

### **III. Druckluftenergie: Effektivität – Effizienz**

Karl-Heinz Feldmann

#### **III.1. Energieeffizienz, der Schlüssel zum Erfolg**

Vor dem Hintergrund der Notwendigkeit des Umwelt- und Ressourcenschutzes ist es unbestritten, dass wir auf erneuerbare Energiequellen umstellen müssen. Es ist eine zentrale Frage dieses Jahrhunderts, nur vergleichbar mit der Industrialisierung zu Beginn des vorigen Jahrhunderts.

Deutschland will, das ist eine gigantische Herausforderung, bis 2050 80 % der Stromversorgung aus Sonne, Wind und Biomasse gewinnen. Derzeit beträgt der Anteil 16 %. Aber keiner kann die politischen, wirtschaftlichen und klimatischen Bedingungen in 20, 50 oder gar 100 Jahren mit Sicherheit voraussagen. Forschung und Forschungspolitik müssen daher alle sinnvollen Optionen offen halten und weiter entwickeln, von erneuerbaren Energien über Effizienzsteigerung jeglicher Art, Abscheiden und Speicherung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kernspaltung bis hin zur Kernfusion.

Machen wir uns nichts vor: Solche Zwangsbeglückungen sind notwendig. Die EU und die nationalen Regierungen machen Front gegen unnötige Ressourcenverschwendung und Umweltverschmutzung. Das fängt an bei der Modernisierung im Anlagenbestand und setzt sich fort in der verstärkten Aufklärung über Technologien und Einsparpotenziale, der Erschwerung der Nutzung ineffektiver Technologien bis zu einem Verbot (nach Übergangsfrist), d. h. Festschreibung von Energieeffizienzbenchmarks, verbunden mit bürokratischen Auflagen („Ordnungsrecht“). Bei Neuanlagen wird die Tendenz zu effizienteren Technologien unterstützt (nicht nur) im Komponentenbereich, z. T. auch über EuP Effizienzstandards.

Der Gesamtenergieverbrauch in Deutschland geht nur langsam zurück. Es gab nur zwei Momente temporären Rückgangs, zum einen weil im wieder vereinigten Deutschland Fabriken geschlossen wurden und zum anderen beim Wirtschaftseinbruch der letzten Jahre. Das kann nicht das Modell für die Zukunft sein.

Die Umstellung der gesamten Energieversorgung wird die Stromkosten erhöhen, die Nachfrage wird darüber hinaus weltweit steigen. Selbst in Deutschland wurde bislang jede Effizienzsteigerung durch Mehrverbrauch kompensiert. Obwohl wir gerade heute sparsamer sind als früher, verbrauchen wir mehr Strom. Der Grund liegt in dem Zuwachs von Technik in den Wohnungen: Computer, Heimkino, elektrische Bilderrahmen etc.

Ein Deutschland mit nachhaltig starken Exportinteressen trifft auch bei den Energiekosten auf Mitbewerber mit vielleicht temporär höheren oder auch niedrigeren Kosten. Niedrige Energiekosten sind im Wettbewerb existenziell.

Hinzu kommt die nicht als Folge der Finanzkrise erkennbare Absicht einiger Regierungen, mittels einer hohen Geldpolitik Exporte zu verbilligen. Der Chef des Internationalen Währungsfonds, Dominique Strauss-Kahn, warnt bereits vor einem Währungskrieg, der in einen Inflationsschub mündet.

#### **III.2. Nachhaltigkeit muss nicht teuer sein**

Der ETH-Energieökonom Eberhard Jochem, Mitbegründer des Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) der ETH Zürich, weist darauf hin, dass die Steuerzahler schon heute für zerstörte Erdölplattformen, unbrauchbare Böden, Versicherungen, Naturkata-

strophen und Elementarschäden Adoptionskosten des Klimawandels zahlen, obwohl die tatsächlichen Kosten noch unbekannt sind.

Wer sich die Energieflussdiagramme mit den enormen Verlusten, die bei der Umwandlung von Primärenergie (die in den Energiequellen tatsächlich vorhandene Energie) in Endenergie (die vom Verbraucher schließlich genutzte Energie für die jeweilige Anwendung) ansieht, ist überrascht. Bei der Verbrennung von Treibstoff im Automotor werden nur 20 % der eingesetzten Energie für den Antrieb genutzt, der große Rest geht in Form von Wärme verloren. Dasselbe gilt für die bisherige Beleuchtung. Die Lampen sind eigentlich Heizungen, die wenig Licht abgeben. Die gleiche Relation gilt für die Druckluft: Aus 100 % Nennleistung werden nur 5 % Wirkleistung. Ein gutes Beispiel dagegen ist das Passivhaus, für das der Brennstoffbedarf bis zu 90 % reduziert wird.

Der Ökonom Jochem („Wir sind immer noch in der Eisenzeit der Energiewirtschaftsgeschichte“) hat an einer Studie mitgearbeitet, die zeigt, dass rund die Hälfte einer anvisierten Reduktion von 100 Millionen Tonnen Treibhausgas wirtschaftlich rentabel umgesetzt werden kann und die andere Hälfte mit geringen Kosten.

Für die Industrie haben alle führenden Wirtschaftsinstitute seit Jahren ein Einsparpotenzial von 25 bis 30 % an Energiekosten festgestellt, ein beachtenswerter Posten neben den Einsparungsmöglichkeiten im Privatsektor. „Es ist nicht genug zu wissen, man muss es auch anwenden, es ist nicht genug zu wollen, man muss es auch tun“ (J. W. v. Goethe).

