

EFFIZIENZ VON DRUCKLUFT- SYSTEMEN.

Einsparpotenziale erfassen

Optimierte, effiziente Netze planen

Gezielte Wartung zum Effizienzerhalt

SPARPOTENZIALE AUSSCHÖPFEN DURCH OPTIMIERTE DRUCKLUFTVERTEILUNGSNETZE.

Frank Michael Krokowski

Technischer Referent, Kompetenzbereich Energie & Industrie

Viega GmbH & Co. KG

In der Industrie ist Druckluft unverzichtbar, insbesondere als Steuerungsmedium für den Antrieb von Maschinen und Anlagen. Wesentliche Gründe dafür sind Leistungsmerkmale wie Kraft, Geschwindigkeit und Präzision bei gleichzeitig gefahrloser Handhabung. Dieser Leistung steht allerdings ein nennenswerter Energieverbrauch gegenüber – je nach Branche wird er auf 5 bis 25 Prozent des jeweiligen betrieblichen Gesamtstromverbrauchs geschätzt.¹ Umso wichtiger sind eine auf den jeweiligen Anwendungsfall bezogene, bedarfsgerechte Auslegung von Druckluftanlagen und deren wirtschaftlicher Betrieb.

Die Architektur der Druckluftverteilung, die Dimensionierung der Rohrleitungen sowie die Wahl von Werkstoffen und Verbindungstechnik werden oft unterschätzt – gerade mit Blick auf (vorbeugende) Instandhaltung und spätere Erweiterungen. Empirische Erhebungen bei der Inspektion von Druckluftsystemen ergeben, dass rund 80 Prozent der Netze in Industriehallen Leckagen aufweisen – mit bis zu 30 Prozent Druckluftverlust. Entsprechend hoch ist das Sparpotenzial durch kontinuierliche Wartung. Doch schon bei der Planung von Neuinstallationen oder Erweiterungen lassen sich Leckagen verhindern oder reduzieren. So steigt die gesamte Energieeffizienz der Anlage.

Dieses Whitepaper skizziert die Aufwendungen für die Erzeugung von Druckluft und den Einfluss des Rohrleitungsnetzes auf die Betriebskosten. Anschließend stellt es Konzepte für Planung und Betrieb dieser Druckluftverteilungsnetze vor, die für mehr Sicherheit und geringere Kosten sorgen.

80 %

der Druckluftnetze weisen Leckagen auf,
die einfach zu verhindern wären

INHALT.

04	Einführung
06	Minimierung des Energiebedarfs Erfassung und Bewertung von Einsparpotenzialen
12	Reduzierung von Strukturverlusten Optimierte Planung von energieeffizienten Druckluftverteilungsnetzen
20	Realisierung von Einsparungen Gezielte Wartung zum Effizienzerhalt
22	Fazit
23	Anhang
24	Quellenangaben und weiterführende Informationen
25	Impressum

EINFÜHRUNG.

Obwohl Druckluft als Querschnittstechnologie in nahezu allen Industriebranchen, im übrigen Bergbau und verarbeitenden Gewerbe Anwendung findet, gibt es kaum verlässliche Erhebungen zum dafür notwendigen Energieverbrauch – ein Indiz dafür, wie wenig dem Potenzial der Energieeinsparung bei Druckluftsystemen bisher Beachtung geschenkt wird. Dass hier ein Umdenken nötig ist, zeigen die folgenden Ausführungen.

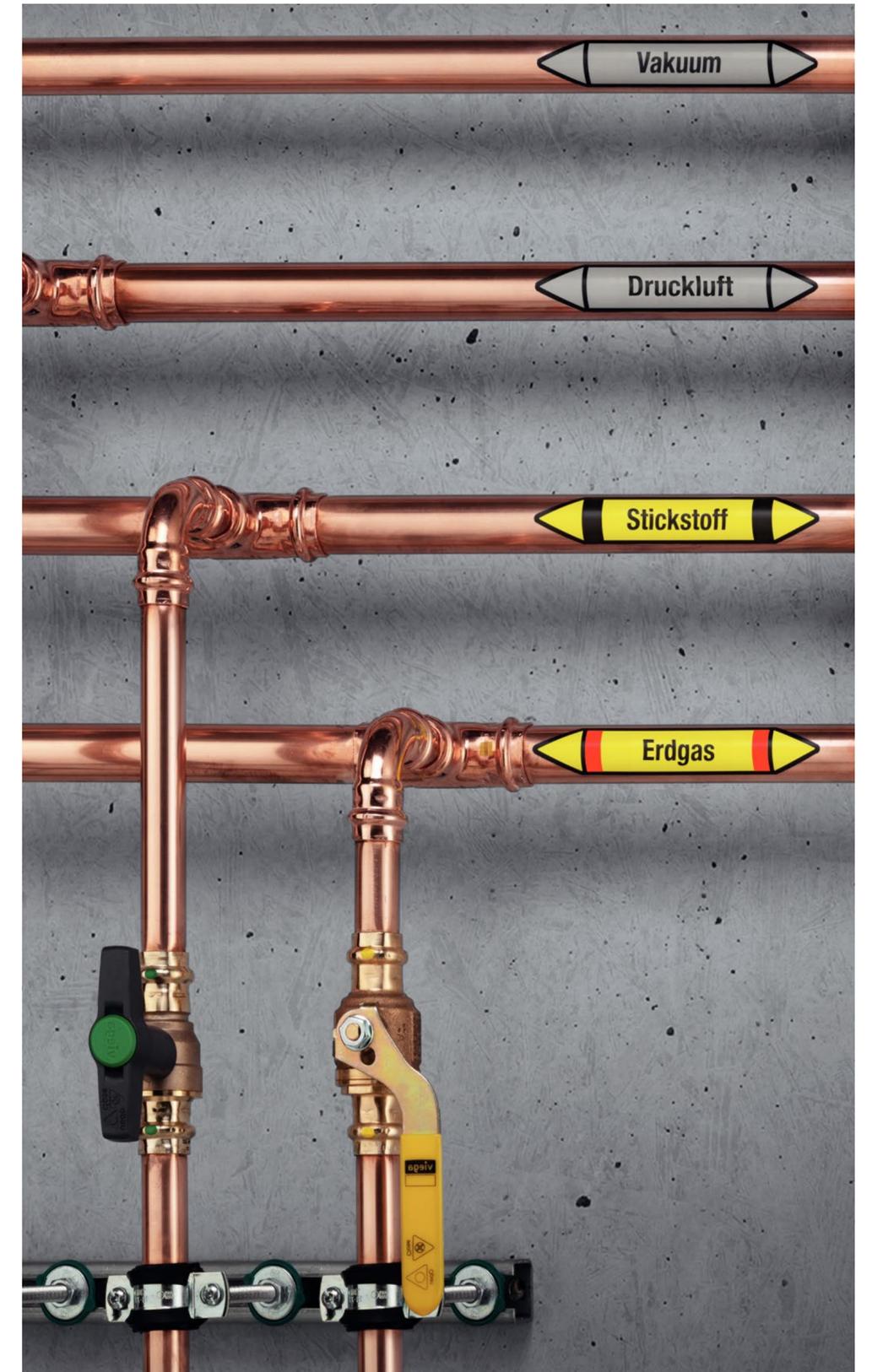
In der jährlichen „Energiebilanz für Deutschland“ schlüsselt die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) den Verbrauch nach Sektoren, Energieträgern und Anwendungen auf. Für 2019 – das letzte Jahr ohne verzerrende Einflüsse aufgrund der Corona-Pandemie – lautet dabei die Abschätzung für die Nutzung von Druckluft: Vom Gesamtstrombedarf der Industrie entfallen 2 Prozent auf elektrische Antriebe zur Druckluftherzeugung. „Nur“ 2 Prozent – aber in absoluten Zahlen entspricht das 14,75 TWh.² Zum Vergleich: Die Leistung der 2019 am Netz befindlichen Kernkraftwerke in Deutschland betrug etwa 10 TWh! Weitere Schätzungen gehen davon aus, dass rund 80 Prozent der Anwendungen Prozess- bzw. Blasluft ausmachen und etwa 20 Prozent auf Steuerluft, wie Pneumatik, entfallen.³ Insgesamt kosteten Druckluftsysteme die deutsche Industrie im Bezugsjahr 2019 insgesamt rund 544 Millionen Euro Strom. Auf Grundlage des Strompreises 2022 sind diese Kosten allerdings auf fast 1,2 Milliarden Euro gestiegen.⁴

14,75 TWh

Strombedarf von elektrischen Antrieben zur Druckluftherzeugung

10,00 TWh

Leistung aller deutschen Kernkraftwerke am Netz 2019



Prozessluft

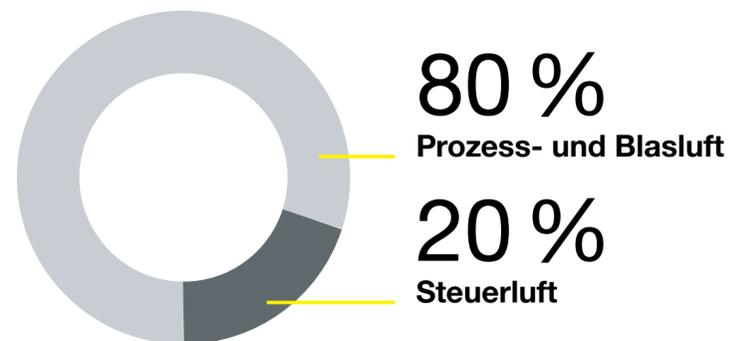
Als Prozessluft wird Druckluft bezeichnet, die als Medium physikalisch oder chemisch in einen Be- oder Verarbeitungsprozess einbezogen ist oder zum Transport von Produkten dient. Sie kommt dabei stets mit dem Produkt in einem Be- oder Verarbeitungsprozess direkt in Berührung (direkter Kontakt). Typische Beispiele sind Belüftungs- und Trocknungsprozesse.

