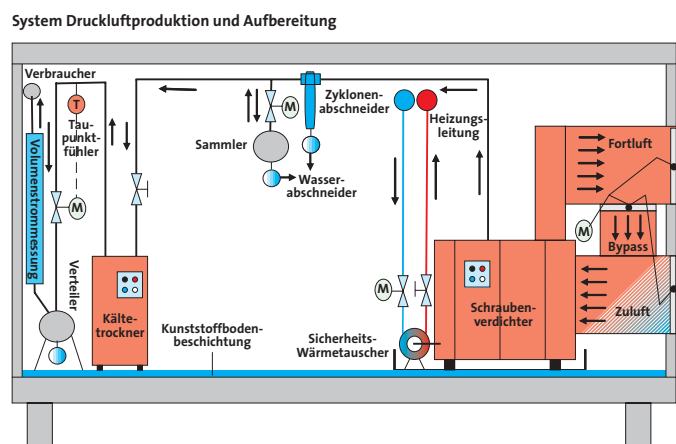


Bild 6: Erzeugung und Aufbereitung von Druckluft

nungen der Druckluft durch Zinkgeriesel, Rost, Zunder, Ölkohle. Dadurch wird eine, oft neben der zentralen Aufbereitung, noch übliche dezentrale Aufbereitung überflüssig.

Verunreinigungen der Umgebungsluft (TA Luft) oder Störungen am Werkzeug, z. B. bei verzinkten Leitungen sind oft unvermeidlich. Es setzt sich die natürliche Luftfeuchtigkeit als Kondenswasser in den Rohrleitungen ab, der Luftstrom oder eine Neigung der Rohre ziehen dieses Wasser nicht mehr mit, das Kondenswasser mit einem niedrigen pH-Wert löst die Verzinkung auf, die Karbonate des Wassers gehen eine Verbindung mit dem Zink ein, es entsteht Zinkkarbonat. Das salzarme Kondenswasser hat immer das Bestreben Ionen und Salze zu binden, daher verbindet sich dieses mit dem Zink. Wird das System auf trockene Luft umgestellt, verbleiben die Zinkkarbonate als feste Form, diese Stäube finden sich dann in der Druckluft wieder und können zu Störungen führen oder die Umwelt beeinträchtigen.

Diese Probleme gibt es z. B. in großen Ausstellungszentren, wo die Leitungen zeitweise trocken liegen. Bei den neuen Ausstellungsgebäuden in Stuttgart haben die Brandi Ingenieure durch die erstmalige Wahl von Druckluftleitungen aus Kunststoff im Ausstellungswesen diesem

beklagtem Umstand Rechnung getragen. Premiumrohrsysteme speziell für Druckluft, die möglichst alle Kriterien dieses Einsatzfeldes berücksichtigen, geben auch die notwendige Sicherheit im Hinblick auf die Druckgeräterichtlinie 97/23 EG sowie Betriebssicherheitsverordnung bezüglich der Feststellung des Gefährdungspotentiale.

Im Anschluss an die Festlegung der Schrittfolge, nach der Sanierung der Druckluftverteilung, wendete man sich der Aufbereitung nach DIN/ISO 8573-1 zu. Hier gilt das Motto: Wir tun nur soviel wie nötig, d.h. Kältetrocknung genügt für die allgemeine Werksluft. Natürlich wird hier z. B. der Drucktaupunkt genauso per Leitstand überwacht, wie die Druckluft an der 8000 t-Pressen. Kleine Feinheiten zeigen das Bemühen ums Detail: Wenn der Drucktaupunkt unterschritten wird, beginnt nicht eine aufwendige Regelung mittels Trockner sondern es wird getrocknete Luft aus dem Eingangssammler eingespeist.

Die zentralisierte Druckluftproduktion besteht aus sechs Kompressoren, je 120 kW-Antrieb, erstaunlicherweise ohne Drehzahlregelung und ohne hochkomplizierte Steuerung. Selbst viele Experten kommen ins Staunen, wenn sie vor dem komplexen Hintergrund des gesamten, gut durchdachten Systems, die sonst üblicherweise anzutreffenden mo-

#### Planungsscheckliste Drucklufttechnik

Festlegung und Dokumentation des Volumenstroms unter Berücksichtigung des Luftverbrauchs, der Einschaltdauer, des Gleichzeitigkeitsfaktors, der Leckagen, der Reserven für älter werdende Werkzeuge unter Berücksichtigung von Reserven für Wachstum.