### III.3. Druckluft, (k)ein undurchsichtiges Thema

Der Umgang mit Druckluft, der teuersten Energie, muss neu aufgestellt und effizienter werden: Die EU „kümmert“ sich u. a. explizit, wie schon die Studie aus 2001 zeigt, um den Druckluftbereich, d. h. um unnötige Umweltverschmutzung und unsinnige Ressourcenverschwendung. Bisher haben sich in Deutschland die nur innovativen Unternehmen aus Gründen des Profits, der Marktführerschaft und um den Angriff der Billiglohnkonkurrenz zu parieren, an der Effizienzrevolution beteiligt.

Ein Problem der optimalen Druckluftversorgung ist das Fehlen ausreichender Planungskompetenzen und Wissensstandards sowie fehlende Kenntnisse technischer Regeln.

Die Durchsetzung von Energieeffizienzanforderungen (2006/32/EG), der EuP-Richtlinie (2005/32/EG), der Energiemanagementsysteme (DIN EN 16001), der BetrSichV sowie der Druckgeräterichtlinie (97/23/EG) wird im Moment noch gehemmt durch das Fehlen von erfahrenen Energieberatern (EUREM) im Druckluftbereich.

Druckluftanlagen werden häufig in der Komfortzone gefahren, d. h. nicht im verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Optimum „hart am Wind“, sondern meistens jenseits aller Energieeffizienz.

Bei der Druckluftenergie wirkt sich besonders kostentreibend aus, dass aus 100 % Strom nur ca. 5 % Energie in Form von Druckluft und ca. 95 % Wärme entstehen. Eine Kraft-Wärme-Kopplung wäre nach Reduzierung der Vergeudungsmengen ein nächster Schritt zu mehr Ökonomie und Ökologie. „The energy efficiency of many compressed air systems is low: case studies show that savings in the range from 5 to 50 % are possible“ [6].

In 80 von 100 Betrieben werden (aus Unkenntnis) 50 % der Druckluftenergie und mehr vergeudet. Diese Aussage gleicht eher einem Emphemismus. Es sollte heißen: Diese teuerste Nutzenergie wird zu 100 % mehr als benötigt produziert. Rechnen Sie einmal zu den Energiekosten (ca. 80 %) noch die Investitionskosten einschließlich der Reservekompressoren hinzu, dann könnte man theoretisch auf die Hälfte aller Kompressoren verzichten.

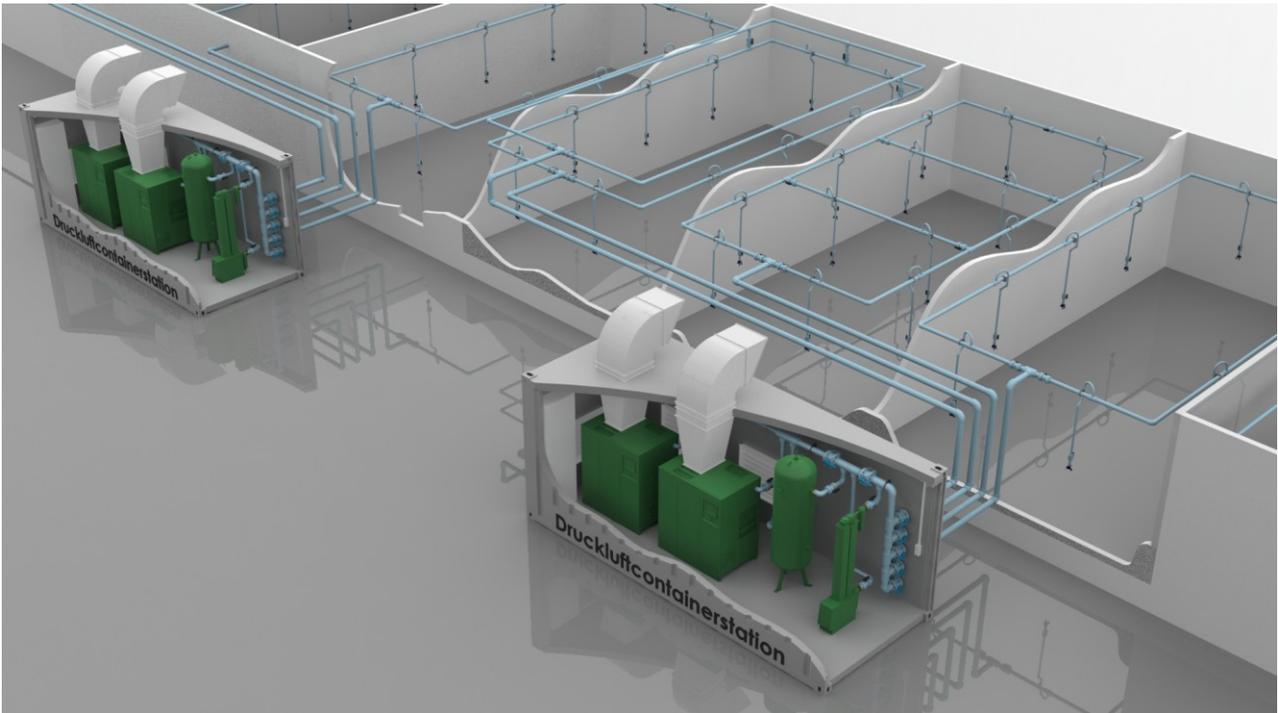


Bild 1: Druckluftcontainerstation.