Blasluft

Als Blasluft wird Druckluft bezeichnet, die zur Reinigung von Maschinen und Werkstücken dient („Abblasen“). Die Blasluft kommt wie die Prozessluft mit dem Produkt in einem Be- oder Verarbeitungsprozess direkt in Berührung.

Steuerluft

Als Steuerluft wird Druckluft bezeichnet, die zum Betrieb von Steuerungen, linearen und rotierenden Druckluftmotoren und zur Instrumentierung verwendet wird. Sie wird auch Instrumentenluft, Energieluft oder Arbeitsluft genannt und kommt im Prozess nicht mit dem Produkt in Berührung. Typische Beispiele sind pneumatische Geräte wie Drucklufthämmer.

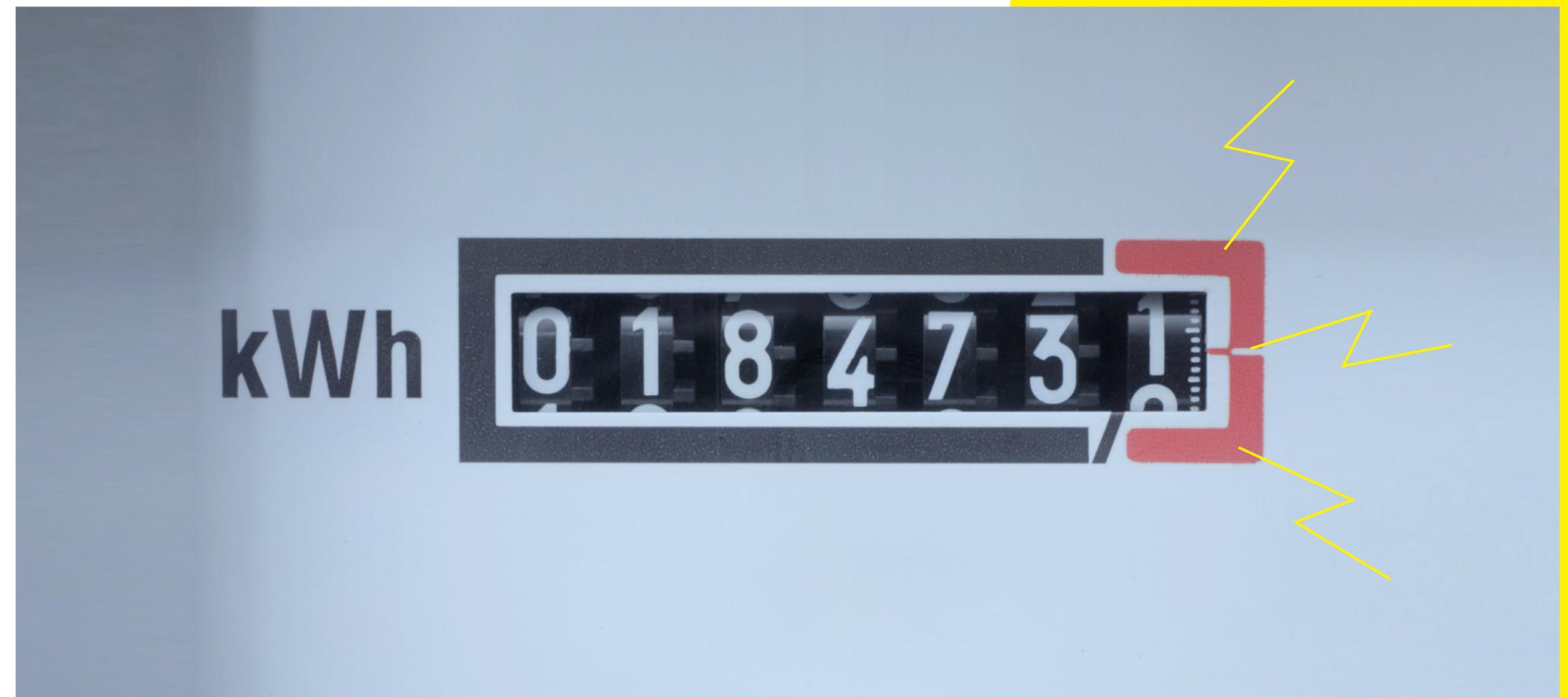
Anwendungen von Druckluft 2019

Quelle: VDMA-Einheitsblatt 15390-1

Eine aktuelle Potenzialstudie zur Energie- und Kosteneinsparung in der Fluidtechnik im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) kam zu dem Schluss, dass sich Druckluftsysteme kaum substituieren lassen, um nennenswert Energie zu sparen.³ Daher muss der Fokus auf Effizienzsteigerung liegen – sowohl, um die Wettbewerbsfähigkeit des jeweiligen Unternehmens angesichts stark steigender Energiepreise zu wahren, als auch, um die Umwelt zu entlasten. Dies wird unter anderem auch im finalen Bericht „Ecodesign-Richtlinie Los 31“ und im Abschlussbericht „Aktualisierung der Daten des BVT-Merkblattes Energy Efficiency“¹ thematisiert. Denn Energieverbrauch bedeutet auch immer CO₂-Emissionen, solange fossile Energieträger dominieren.

Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Energieeinsparung skizziert und in puncto Planung und Betrieb von Druckluftverteilungen praxisgerecht konkretisiert.

Den Zähler stoppen: Zu reduziertem Energieverbrauch und vermiedenen Emissionen kann auch die Optimierung von Druckluftsystemen beitragen.



ERFASSUNG UND BEWERTUNG VON EINSPARPOTENZIALEN.

Verschiedene Analysen der Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen kommen zu dem Ergebnis, dass nur 10 Prozent der Kosten auf die Investition als solche, aber später 70 bis 80 Prozent auf die Position Energie als Betriebskosten entfallen. Folgerichtig basiert eine wirtschaftliche Druckluftversorgung in erster Linie auf der Minimierung des Energiebedarfs. Vier Punkte einer Druckluftanlage bestimmen diesen im Wesentlichen:

- Druckluftherzeugung
- Druckluftaufbereitung
- Druckluftverteilungsnetz
- Druckluftverbraucher

Entscheidend für die Gesamteffizienz des Systems ist es nun, diese vier Punkte bei der Neubauplanung in einer Bedarfsanalyse und bei der Modernisierung in einer Verbrauchsanalyse zusammenzuführen.

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung steht an erster Stelle die Frage, welche Betriebsdrücke die Verbraucher fordern. Maschinen, die beispielsweise einen Druckluftanschluss von 6 bar voraussetzen, werden bei den Betriebskosten deutlich günstiger sein als solche, die 8 bar fordern. Denn: Eine Druckabsenkung von 1 bar reduziert den Stromverbrauch des Kompressors um rund 8 Prozent. Somit ist es mitunter energiesparender, eine Druckluftversorgung mit 6 bar vorzusehen und für einzelne Verbraucher, die höhere Drücke erfordern, einen Booster in der Verteilung zu installieren. Als Alternative können sich zwei getrennte Druckluftverteilungen lohnen – eine für mittlere und eine zweite für hohe Betriebsdrücke. Hier hat also in der Gesamtbetrachtung eine Abwägung zwischen den (höheren) Investitions- und den (dauerhaft niedrigeren) Betriebskosten zu erfolgen.

70 – 80 %

der Lebenszykluskosten eines Druckluftsystems sind die Energiekosten des Betriebs



1 bar

geringerer Betriebsdruck sorgt für



8 %

niedrigeren Stromverbrauch des Kompressors

Sparpotenzial Druckluftherzeugung

Kompressorstation optimieren.

Analog zum geforderten Betriebsdruck (bar) und Luftbedarf (m³/h) ist die Druckluftherzeugung zu planen beziehungsweise anzupassen. Dazu zählt in erster Linie die Auslegung der Kompressorstation. Für industrielle Anwendungen mit einem hohen, aber schwankenden Luftbedarf und bei Betriebsdrücken bis 15 bar dominieren Schraubenkompressoren. Sie machen etwa 80 Prozent des Umsatzes auf dem Kompressorenmarkt aus. Schraubenkompressoren lassen sich in einem Spektrum der elektrischen Leistungsaufnahme von etwa 2 bis 300 kW dimensionieren. In kleineren Leistungsbereichen bis 20 kW werden Kolbenkompressoren bevorzugt. Für einen sehr hohen Luftbedarf bei niedrigem Betriebsdruck eignen sich wiederum Turbokompressoren mit Leistungen bis in den Megawattbereich.