Volumenstrom (jetziger Verbrauch m<sup>3</sup>/h)

- plus Leckagen 10 bis 35 % je nach Rohrsystem
- plus Reserven 35 % Zuwachs nach des Anwenders
- plus Mehrverbrauch 5 bis 10 % für älter werdende Werkzeuge

Die Druckluftqualität wird gewählt nach DIN ISO 83751 (nur so gut wie nötig). Die Gestaltung der Aufbereitung ergibt sich dann in Art und Umfang obligatorisch. Druckluftqualität nach DIN 8573-1 – z. B. Werksluft 2/4/3, d. h. zentral reicht Kältetrockner. Die Aufbereitung sollte zentral erfolgen für die Standardqualität und dezentral für Sonderqualitäten. Die Verdichtung sollte auf möglichst niedrigen Betriebsdruck (z. B. 6 bar oder weniger) abgestimmt werden: Maximaldruck am Kompressor: max. 1,5 bar höher als notwendiger Betriebsdruck am Verbraucher.

Fließdruck

- z. B. 6 bar am Werkzeug bedeuten
- ca. 7,5 bar am Verdichter

Druckabfälle

- ≤ 0,5 bar: Regelbereich Kompressor
- ≤ 0,6 bar: Aufbereitung
- ≤ 0,1 bar: Rohrnetz
- ≤ 0,3 bar: Anschlusszubehör

Rohrsystem

Dokumentation der Dimensionierung nach anerkannten Verfahren; korrosions- und oxydationsfestes Rohrmaterial; spaltlose Rohrverbindungen; erweiterungsfähige Rohrführung; Leckagen max. 10 %! Bei der Dimensionierung der Druckluftverteilung sollten die Querschnitte obige Reserven, Leckagen etc. berücksichtigen. Die Rohrführung sollte eine spätere Vermaschung des Rohrnetzes ermöglichen.

- |                                    |                                |                          |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 1 Heizungswasser Vor- und Rücklauf | 5 Kälterohr                    | 9 Drucksensor            |
| 2 Wärmetauscher                    | 6 Kühlwasser Vor- und Rücklauf | 10 Druckluftmengenzähler |
| 3 Kompressor                       | 7 Druckluftsammlerohr          | 11 Ringleitung in Hallen |
| 4 Druckluftsammlerohr              | 8 Motorschieber                | 12 Bypass                |