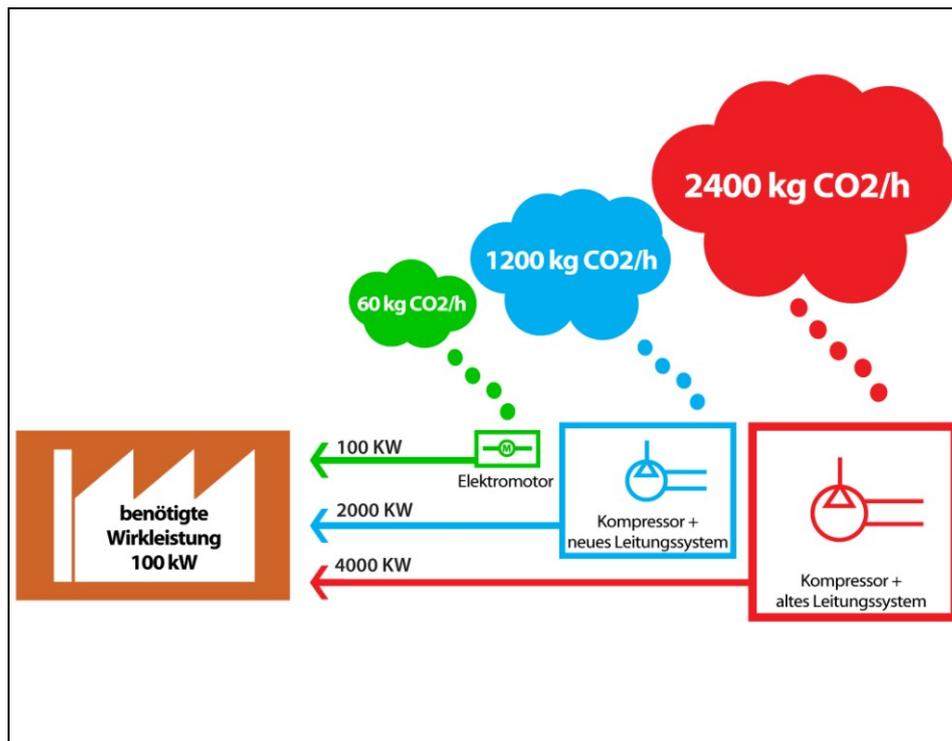


Bild 2: Leistungsvergleich.

Als Faustformel zur Feststellung des Einsparpotenzials gilt, dass die Kompressorenleistung von 1 kW p.a. ca. 1.000 EUR kostet, d. h. bei einer installierten Leistung von 2000 kW ergeben sich Kosten von 2.000.000 EUR. Davon könnten 50 %, also 1.000.000 EUR, gespart werden. Bei einer Umsatzrendite von 3 % müsste zur Kompensation dieser Energievergeudung ein zusätzlicher Umsatz von 30 Mio. EUR erzielt werden.

### **III.4. Nutzenergie Druckluft im Detail**

#### **III.4.1 Anwendung**

Druckluft, eine sehr alte Energieform, hat ein breites Anwendungsgebiet. Sie verbindet Geschwindigkeit, Kraft, Präzision und gefahrloses Handling miteinander.

Diese Eigenschaften machen Druckluft oft konkurrenzlos, stehen aber häufig in Konkurrenz zu Energieformen wie Strom oder Hydraulik. Hier gebietet die Wirtschaftlichkeit eine präzise Kosten-Nutzen-Analyse.

Exemplarische Anwendungen sind:

- Arbeits- bzw. Energiekraft: Antreiben, Steuern, Bewegen (Roboter, PET-Flaschen, Webstühle, Exschutz-Hebezeuge),
- Aktivluft: Transportmedium (Schüttgut, Luftlager für optische Geräte für Endvermessung),
- Prozessluft: Trocknung, Belüftung sowie
- Vakuum: spannen, saugen, verpacken, anheben, Handling von Platinen.

#### **III.4.2 Luftqualität**

Die Luftqualität ist geregelt nach ISO 8573-1. Sie sollte aus Gründen der Kostenersparnis zentral so niedrig wie möglich gehalten, ggf. dezentral auf einen hohen Standard gebracht werden. Grundsätzlich ist das ein Problem der Druckluftherzeugung. Ein Rohrnetz sollte die Qualität nicht beeinträchtigen.

#### **III.4.3 Luftmenge**

Leckagen kosten Geld. Sie sind die fleißigsten Arbeiter über 24 Stunden an 365 Tagen. Ein 10-mm-Loch kostet pro Jahr TEUR 44 ( $\text{kW} \times 0,15 \text{ EUR} \times 8760 \text{ h}$ ).

#### **III.4.4 Betriebsdruck**

Eine Verdichtung, möglichst nicht höher als 1 bar über dem notwendigen Betriebsdruck wird empfohlen, z. B. 7,5 bar. Hier ist zu beachten, dass in der Vergangenheit wegen zu kleiner Rohrdimensionierung die Drücke auf 10 bar erhöht wurden. Das bedeutete nicht nur den Vorteil größerer Mengen, sondern auch hohe Leckagen und hohen Luftverbrauch an den Werkzeugen (gleiche Leistung, hoher Verschleiß). Der Ursache eines überproportionalen Produktivitätsrückganges am Werkzeug wegen eines zu niedrigen Druckes folgte immer eine Energievergeudung im Gesamtbereich. Nicht die Kompressoren bestimmen die Kosten, sondern die Qualität der Druckluftverteilungen. Kommen wir nun zu der normalerweise größten Schwachstelle in der systemischen Druckluftversorgung, nämlich der Druckluftverteilung. Hier führen Leckagen von 30 – 50 % und Druckabfälle von 2 – 3 bar zu einer unnötigen Verdoppelung der Druckluftmenge.

In der Regel finden wir heute moderne, farbenfrohe Kompressoren sowie Leuchtdioden und anschließend vergreiste Leitungen, ein Sammelsurium aus Jahrzehnten, willkürliche Dimensionierungen, verwinkelte Rohrführungen – alles völlig aus dem Blick geraten.