Kolbenkompressor

bis 20 kW

Schraubenkompressor

2 – 300 kW

Turbokompressor

+1.000 kW

Vorteilhafte Kompressorenkaskade

Für die Effizienz der Druckluftherzeugung ist es entscheidend, den Kompressor (unabhängig von der Bauart) überwiegend im Bereich des maximalen Wirkungsgrades zu betreiben. Das heißt, dass der Kompressor seine höchste Effizienz bei der Förderung der überwiegend benötigten Luftmenge und des benötigten Drucks erzielt, also möglichst häufig im energetisch optimalen Betriebspunkt läuft. Aufgrund des in der Regel temporär schwankenden Bedarfs kann daher häufig auch die Installation einer Kompressorenkaskade sinnvoll sein. Die Kaskadenschaltung kann dabei mittels einer übergeordneten Steuerung eines oder mehrerer Kompressoren mit Festdrehzahl und weiterer drehzahl geregelter Kompressoren realisiert werden. So lassen sich Leerlaufverluste der Aggregate reduzieren. Zusätzliche Druckluftbehälter gleichen kurzfristige Lastspitzen aus und tragen ebenfalls zur Steigerung der Effizienz der Kompressoren bei.

Zusätzliche Wärmerückgewinnung

Weitere Energieeinsparungen bei der Druckluftherzeugung kann eine Wärmerückgewinnung der Kompressoren erreichen – sowohl durch Luftkühlung zur Unterstützung der Erwärmung der Zuluft als auch durch Wasserkühlung zur Unterstützung wassergeführter Heizsysteme oder der Warmwasserbereitung. In der energetischen Bilanzierung muss aber beachtet werden: Die Nutzung der Abwärme von der Kompressorstation verbessert zwar die Energiebilanz des Unternehmens. Der Druckluftherzeugung selbst lässt sich der Einspareffekt jedoch nicht zurechnen.

Zur effizienten Druckluftherzeugung bieten sich Kompressoren in Kaskade mit einer übergeordneten Regelung an. Sie bringen den optimalen Betriebspunkt mit dem jeweiligen Luftbedarf am besten in Übereinstimmung.



Reduziert effektiv Verluste:
Eine Kompressorenkaskade mit übergeordneter Steuerung kombiniert Geräte mit Festdrehzahl und Geräte mit Drehzahlregelung.

**Stark, präzise und sicher:
Druckluft ist ein ideales Medium. Mit
optimierten Druckluftverteilungsnetzen
wird es energieeffizienter.**



Passende Qualität wählen.

Die Druckluftaufbereitung macht in der Regel nur 2 Prozent des Energiebedarfs des Gesamtsystems aus. Allerdings wirkt sich die Qualität der Druckluft indirekt auf die Energieeffizienz aus. Denn Wasser, Öl und Partikel sind je nach Anwendung nicht nur ein Risiko für die Gesundheit der Mitarbeiter und die Fertigungsqualität. Sie schädigen auch die Druckluftanlage und führen schneller und häufiger zu Leckagen. Wartungsbedingte Betriebsausfälle sind die zwangsläufige Folge. Die ISO 8573-1 definiert die Klassen der Druckluftqualität. Darüber hinaus können Maschinenhersteller auch strengere Richtwerte vorgeben. Liegen herstellerseitig keine konkreten Vorgaben zur Druckluftreinheit vor, geben die Einheitsblätter des VDMA 15390-1, 15390-2 und 15390-3 Orientierung. Die Werte sind nach Branchen differenziert und basieren auf Erfahrungswerten.

Effizienzfaktor Trocknung

Entscheidend für die Reinheit der Druckluft ist die – in der energetischen Gesamtbilanz ebenfalls zu berücksichtigende – Trocknung. Welche Technik hier sinnvoll ist, hängt von dem geforderten Trocknungsgrad in Abhängigkeit des Druckbereichs und der Luftmenge ab. Die größte Energieeffizienz weisen strombetriebene Kältetrockner auf. Sie reduzieren die Drucklufttemperatur über Wärmetauscher nach dem Kühltrockenprinzip und führen Kondensat samt Feststoffpartikel und Öl ab. Zur Erzeugung extrem trockener Luft sind Absorptionstrockner erforderlich, die mit Trocknungsmitteln arbeiten. Diese Anlagen sind sehr energieintensiv. Erhebliche Energieeinsparungen bringen hier hybride Systeme, die die Druckluft zunächst im Kältetrockner entfeuchten und dann per Absorption weiter trocknen. Kälte-Drucklufttrocknung und Absorptionstrocknung stehen dabei nicht in Konkurrenz zueinander, sondern sind bedarfsabhängig einzusetzen.



Je höher die Reinheitsklasse, umso höher der Energieeinsatz. Daher sollte die Reinheit der Druckluft exakt den Herstellerangaben von Maschinen und Werkzeugen entsprechen. Eine Übererfüllung kostet unnötig Energie.

REINHEITSKLASSEN FÜR DRUCKLUFT NACH ISO 8573-1

Klasse	Maximale Partikelanzahl pro m ³ / Massenkonzentration C _p [mg/m ³]			Drucktaupunkt [°C] / Restfeuchtigkeits- gehalt C _w [g/m ³]	Ölgehalt [mg/m ³]
	0,1–0,5 µm	0,5–1 µm	1–5 µm		
0	Vom Nutzer oder Lieferanten des Geräts angegeben, strenger als Klasse 1				
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	≤ -70 °C	≤ 0,01 mg/m ³
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	≤ -40 °C	≤ 0,1 mg/m ³
3	Nicht spezifiziert	≤ 90.000	≤ 1.000	≤ -20 °C	≤ 1 mg/m ³
4		Nicht spezifiziert	≤ 10.000	≤ 3 °C	≤ 5 mg/m ³
5			≤ 100.000	≤ 7 °C	
6	≤ 5 mg/m ³			≤ 10 °C	
7	5–10 mg/m ³			≤ 0,5 g/m ³	
8				0,5–5 g/m ³	
9				5–10 g/m ³	
x	> 10 mg/m ³			> 10 g/m ³	> 5 mg/m ³

* Wenn Partikel größer als 5 µm gemessen wurden, können die Klassen 0–5 nicht angewendet werden.



Sparpotenzial Druckluftverteilung

Rohrleitungssystem richtig auslegen.

In der Gesamtbetrachtung der Investitionskosten macht die Druckluftverteilung nur einen vergleichsweise geringen Teil aus. Doch im Lebenszyklus kann das Rohrleitungssystem erhebliche – und vor allem aber unnötige – Mehrkosten auslösen. Außerdem trägt das Druckluftnetz entscheidend zur Versorgungssicherheit bei.

Daher sind bei der Planung und Installation folgende Zielvorgaben zu berücksichtigen:

- Rohrleitungen ausreichend (= bedarfsgerecht) dimensionieren
- Druckverluste klein halten
- Rohrleitungswerkstoffe mit hoher Resistenz gegen Korrosion und mechanische Belastungen wählen
- Rohrleitungsverbindungen nutzen, die Reparaturen und Erweiterungen im laufenden Betrieb einfach machen und gleichzeitig so dicht wie möglich sind

Diese Aspekte werden im Einzelnen auf den Seiten 12 bis 21 näher ausgeführt.

Sparpotenzial Druckluftverbraucher

Effizienzpotenziale aufdecken.

Die Effizienz von Druckluftverbrauchern hängt sehr stark vom gewählten Fabrikat ab: Die Einsparungen von im Einkauf vermeintlich günstigen Maschinen und Werkzeugen werden mitunter durch einen hohen Luftbedarf konterkariert. In die Wirtschaftlichkeitsrechnung sollte daher stets der Druckluftbedarf gemäß Herstellerangaben einfließen. Um diesen finanziell quantifizieren zu können, müssen jedoch die tatsächlichen Druckluftkosten bekannt sein.

Daher sollte eine technische und wirtschaftliche Analyse des Druckluftsystems vor jeder Investitionsentscheidung selbstverständlich sein – und im Lebenszyklus fortgeschrieben werden. Um Potenziale zur Energieeinsparung aufzuspüren, können dafür zum Beispiel ein Monitoring gemäß DIN EN ISO 50001 (beziehungsweise 50005 für klein- und mittelständische Unternehmen) sowie die Druckluft-Auditierungsnormen/-specs ISO 11011 (für Detailanalysen) und VDMA 4390 (für Initialberatung) sinnvoll sein.