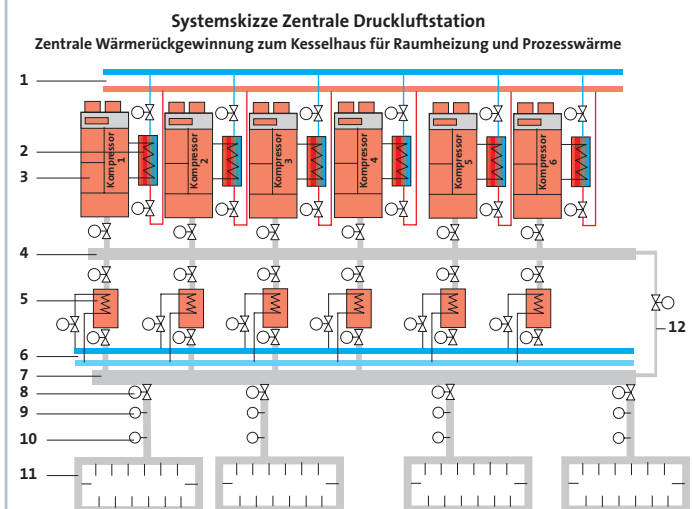


Bild 7: Skizze der vorgestellten Druckluftstation

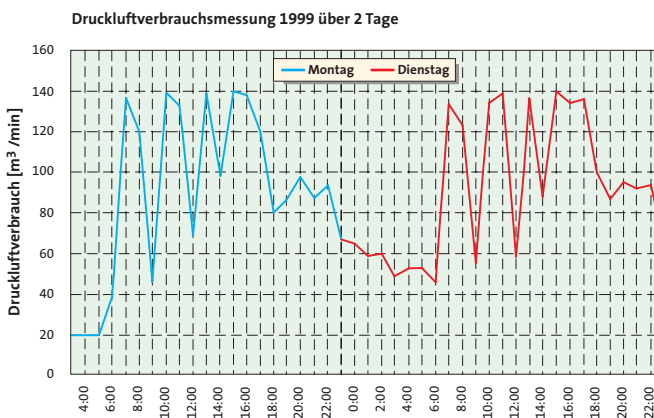


Bild 8: Verbrauchsmessung eines Druckluftnetzes

dernsten Kompressor-Steuerungen zur Vermeidung eines nicht optimalen Last-/Leerlauf-Verhaltens suchen. Der Hintergrund ist einfach: Mit der Leitung der einzelnen Betrieben wurde durch organisatorische Maßnahmen (Pausenverlegung, Umstellung der Produktionszyklen etc.) sichergestellt, dass die Druckluftverbrauchsspitzen (Bild 8), für die normalerweise teuerste Aggregate mit Reserven vorzuhalten sind, egalisiert wurden. Das Rohrnetz und die dezentralen Kessel haben ein Speichervolumen von 280 m<sup>3</sup> und erlauben eine simple Grundlastwechselschaltung. Frappierend ist dabei das Druckband der Kompressoren, es beträgt 0,2 bar, d.h. bei 6,5 bar wird abgeschaltet und bei 6,3 bar zugeschaltet. Von den sechs Kompressoren laufen vier quasi ständig, der 5. schaltet zu und der 6. dient als Reserve. Der Clou aller aufgezeigten Maßnahmen ist kostenmäßig die komplette ganzjährige Wiederverwendung der rückgewinnbaren Wärme. Im Kesselhaus ist eine thermohydraulische Weiche installiert, die über das Kompressor-Kühlwasser Energie für den Heizkreislauf zu geleitet wird. Dadurch wird bei dem mit Hybridfeuerung ausgestatteten Heizkessel pro Jahr 350 000 m<sup>3</sup> Gas eingespart, und die Druckluftkosten können um ca. 25 % gesenkt werden.

### „Wie halten Sie es mit der Druckluft?“

Mit dieser simplen Frage kann ein Banker heute die Kreditwürdigkeit seiner Kunden feststellen. Die Antwort wäre ein Indiz für umsichtiges Wirtschaften und Kostentransparenz. Unternehmer mit effektiver Energiesteuerung und besonderem Fokus auf die Nutzenergie Druckluft erzielt zwangsläufig höhere Gewinne. Ein Selbstcheck vermeidet, von einer solchen, zur Verwirrung der Gesprächspartner, häufiger gestellten Frage, überrumpelt zu werden. Wie schon ausgeführt, interessieren sich besonders Investoren, wie es um den Reformwillen zur Kostensenkung bestellt ist, das Umfeld der Nutzenergie Druckluft gibt da eine eindeutige Antwort. Nicht zu vergessen ist der Einfluss der Planer in diesem Bereich. Wer sich gelegentlich die Ausschreibungen ansieht, kann nur konstatieren, dass unter systemischen Gesichtspunkten so manche Druckluftverteilung eine reine Energieschleuder

#### Internethilfe

[www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de) (Forum Druckluftverteilung)  
[www.druckluft-e-market.de](http://www.druckluft-e-market.de)  
[www.ea-nrw.de](http://www.ea-nrw.de) (Energieagentur NRW)  
[www.druckluft-news.de](http://www.druckluft-news.de) (Aktuelle Infos Drucklufttechnik)  
[www.knowpressure.org](http://www.knowpressure.org) (Compressed Air Challenge)

ist: Es ist meistens ein Rätsel wie dimensioniert wurde (Pi mal Daumen); es gibt Kombinationen von verzinkten Leitungen und Edelstahl in der Verteilung, mit der Folge zentraler und gleichzeitig dezentraler Aufbereitung: Die Verwendung von „Wasserrohren“, die nur Teilbereiche der Einsatzforderungen für Druckluft abdecken und Ursache für einen späteren Materialmix sind – alles vor dem Hintergrund „... mache ich seit 30 Jahren, es hat sich noch niemand beschwert.“ So schließt sich der Kreis bei der Suche nach der Ursache der Effizienz-misere für die Nutzenergie Druckluft.

#### Fazit

Mit der Kenntnis simpler systemischer Fakten (Luftmenge, Druckluftqualität, Fließdruck) und den Willen zur mehr Eigenverantwortung und weniger Bevormundung, ist es ziemlich einfach zu vermeiden, dass das Wort „Effizienzsteigerung“ nicht zum Unwort wird. Kosmetische „Sanierungen“, z. B. bei Kompressoren, genügen zwar der oft nur auf Selbstbestätigung ausgerichteten Traditionen im Druckluftbereich, haben aber nichts mit notwendigen Erkenntnissen zu tun. Dass auf die deutsche Hochschullandschaft bezogen auf die Druckluftversorgung die Attribute wie „erstarrt/isoliert“ passen, zeigt der zitierte Ausspruch von A.G. Stapel zu Beginn des Beitrags. Dieser Hinweis auf Ausbildungsmängel an den Hochschulen sollte jedoch nicht als Alibi, für die im Bereich der Industrieplanung bzw. Haustechnik tätigen Ingenieurbüros gelten. Sie sind verpflichtet nach dem Stand der Technik zu planen, das wird sehr subjektiv gesehen. Die Folge ist eine fehlerfreundliche „Irrtumskultur“, Abhilfe schafft nur Fortbildung durch Literatur, Fachveröffentlichungen oder Seminare von technischen Akademien (siehe Seite 14 in dieser Ausgabe).

#### Literatur

- [1] Richtlinie zur Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, Brüssel, 10. Dezember 2003
- [2] Radgen/Blaustein, Compressed Air Systems in the European Union, Stuttgart 2001, ISBN 3-932298-16-0
- [3] Systematisierung der Potentiale und Optionen – Endbericht an die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages, Karlsruhe/Jülich, 12/2001
- [4] Druckluftenergie – Eine EU-Studie zeigt Schwachstellen auf, TAB 2/2003, S. 53 bis 59