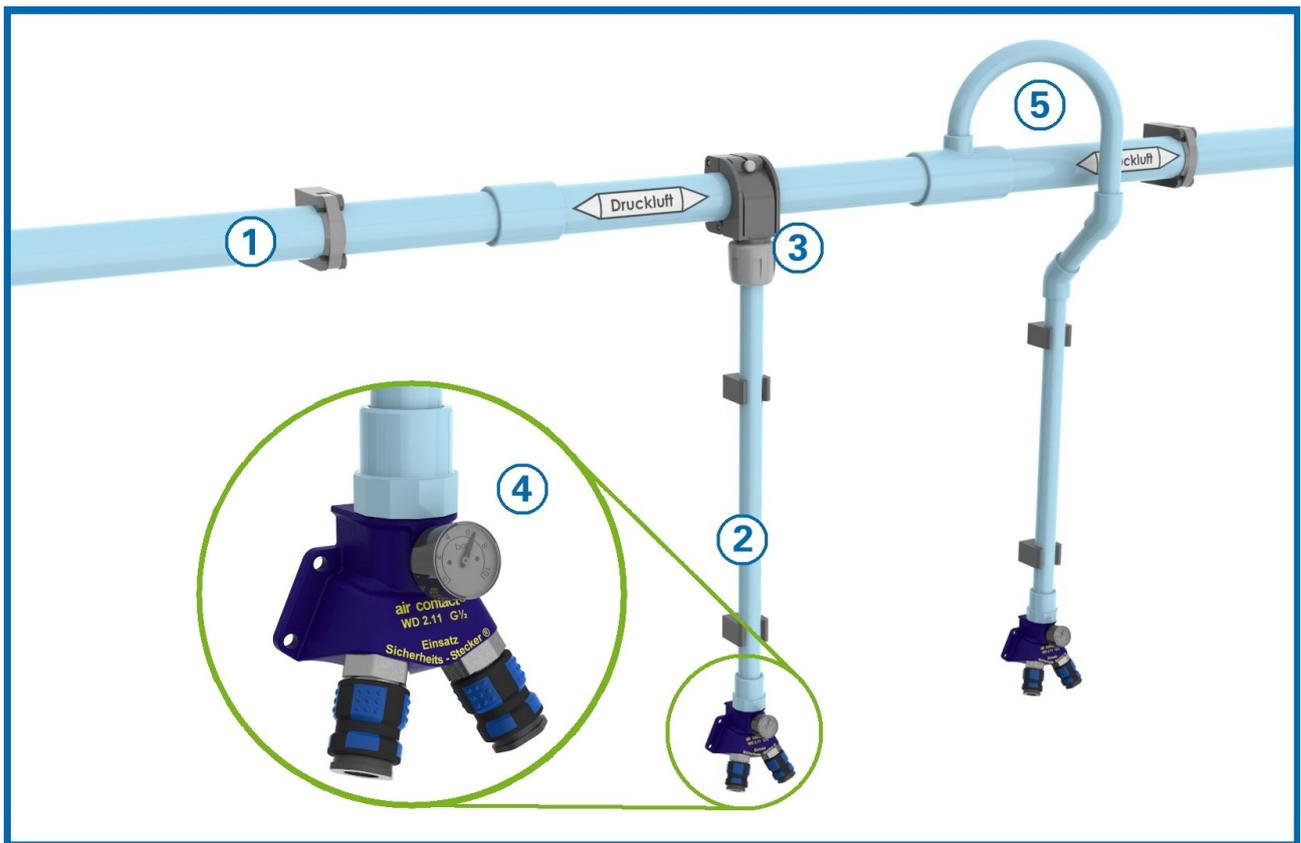


Bild 3: Moderne Leitungsführung: 1. Verteilungsleitung:  $\varnothing$  63 mm, 2. Anschlussleitung  $\varnothing$  32 mm, 3. Anbohrstelle, 4. Verteilerdose, 5. Schwanenhals.