i

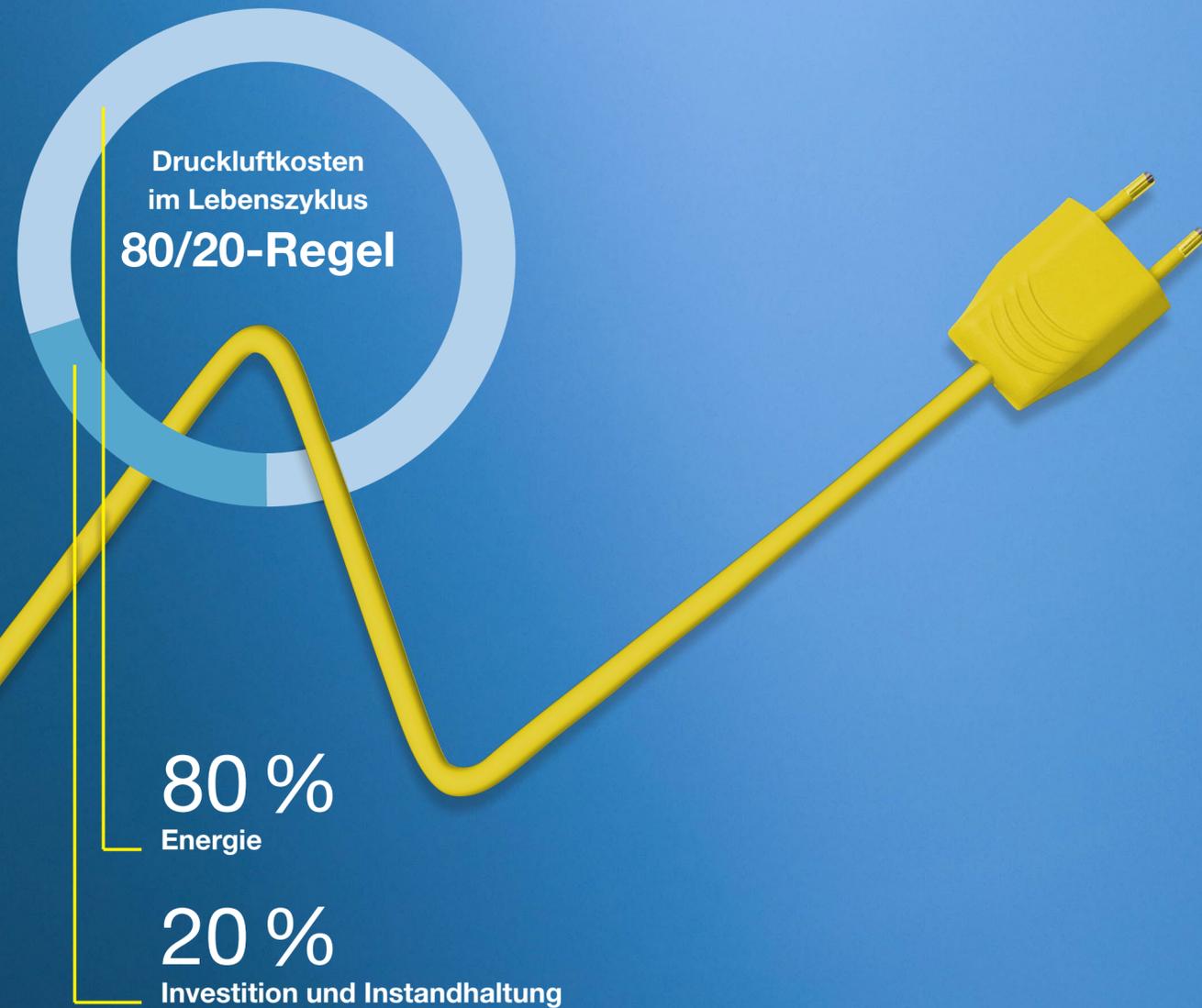
BAFA-Förderung

Die Implementierung des Energiemanagement-Systems DIN EN ISO 50001 fördert das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) mit einem Investitionszuschuss. Daraus abgeleitete Maßnahmen, die zu einer effizienteren Druckluftversorgung beitragen, erhalten zum Teil ebenfalls eine BAFA-Förderung. Details sind in dem Förderprogramm „Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“ veröffentlicht.

Für maximierte Effizienz

Sinnvolle Maßnahmen im Überblick.

Zur Erinnerung: Den mit Abstand größten Teil der Lebenszykluskosten eines Druckluftsystems machen die Energiekosten für seinen Betrieb aus, Investition und Instandhaltung tragen nur zu einem Fünftel bei.



Darum sind Effizienzmaßnahmen der wichtigste Hebel, um Kosten zu senken und zur Reduktion von Emissionen beizutragen. Ansatzpunkte gibt es in allen vier Bereichen des gesamten Druckluftsystems.

	Energieverbrauch	Investitionen	Instandhaltung
Druckluftherzeugung	<ul style="list-style-type: none">Druckluftbedarf exakt ermittelnMöglichst geringer BetriebsdruckWärmerückgewinnung	<ul style="list-style-type: none">Kompressoren in Kaskade mit übergeordneter RegelungDruckhaltung über Druckbehälter	<ul style="list-style-type: none">Regelmäßige Wechsel der Ansaugluftfilter
Druckluftaufbereitung	<ul style="list-style-type: none">Erforderliche Druckluftreinheit nach ISO 8573-1 ermitteln und nicht übererfüllen	<ul style="list-style-type: none">Einsatz vorzugsweise von KältetrocknernNiveaugesteuerte Kondensatableiter	<ul style="list-style-type: none">Regelmäßige Wartung
Druckluftverteilungsnetz	<ul style="list-style-type: none">Bedarfsgerechte DimensionierungRohrleitungssystem mit geringen Druckverlusten, besonders beim Verbinden und den Armaturen	<ul style="list-style-type: none">Mechanisch und chemisch belastbare Rohrleitungswerkstoffe	<ul style="list-style-type: none">Rohrverbindungstechnik mit hoher Dichtheit und einfacher Verarbeitung
Druckluftverbraucher	<ul style="list-style-type: none">Möglichst geringe Anforderungen an Druckluftreinheit	<ul style="list-style-type: none">Werkzeuge und Maschinen mit geringem Druckluftverbrauch	<ul style="list-style-type: none">Möglichst kurze und glatte Anschlussleitungen

OPTIMIERTE PLANUNG VON ENERGIEEFFIZIENTEN DRUCKLUFTVERTEILUNGSNETZEN.

Die Verteilung ist in mehrfacher Hinsicht entscheidend für die wirtschaftliche Bereitstellung von Druckluft. Viele Faktoren wirken hier wechselseitig, besonders zu betrachten sind die drei Bereiche Dimensionierung, Architektur und das Rohrleitungssystem selbst.

Die Dimensionierung

Die Dimensionierung der Rohrleitungen beeinflusst beispielsweise über die daraus resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten die Druckverluste im Netz. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten erhöhen außerdem das Risiko für Leckagen und vergrößern die darüber verloren gehenden Luftmengen. Solche Leckagen entstehen unter anderem durch korrodierte Leitungen, undichte Verschraubungen, defekte Kondensatableiter oder undichte Kupplungen, um nur einige Beispiele zu nennen.

Die Strömungsgeschwindigkeit der Druckluft in Rohrleitungen beträgt in der Regel 2 bis 3 m/s. Um schnellere Hübe bei Pneumatikzylindern zu erreichen, kann eine höhere Strömungsgeschwindigkeit sinnvoll sein. Doch sie sollte in der Regel 20 m/s nicht überschreiten, da sonst Strömungsgeräusche und turbulente Strömung auftreten. Darüber hinaus bestimmen die Rohrdimensionen, in welchen Grenzen die Druckluftverteilung ausgebaut werden kann, wenn Maschinen oder andere Druckluftverbraucher in der Fertigung hinzukommen.

Um ein Druckluftnetz wirtschaftlich zu betreiben, ist also eine bedarfsgerechte Bestimmung der aktuell benötigten Druckluftmengen ebenso nötig wie eine „technische Entwicklungsstrategie“: Wann, wie und zu welchen Kosten muss die Dimensionierung des Druckluftverteilungsnetzes an veränderte Bedarfe angepasst werden?

Die Architektur

Die Architektur des Druckluftverteilungsnetzes ist in diesem Zusammenhang ebenfalls relevant für die Druckverluste und Möglichkeiten der Erweiterung. Zudem bestimmt der Aufbau des Netzes aufgrund der zu erwartenden Druckschwankungen die Versorgungssicherheit aller Verbraucher/Maschinen bei unterschiedlich hohen Luftentnahmen an verschiedenen Stellen – Stichwort: realistische Gleichzeitigkeiten. Mehr zur Dimensionierung auf den Seiten 14 und 15.

20 m/s

sollte die maximale Strömungsgeschwindigkeit sein

Das Rohrleitungssystem

Wie hoch die Druckverluste in der Betriebsphase sind, hängt schließlich auch vom Rohrleitungssystem an sich ab, insbesondere von Verbindern und Armaturen, Engstellen oder Richtungsänderungen, die entsprechende Strömungswiderstände erzeugen. Die mechanische und chemische Robustheit des Rohrleitungswerkstoffs sowie die Dichtheit der Verbindungsstellen sind wiederum ausschlaggebend für Leckagen, also für Druckluftverluste und damit für den Instandhaltungsaufwand. Mehr dazu auf den Seiten 20 und 21.

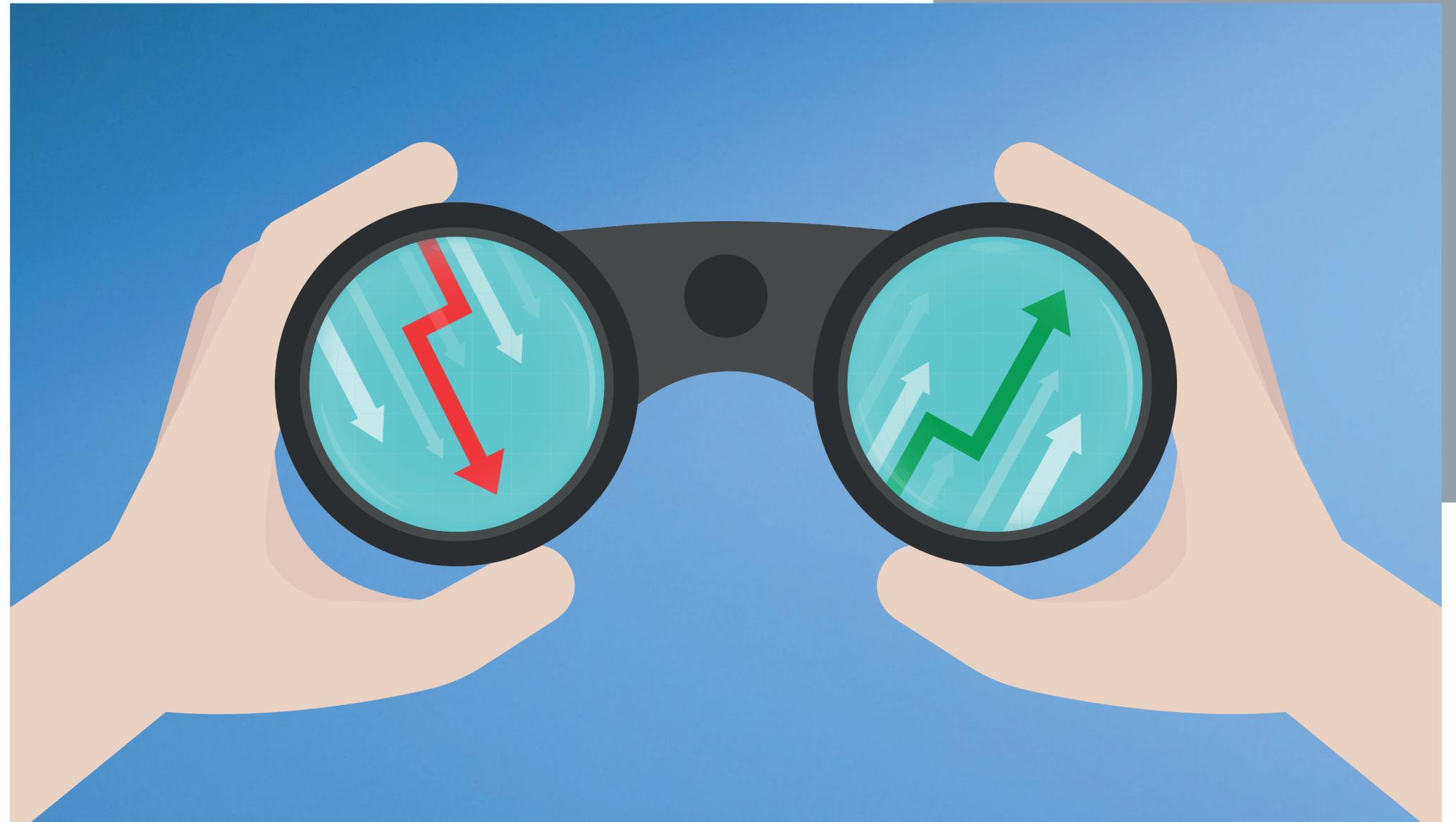
i

Kompensation durch mehr Leistung?

Mängel bei der Planung und Ausführung von Druckluftinstallationen werden im Übrigen häufig kompensiert, indem die Leistung der Kompressorstation angehoben wird, damit der jeweils erforderliche Volumenstrom und der Betriebsdruck den einzelnen Verbrauchern trotz Mängeln in der Verteilung hinreichend zur Verfügung stehen. Dadurch steigen jedoch die Druckluftkosten beträchtlich und das Druckluftnetz wird zusätzlich belastet. Sinnvoller ist es, stattdessen das Druckluftsystem erneut auszulegen und gegebenenfalls in Teilen auch neu zu installieren. Dieser Aufwand amortisiert sich vergleichsweise schnell und sorgt für einen Zugewinn an Betriebssicherheit, wie die nachfolgenden Detailbetrachtungen deutlich machen.

Effizienzfaktor Planung: Wird ein Rohrleitungsnetz klug geplant und bei Nutzungsänderungen oder -erweiterungen auch angepasst, ist das Sparpotenzial groß.

Vorausschauende Planung vermeidet Druckverluste und Leckagen.



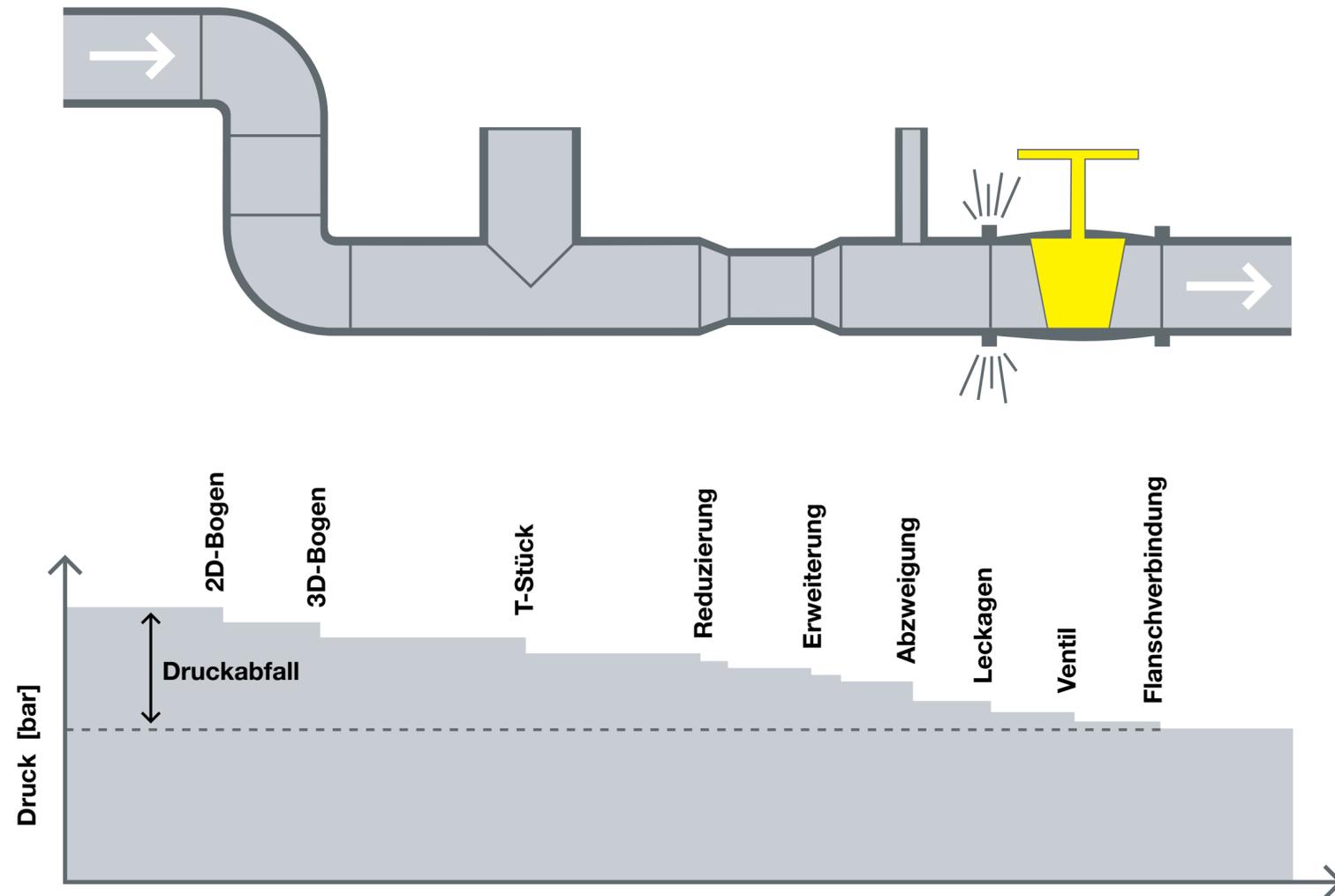
Verluste effektiv begrenzen.

Das Rohrleitungsnetz ist in drei logische Abschnitte einzuteilen. Für jeden dieser Leitungsabschnitte ist der Druckverlust als Folge des Strömungswiderstands zu berechnen und zu begrenzen:

- **Die Hauptleitung**
Sie verbindet die Kompressorstation mit der Verteilleitung. Der Druckverlust sollte hier 30 hPa (0,03 bar) nicht überschreiten.⁵
- **Die Verteilleitung**
Sie führt die Druckluft zu den Verbrauchsstellen. Der Druckverlust sollte in diesem Abschnitt ebenfalls nicht mehr als 30 hPa (0,03 bar) betragen.
- **Die Anschlussleitung**
Sie zweigt von der Verteilleitung zu den Verbrauchern ab. Hier ist der Druckverlust auf 40 hPa (0,04 bar) zu begrenzen. Ist zusätzlich eine Wartungseinheit zur Einstellung des Betriebsdrucks für den Verbraucher erforderlich, sollte der Druckverlust der Anschlussleitung inklusive eines eventuellen Anschlussschlauchs 500 hPa (0,5 bar) nicht überschreiten. Tipp: Glatte statt spiralförmige Anschlussschläuche, die möglichst kurz bemessen sind, reduzieren den Druckverlust deutlich.

Die Rohrleitungsdimensionen lassen sich, ausgehend vom benötigten Volumenstrom innerhalb der Grenzen der vorgenannten Druckverluste, grafisch über das Nomogramm gemäß der Technischen Regel VDMA 15391-1 oder rechnerisch bestimmen. In beiden Fällen sind der zulässige Druckverlust und die strömungstechnische Rohrlänge die Grundlage. Sie stellt den Strömungswiderstand durch Rohrreibung in Rohrleitungen, Formstücken und Armaturen dar.