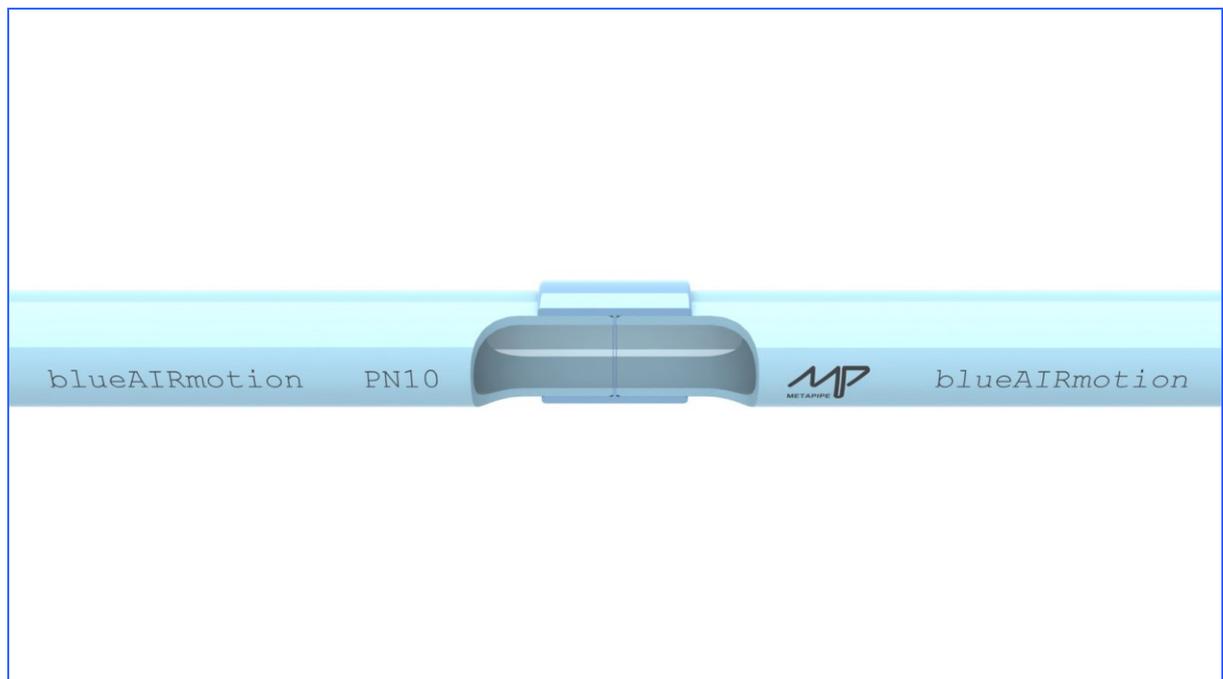


Bild 4: Spaltlose Rohrverbindung.

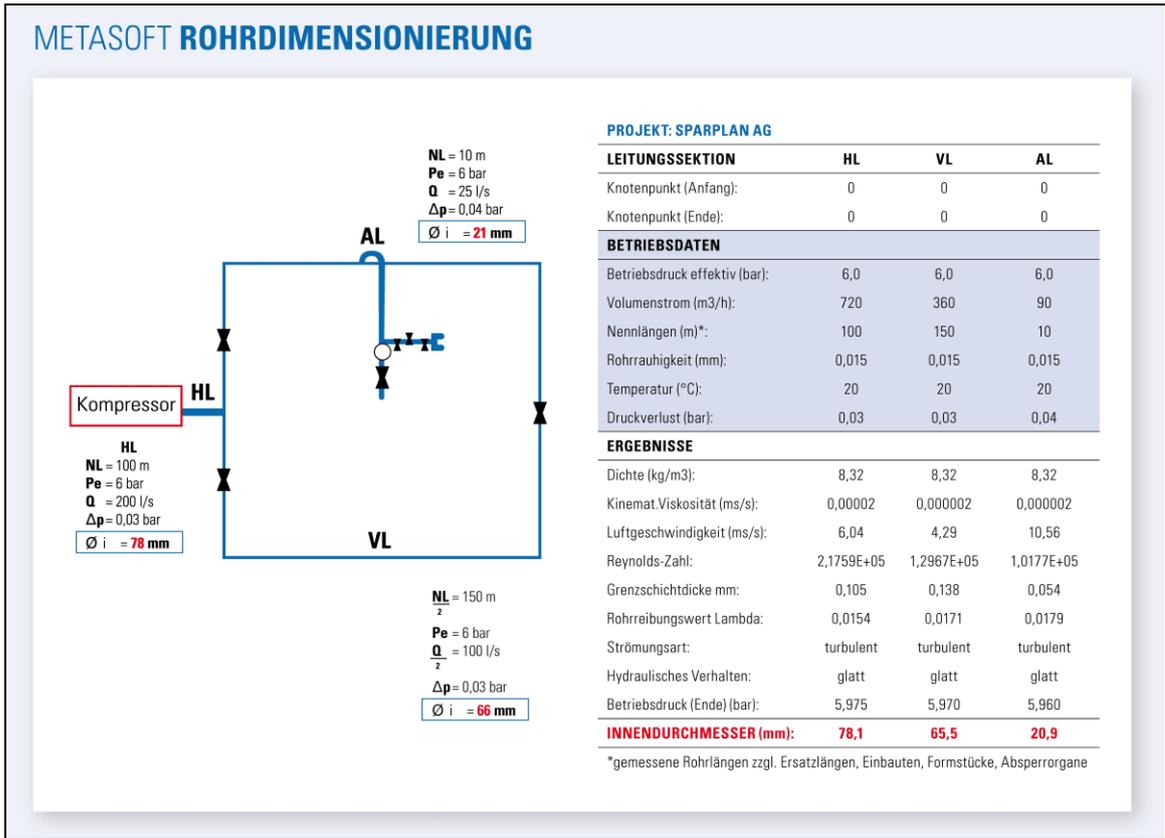


Bild 5: Dimensionierung, dokumentiert nach Lastenheft, maximaler Druckabfall 0,1 bar; v = 6 m/s.