GRÖSSENORDNUNGEN VON STRÖMUNGSWIDERSTÄNDEN UND DRUCKVERLUSTEN



Der Strömungswiderstand ist für jeden der drei beschriebenen Leitungsabschnitte zu ermitteln. Sind die Leitungsführung und damit die Anzahl der Verbinder und Armaturen noch nicht genau bekannt, kann die strömungstechnische Rohrlänge überschlägig mit dem Faktor 1,6 der Gesamtröhlänge berechnet werden. Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen – insbesondere der Hauptleitung der Verteilung – sind außerdem Reserven nur einzuplanen, wenn Erweiterungen der Druckluftanlage bereits fest geplant sind. Der Hintergrund: Werden diese „Sicherheitszuschläge“ später nicht oder nur zu einem geringen Teil benötigt, führt dies zu einer vermeidbaren Erhöhung der Betriebskosten, die teilweise bis zu 20 Prozent betragen kann.

Bis zu 20 %
können durch unnötige „Dimensionierungs-Reserven“ verursacht werden

Architektur des Systems.

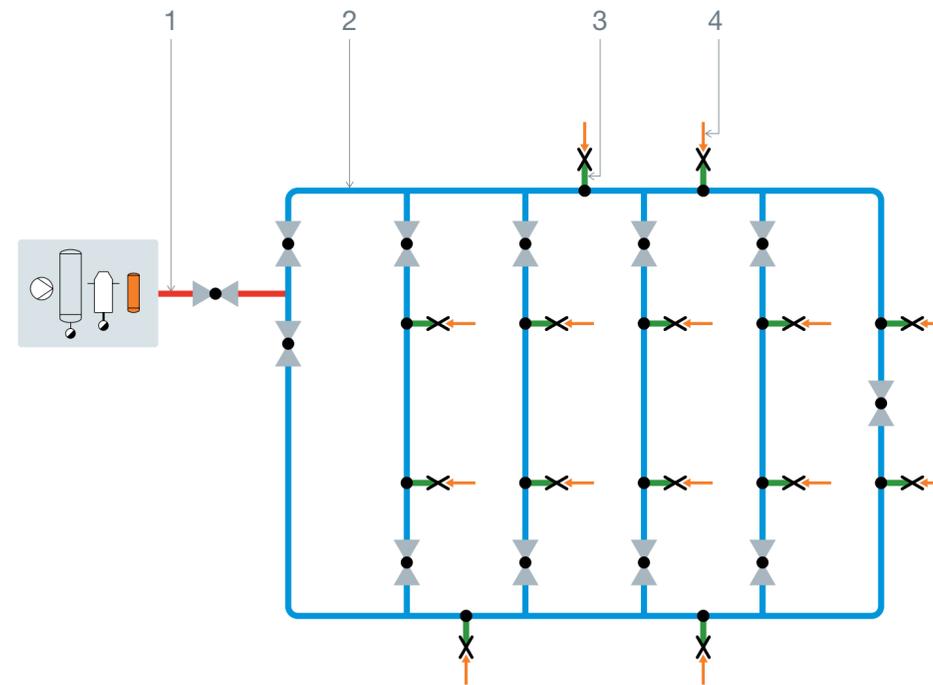
Bei der Planung der Druckluftverteilung sind folgende grundlegende Punkte zu diskutieren:

- Ist es bei der Größe der Druckluftverteilung strömungsgünstiger, mehrere getrennte Einspeisungen der Druckluft vorzusehen? Wenn ja, sind zwei Kompressorstationen baulich möglich? Tipp: Wenn jeder Kompressorstation eine zentrale Druckluftaufbereitung nachgeschaltet wird, verursacht das in der Regel geringere Druckverluste als Druckminderer mit Kondensatabscheider an jedem Verbraucher.
- Sollten im System dezentrale Druckluftbehälter eingeplant werden? Dadurch könnte das Netz insgesamt mit einem niedrigeren Druck energieeffizienter betrieben werden, wenn nur wenige einzelne Verbraucher einen hohen Betriebsdruck fordern.
- Ist die Verteilung über eine Ringleitung möglich oder macht die Anbindung der Verbraucher bzw. Maschinen lange Stichleitungen notwendig?

Unter den Aspekten der Energieeffizienz und Versorgungssicherheit ist einem Druckluftnetz über Ringleitung der Vorzug zu geben. Die Leitungsstrecke von der Hauptleitung bis zu jedem Verbraucher ist bei dieser Architektur kürzer und daher mit weniger Druckverlusten verbunden. Außerdem lassen sich für Wartungs- und Reparaturarbeiten einzelne Teilstrecken gezielt absperren. Bei der Baumstruktur von Stichleitungen sind umso mehr Verbraucher vom Netz zu nehmen, je näher die Absperrung an der Kompressorstation liegt.

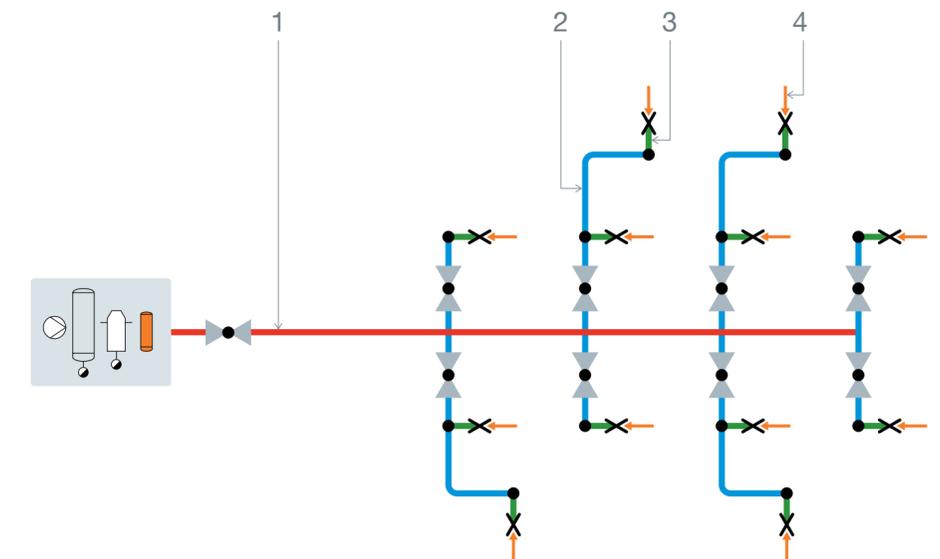
PRINZIP DER ARCHITEKTUREN VON DRUCKLUFTVERTEILUNGSNETZEN

Druckluftversorgung mit Ringleitung



- 1 Versorgungs-/Hauptleitung
- 2 Ringleitung
- 3 Anschlussleitung
- 4 Anschlusspunkt

Druckluftversorgung mit Stichleitung



- 1 Versorgungs-/Hauptleitung
- 2 Stichleitung
- 3 Anschlussleitung
- 4 Anschlusspunkt

Verluste effektiv begrenzen

Beschaffenheit des Rohrleitungssystems.

Die Qualität des Rohrleitungssystems lässt sich in folgenden Bereichen bewerten:

■ Rohrleitungswerkstoff

Ist das Material beständig gegen mechanische und chemische Belastungen sowie gegen Korrosion?