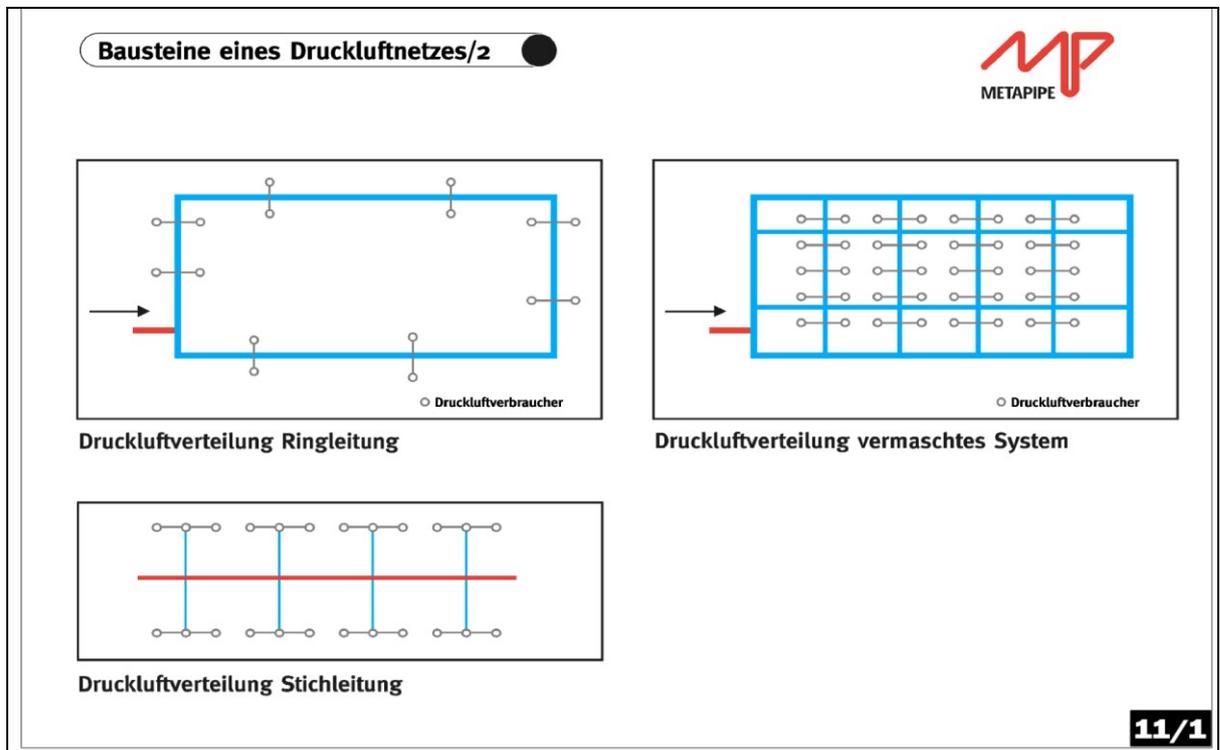


Bild 6: Bausteine eines Druckluftnetzes/2.

Eine moderne Druckluftverteilung (Premiumsystem) dagegen entspricht folgenden Anforderungen:

- Qualität  
Korrosions- und oxydationsfest, durchgängig homogener Rohrwerkstoff für Rohre, Fittings und Armaturen (Bild 3),
- Luftmenge  
Rohrverbindungen spaltlos (gelötet, geschweißt oder geklebt) zur nachhaltigen Vermeidung von Leckagen (Bild 4),
- Fließdruck  
(Bild 5) und
- Rohrführung  
Erweiterung und Vermaschung ohne Leistungseinbußen sind sicherzustellen (Bild 6).

### III.4.5 Gesamtoptimierung

Die systemische Optimierung von Druckluftversorgung ist in den vergangenen Jahrzehnten vor dem Hintergrund der gewachsenen Anforderungen an Luftmengen und Luftqualitäten zu kurz gekommen. Wir finden Zuständigkeiten oft in gänzlich energiefernem Abteilungen, keine Kostenarten und kostenstellengerechte Verteilung, eigentlich eine ziemlich gut organisierte „Verantwortungslosigkeit“.

Die frühere organisierte „Unzuständigkeit“ ist schon aus Gründen der Unfallsicherheit (BetrSichV), aber auch wegen der riesigen Energiekostenvergeudung, die die Konkurrenzfähigkeit einschränkt, nicht mehr zulässig.

Die positive Möglichkeit der Effizienzsteigerung mittels vielfältiger Stellschrauben ist immer für ein Gesamtsystem wichtig. Nur die systemischen Verbesserungen tragen zur Effizienz und Kostensenkung bei. Ein neuer ölfreier, drehzahl geregelter Kompressor bei alten schwarzen Leitungen im Sandbett ist systemisch eine sinnlose Investition. Bei der Beurteilung des Ist- und Soll-Zustandes sind immer die vier wesentlichen Baugruppen (Verdichtung, Aufbereitung, Verteilung, Verbraucher) eines Druckluftsystems zu fokussieren.

### III.4.6 Effizienzsteigerung heißt Systemkosten senken

Normalerweise werden Effizienzbemühungen und deren Ergebnisse im Druckluftbereich aus Kostengründen bewusst sehr diskret behandelt.

Es gibt eine veröffentlichte Zusammenstellung eines Unternehmens über Effizienzbemühungen in 25 Jahren, u. a. aus Gründen des damals schon praktizierten Umweltschutzes (Bild 7).

Bei einer Steigerung der Fabrikleistung um 50 % sind die Druckluftkosten erheblich zurückgegangen. Neben dem Abbau von Druckspitzen durch organisierte Maßnahmen reduzieren sich die Leckagen von 40 % auf 12 % und die Verdichtung von 8 – 9 bar auf 6,5 bar. Hinzu kommt noch die Reduktion der Leerlaufzeiten. Interessant ist, dass alle diese Maßnahmen ohne Einsatz drehzahl geregelter Kompressoren erfolgten.

	vor 25 Jahren 1983	vor 12 Jahren 1991	Ist 2003	Ist 2004
Drucklufterzeugung	6 Kolbenkompressoren	2 Schraubenkompressoren 5 Kolbenkompressoren	8 Schraubenkompressoren	6 Schraubenkompressoren
Volumenstrom	160m <sup>3</sup> /min	140m <sup>3</sup> /min	110 m <sup>3</sup> /min	100 m <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%

Betrachtung der Druckluftversorgung der letzten 20 Jahre

M. Koch, „Energieeinsparmaßnahme in der Automotive Industrie von ca. EUR 15 Mio. in den letzten 20 Jahren unter besonderem Fokus der Druckluftenergie“, Internationales Kompressoren-anwenderforum 2004, Karlsruhe

Bild 7: Druckluftbetrachtung: 1983 – 2004.

### III.4.7 Planung / Beratung - Pfusch für fremde Rechnung - Qualifikation in Nöten

„Druckluft ist ein natürliches, leicht zu speicherndes und einfach dosierbares Energiemedium mit dem einzigen Nachteil, in der Technikerausbildung nicht vorzukommen“ [3].

Die Krux ursächlich schlechter Planungsqualität sind nicht Lastenhefte, unrichtige Angaben, nebensächliche Details, fehlender Überblick über Komplexität (Schnittstellenproblematik) und Stand der Technik, Unkenntnis über Richtlinien (EU) und nationale Gesetze bzw. grundsätzliche Normen, Mangel an Wissensstandard und Planungskompetenz.

Das Fehlen von Grundkenntnissen, die zersplitterten Zuständigkeiten in den Betrieben und die daraus resultierenden fehlenden Kostensensibilitäten werten das Wissen von Komponentenanbietern – und sei es nur auf Fachebene – zu Herrschaftswissen auf.

Kein Anwender möchte als DAU, dümmster anzunehmender User, belächelt werden mit dem Ergebnis, des sich daraus ergebenden, mehr verwaltenden statt gestaltenden Druckluftenergienutzers (siehe EU-Studie und die Ausführungen dieses Vortrages).

Die vor diesem Kriteriennebel dazu noch häufig anzutreffende Konzentration auf Investitionskosten anstelle der Life-Cycle-Cost führt zu dem (unsichtbaren) Kostenfiasko, der Ressourcenverschwendung und wettbewerblichen Nachteilen. Manches ist geschenkt zu teuer – You will get what you pay for.

## Druckluftverbrauchsmessung 2004 über 2 Tage

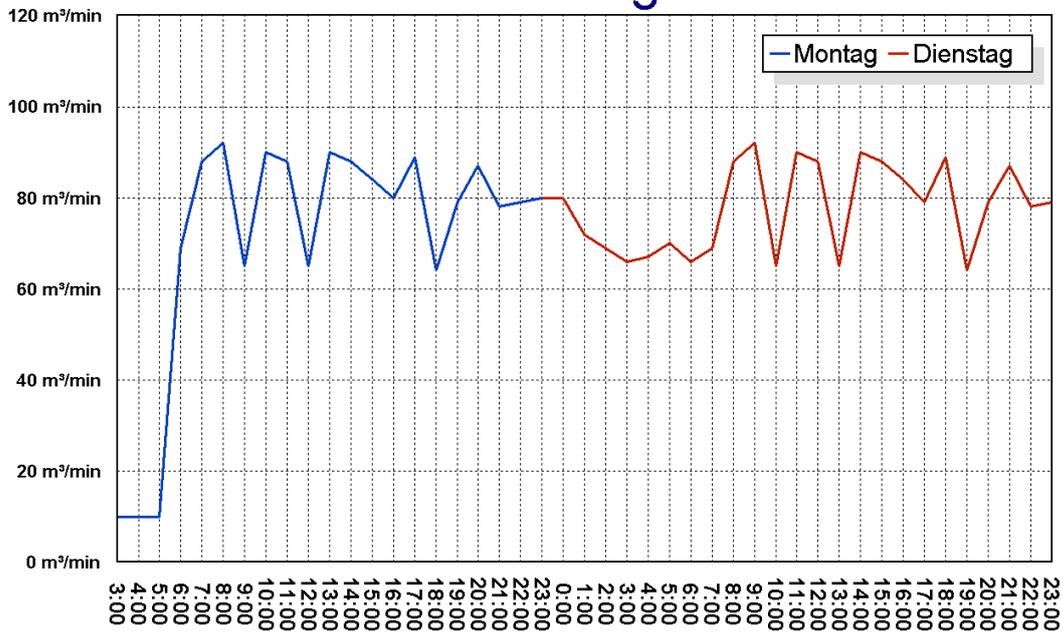


Bild 8a: Druckluftverbrauchsmessungen, 2004.

## Druckluftverbrauchsmessung 1999 über 2 Tage

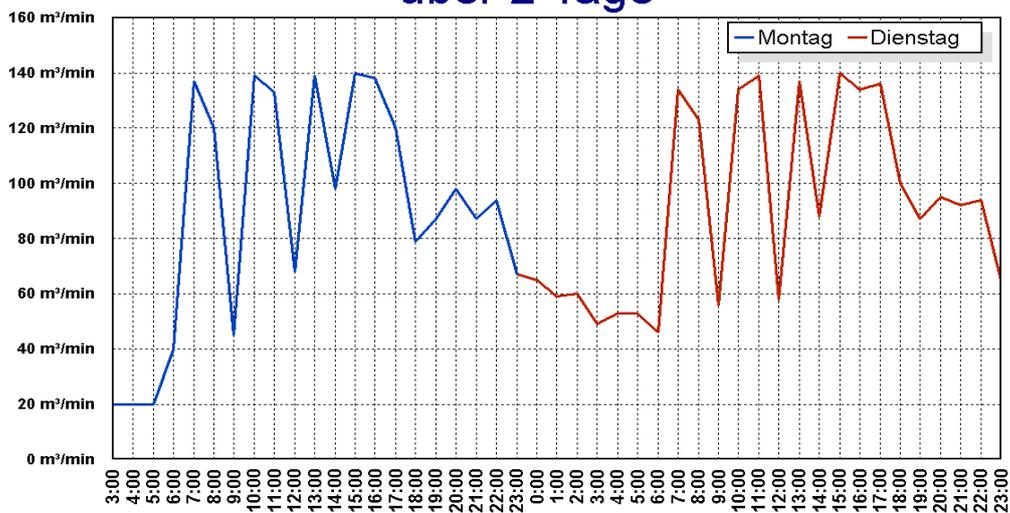


Bild 8b: Druckluftverbrauchsmessungen, 1999.