■ Verbinder

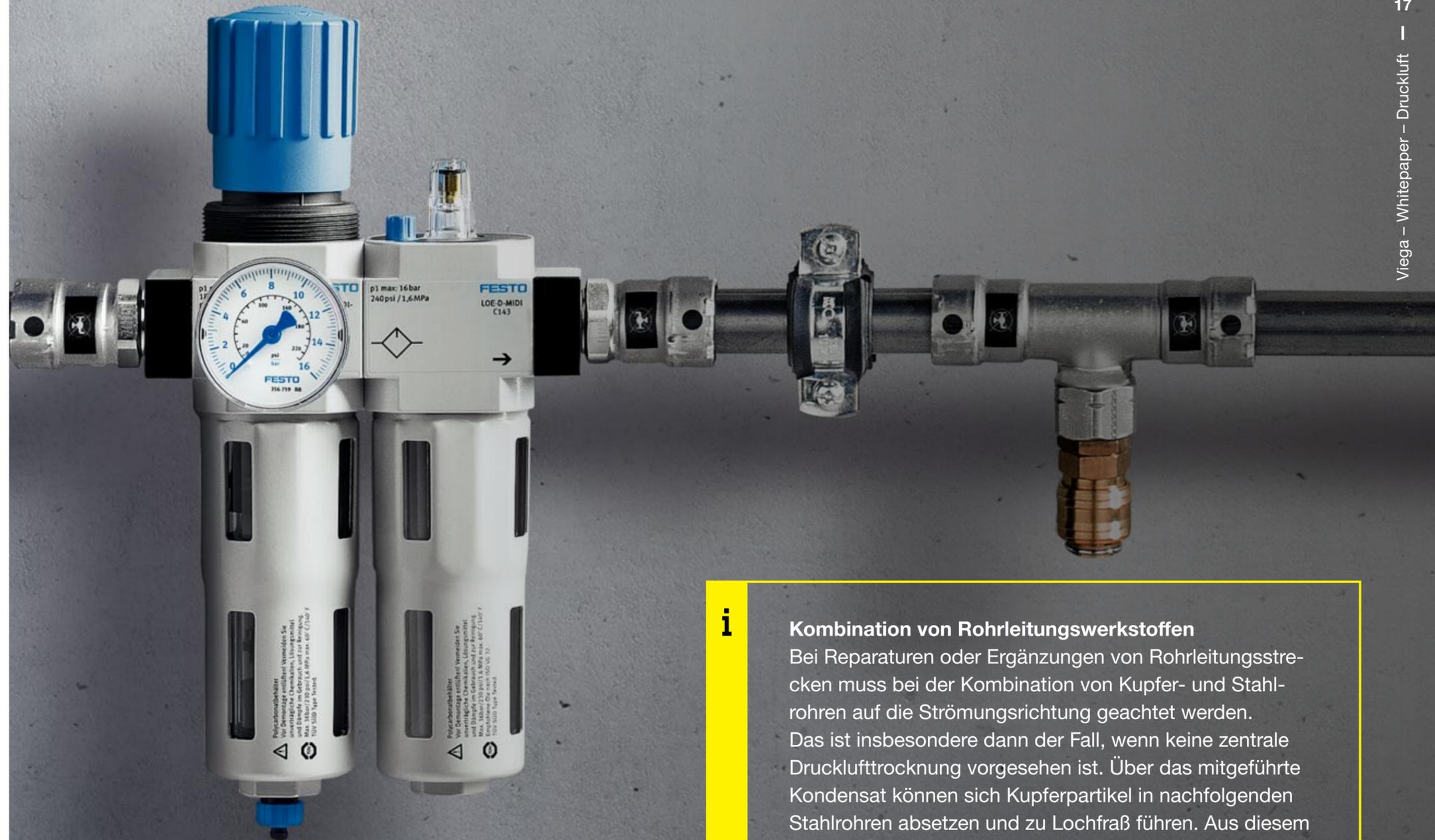
Verfügen sie über minimale Strömungswiderstände und hohe Dichtheit über einen langen Lebenszyklus?

■ Verbindungstechnik

Wie ist sie konstruktiv beschaffen? Unterstützt sie zudem die einfache Handhabung des Rohrleitungssystems – auch bei Reparaturen und Erweiterungen im laufenden Betrieb?

Der Rohrleitungswerkstoff

Die mechanische und chemische Beständigkeit ist bei Druckluft-Rohrleitungen aus Metall deutlich größer als bei Kunststoffleitungen. Parameter wie der maximal zulässige Betriebsdruck bleiben bei Metallrohren außerdem von äußeren und inneren Temperaturen weitgehend unbeeinflusst. Deshalb werden in der Regel Druckluftverteilungen aus verzinktem Stahlrohr oder nach der Drucklufttrocknung auch aus dickwandigem Stahlrohr installiert. Für Leitungsstrecken mit einem höheren Kondensatanfall sind korrosionsresistente Edelstahlrohre die bevorzugte Wahl. Aber auch Kupferleitungen sind denk- und machbar.



i

Kombination von Rohrleitungswerkstoffen

Bei Reparaturen oder Ergänzungen von Rohrleitungsstrecken muss bei der Kombination von Kupfer- und Stahlrohren auf die Strömungsrichtung geachtet werden. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn keine zentrale Drucklufttrocknung vorgesehen ist. Über das mitgeführte Kondensat können sich Kupferpartikel in nachfolgenden Stahlrohren absetzen und zu Lochfraß führen. Aus diesem Grund sind gemischte Rohrleitungswerkstoffe nur bei Stichleitungen empfehlenswert, wenn Kupfer hinter Stahlrohren installiert wird. Bei Ringleitungen aus unterschiedlichen Werkstoffen sollte das gesamte Druckluftverteilungsnetz erneuert werden.

Die Verbinder

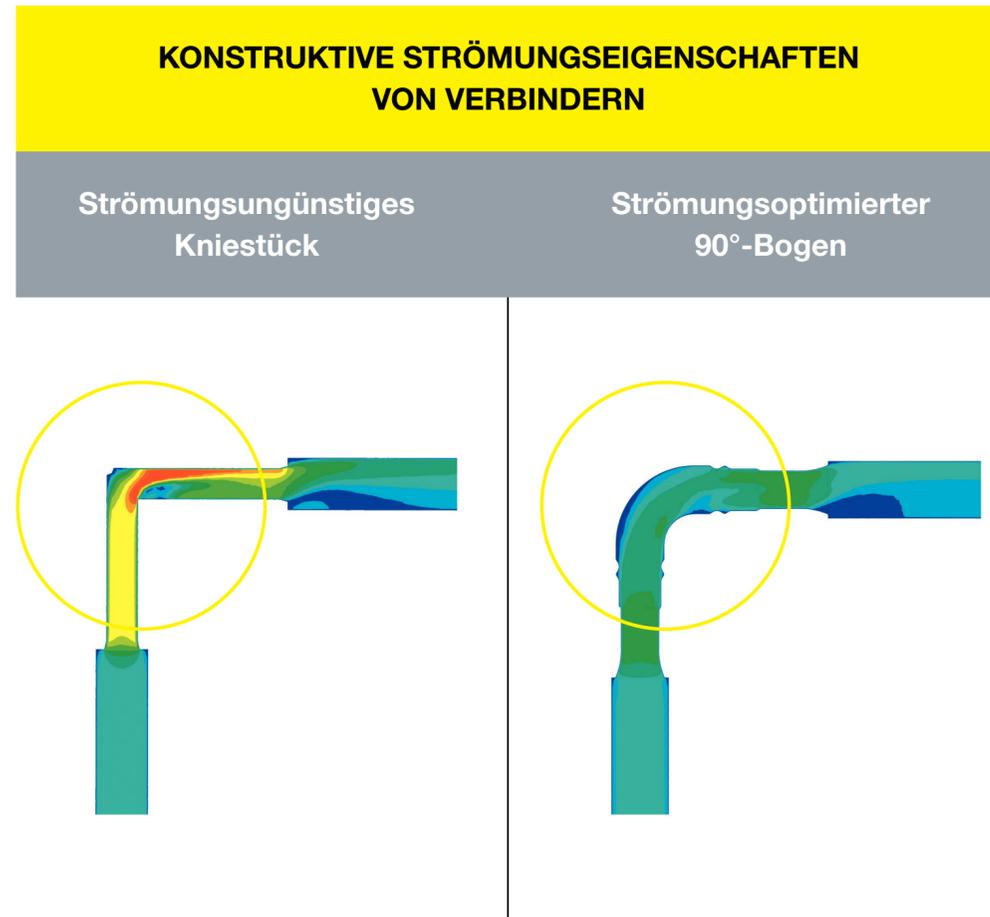
Die Strömungseigenschaften von Verbindern unterscheiden sich stark durch ihre jeweilige Konstruktion. Deswegen sollten bei der Planung strömungsgünstige Formstücke – wie T- und Winkelstücke – möglichst vermieden und stattdessen Bögen mit großen Radien vorgesehen werden. Um die Reichweite von Druckluftverteilungen zu vergrößern und gleichzeitig die Druckluftverluste in den genannten wirtschaftlichen Grenzen zu halten, ist bei der Rohrleitungsführung außerdem auf unnötige Umlenkungen – beispielsweise um einen Deckensturz oder eine Hallensäule zu umgehen – zu verzichten.

Die Verbindungstechnik

Unabhängig vom Rohrleitungswerkstoff spielt die Verbindungstechnik eine zentrale Rolle bei der Anfälligkeit für Leckagen. Darüber hinaus hängt es oft von der Handhabung ab, wie dicht die Verbindung hergestellt wurde. Schweiß- und Lötverbindungen erfordern zum Beispiel in jedem Fall versierte Fachkräfte. Gewinde- und Flanschverbindungen wiederum sind besonders sorgfältig abzudichten. Alle diese Verfahren haben zudem einen hohen Zeitaufwand gemein. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich daher auch für den Rohrleitungsbau in industriellen Anwendungen zunehmend die Pressverbindungstechnik durchgesetzt. Sie steht für alle Rohrleitungswerkstoffe bis zu einer Nennweite von DN 100 zur Verfügung.