### III.4.8 Keep it simple

Um Komplikationen bei der Beschaffung hinsichtlich der Systemverträglichkeit zu vermeiden (faire Verkäufer spotten darüber als Minimax-Systeme: minimaler Erfolg für den Verkäufer und maximaler Schaden beim Käufer), sollten zwei Fallgruben vermieden werden:

1. Formulieren Sie bei allen Anfragen, was Sie systemisch erreichen wollen und zwar nur an wenigen Kriterien. Anbieter und Trendsetter (!) werden versuchen, dem Druckluftbetreiber offenkundig oder subtil zu diktieren, wie der Bedarf wirklich auszusehen hat.
2. Tückisch ist der 2. Fehler. Vermeiden Sie, sich an der aufgezeigten Option zu orientieren und auf den falschen Zug aufzuspringen, ohne zu klären, was eigentlich Ihr Bedarf ist. Plötzlich sprechen Sie z. B. über Rohre für heiße Luft (70 °C) und 16 bar Betriebsdruck und „moderne“ lösbare Rohrverbinder oder nur innenseitigen Korrosionsschutz. Sie haben aber weder heiße Luft noch eine Verdichtung über 10 bar, noch möchten Sie das Rohrsystem (in 8 m Höhe) dauernd wegen der lösbaren Verbindung oder keinem äußeren Korrosionsschutz warten.

### III.5. Literatur

- [1] Ruppelt, E. (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, 2003
- [2] Feldmann, K.-H.; Overath, J.; Ruppelt, E.; Stapel, A. G. : Optimale Druckluftverteilung. Renningen: expert verlag GmbH, 2003
- [3] Feldmann, K.-H.; Mohrig, W.; Stapel, A. G.: Druckluftverteilung in der Praxis. Gräfelfing: Resch Verlag, 1985
- [4] Feldmann, K.-H.: Druckluftenergie – EU-Studie zeigt Schwachstellen, TAB (2003) Nr. 2, S. 53 – 59
- [5] Compressed air manual. Nacka (Schweden): Atlas Copco AB, 1998
- [6] Radgen, P.; Blaustein, E. (Hrsg.): Compressed air systems in the European Union. Stuttgart: LOG\_X Verlag GmbH, 2001
- [7] Radgen, P.; Blaustein, E.: Systematisierung der Potenziale und Optionen. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 2001
- [8] Koch, M.: Energieeinsparmaßnahmen in der Automotive Industrie von ca. 15 Mio. EUR in 10 Jahren unter besonderem Fokus der Druckluftenergie. Vortrag auf: Internat. Kompressorenanwenderforum, Karlsruhe: 2004
- [9] Druckluft sicher und wirtschaftlich verteilen: Informationsblatt VDMA, 2005
- [10] Faktensheet Druckluftverteilung. Kampagne Druckluft-effizient. [www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de)
- [11] Leitfaden Nutzenergie Druckluft, Druckluftrohre – Auswahl optimaler Rohrwerkstoffe. [www.druckluftverteilung.de](http://www.druckluftverteilung.de)

### III.6. Anhang

#### Systemische Planungskriterien Drucklufttechnik

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

**Volumenstrom** (jetziger Verbrauch  $\text{m}^3/\text{h}$ )

- plus Leckagen 10 – 35 % je nach Rohrsystem
- plus Reserven 35 % Zuwachs nach Angaben des Anwenders
- plus Mehrverbrauch 5 – 10 % für älter werdende Werkzeuge
- plus Mehrverbrauch 17 – 30 % Adsorptionstrockner (kalt regeneriert)

Kostspielige Bedarfsspitzen/Leerlaufzeiten bedeuten ca. 30 % Gesamtleistungsaufnahme ohne Druckluft zu erzeugen. Oft sind Kompressoren nur zu 50 % ausgelastet, wogegen die maximale Luftmenge (100 % Vollaustlastung) nur zu seltenen Spitzenzeiten benötigt wird.

Die **Druckluftqualität** wird gewählt nach DIN ISO 8573-1, Aufbereitung (nur so gut wie nötig):

z. B. Werksluft 2/4/3 durch Kältetrockner.

Die Gestaltung der Aufbereitung (zentral oder dezentral) ergibt sich in Art und Umfang obligatorisch.

Die **Aufbereitung** sollte zentral erfolgen für die Standardqualität und dezentral für Sonderqualitäten.

Die **Verdichtung** sollte auf einen möglichst niedrigen Betriebsdruck (z. B. 6 bar oder weniger) abgestimmt werden. Der Maximaldruck am Kompressor sollte 1,5 bar höher als der notwendige Betriebsdruck am Verbraucher sein.

Dezentrale Höhverdichtungen erfolgen wirtschaftlich mittels Druckerhöhung aus dem normalen Netz.

Aufteilung der **Druckabfälle** wie folgt:

Druck am Verbraucher:	6 bar
Anschlusszubehör:	$\leq 0,5$ bar
Rohrleitungsnetz:	$\leq 0,1$ bar
Aufbereitung:	$\leq 0,4$ bar
Druckband Kompressor:	$\leq 0,5$ bar

#### Rohrsystem

Dokumentation der Dimensionierung nach anerkannten Verfahren; korrosions- und oxydationsfestes Rohrmaterial; spaltlose, O-Ring-freie Rohrverbindungen; erweiterungsfähige, vermaschbare Rohrführung; **Leckagen garantiert maximal 10 % über die gesamte Standzeit!**

Zur Vermeidung der Qualitätsbeeinträchtigung empfehlen sich korrosions- und oxydationsfeste **Premium-Rohrsysteme**.

**Bei der zu dokumentierenden Dimensionierung der Druckluftverteilung sollten die Querschnitte, obige Reserven, Leckagen etc. berücksichtigt werden.**