Bis zu DN 100

Nennweite sind bei Pressverbindungen möglich



EIGENSCHAFTEN VON VERBINDUNGSTECHNIKEN FÜR DRUCKLUFTSYSTEME				
	Druckverlust		Zeitaufwand (Arbeitsvor- und Nachbereitung & Erstellung der Verbindung)	
Gewindeverbindungen	Hoch	↗	Hoch	↗
Flanschverbindungen	Gering	↘	Hoch	↗
Schweißverbindungen	Gering	↘	Sehr hoch	↑
Lötverbindungen	Gering	↘	Hoch	↗
Pressverbindungen	Gering	↘	Sehr gering	↓

In der Handhabung ist die Pressverbindungstechnik generell anderen Verbindungsarten überlegen, wenngleich auch hier Unterschiede der Systeme zu beachten sind. Der Umgang mit den entsprechenden Presswerkzeugen ist schnell erlernt und erfordert keine Zusatzqualifikation wie beim Schweißen. Speziell, wenn Installationsarbeiten im laufenden Betrieb (Stichwort: Anlagenerweiterung oder Reparaturen) auszuführen sind, spielt die Pressverbindungstechnik ihre Vorteile aus. Brandschutzvorkehrungen bis hin zu Betriebsunterbrechungen, wie sie beim Schweißen erforderlich sind, entfallen. Auch sind Arbeiten in der Höhe über Kopf und an schwer zugänglichen Stellen mit Pressmaschinen und beispielsweise Pressringen oder Pressschlingen deutlich einfacher auszuführen als Spiegelschweißen oder Löten. Der um bis zu 80 Prozent geringere Zeitaufwand ist ein weiterer Grund, warum sich die Presstechnik durchgesetzt hat: Der Pressvorgang selbst dauert nur wenige

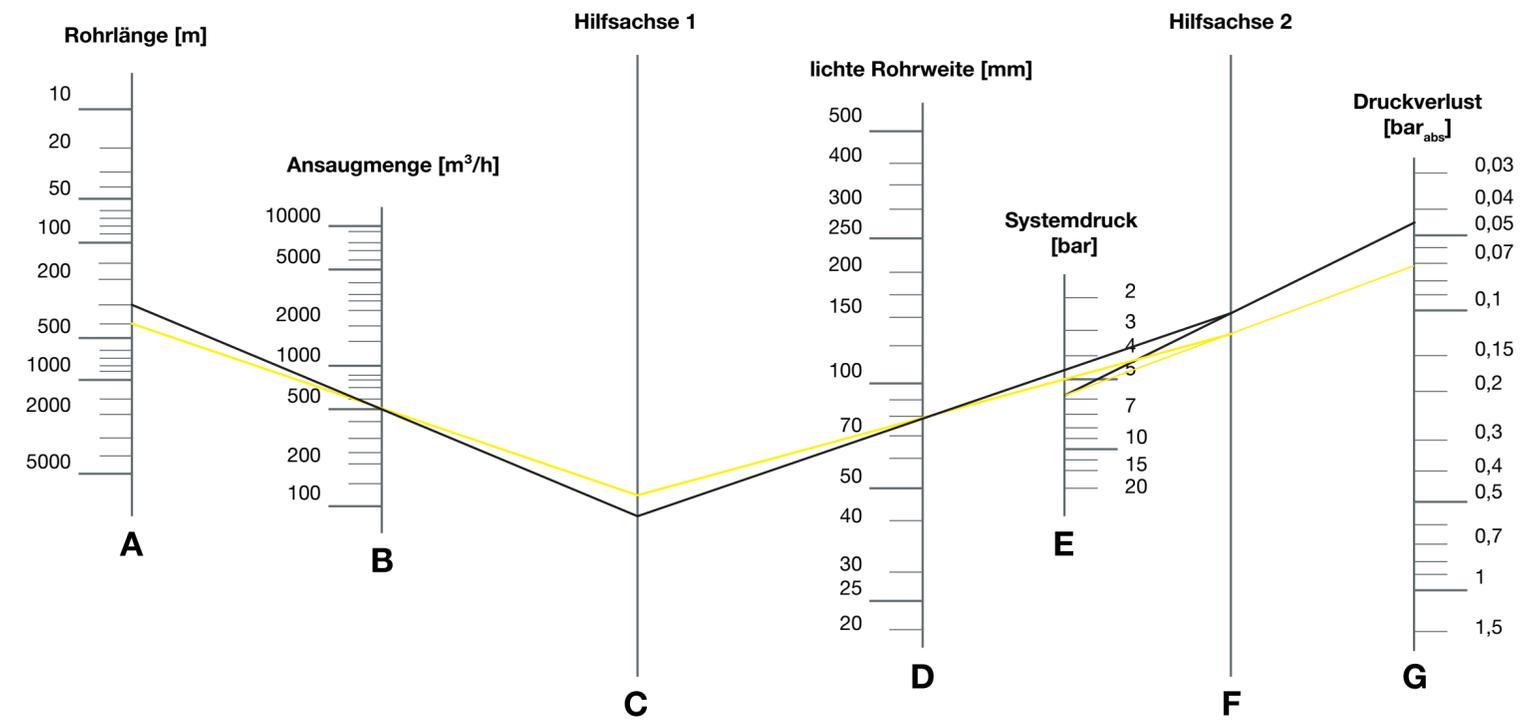
Sekunden. Die vorbereitenden Arbeiten beschränken sich auf das Entgraten des Metallrohrs mit einem Spezialwerkzeug und das Anzeichnen der Einstecktiefe.

Bedeutung der richtigen Pressverbinder – ein Rechenbeispiel

Unabhängig von diesen grundlegenden Leistungsmerkmalen der Pressverbindungstechnik sollten auch bei Pressverbindern die Herstellerangaben zu den Strömungseigenschaften des jeweiligen Verbinders geprüft werden. Denn hier kann es je nach Pressverbindungssystem große Unterschiede geben, die sich später in beträchtlichen Druckverlusten im Gesamtsystem – also erhöhten Aufwendungen für die Druckerzeugung – niederschlagen. Wie viel das ausmacht, zeigt folgende Beispielbetrachtung:

Ein Druckluftnetz mit einer Rohrlänge von 300 Metern wird mit einer Druckluftmenge von 500 m³/h und einer lichten Rohrweite von 80 Millimetern bei 6 bar betrieben. Zwei verschiedene Fälle werden betrachtet. Fall A: Verbinder mit niedrigen Zeta-Werten werden verwendet. Fall B: Verbinder mit hohen Zeta-Werten werden verwendet. Im Fall A beträgt die äquivalente Rohrlänge aufgrund der guten Zeta-Werte 400 Meter. Daraus resultiert mit Hilfe des nachstehenden Diagramms ein Druckverlust von 0,045 bar. Im Fall B beträgt die äquivalente Rohrlänge aufgrund der schlechten Zeta-Werte 450 Meter. Damit erhält man einen Druckverlust von 0,06 bar. Somit liegt der Druckverlust hier bei ansonsten gleichen Bedingungen um mehr als 30 Prozent höher als im günstigeren Fall A. Der Druckverlust muss durch eine höhere Kompressorleistung ausgeglichen werden (siehe Grafik).

BEISPIELRECHNUNG DRUCKVERLUSTE VON ZWEI VERSCHIEDENEN ROHRLEITUNGSSYSTEMEN



Quelle: In Anlehnung an Nils Wolf 2019, www.technikdoku.com

Bis zu 80 %

geringerer Zeitaufwand durch Pressverbindungen

Auch weil Druckluftverteilungen im laufenden Betrieb häufig erweitert und angepasst werden müssen, ist die sichere und einfache Presstechnik ideal.

GEZIELTE WARTUNG ZUM EFFIZIENZERHALT.

Da bis zu 80 Prozent der Lebenszykluskosten einer Druckluftinstallation auf den Energieverbrauch entfallen, kommt der Wartung einer Druckluftanlage besondere Bedeutung zu. Mit folgenden Maßnahmen lassen sich hohe Einsparungen erzielen:

- Systematische Überwachung zur frühzeitigen Erkennung und Beseitigung von Leckagen
- Anpassung von Rohrleitungsdimensionen in gewachsenen Druckluftnetzen für ausreichenden Volumenstrom bei einer angemessenen Strömungsgeschwindigkeit
- Bedarfsgerecht eingestellter und nicht pauschal zu hoher Betriebsdruck
- Optimierter Druckluftbedarf der angeschlossenen Maschinen und Werkzeuge

BEISPIELHAFTE EINSPARUNGEN DURCH WARTUNG UND OPTIMIERUNG VON DRUCKLUFT-VERTEILUNGSANLAGEN			
Betriebsbedingungen	Optimierung	Energieersparnis*	Kostensparnis**
6 bar Betriebsdruck	Beseitigung einer Leckage, Lochdurchmesser 3	3,1 kWh	4.964 € p.a.
12 bar Betriebsdruck	Beseitigung einer Leckage, Lochdurchmesser 3	12,5 kWh	20.015 € p.a.
50 mm Rohrrinnendurchmesser	Redimensionierung auf 90 mm	52 kWh	83.263 € p.a.
	Reduzierung des Betriebsdrucks um 1 bar	6 bis 10 %	
	Bedarfsgerechte Dimensionierung pneumatischer Antriebe ³	Ca. 40 %	

* 4.000 Betriebsstunden pro Jahr.

** 40,03 Ct/kWh (Stand 07/2020).

Ob bei der Prozess-, Steuer- oder (wie hier) Blasluft: Optimierte Systeme helfen signifikant beim Energiesparen.

Die kontinuierliche Optimierung von Druckluftverteilungen sollte zum Ziel haben, den Systemdruck möglichst gering zu halten. Dabei ist der erforderliche Betriebsdruck jedes Verbrauchers zu berücksichtigen. Eine Unterversorgung führt zu Produktivitäts-Verlusten, eine Überversorgung erhöht die Druckluftkosten. Eine Faustformel ist, die Einspeisung der Kompressorstation maximal 1,0 bar über dem notwendigen Fließdruck der Verbraucher einzustellen, um Druckverluste in der Verteilung auszugleichen (Definition „Fließdruck“ siehe Anhang). Höhere Druckverluste sind wirtschaftlich nicht tolerabel und sollten durch eine Redimensionierung des Rohrleitungsnetzes reduziert werden.

Druckluftverluste durch Leckagen sind auf maximal 10 Prozent zu begrenzen. Die Installation von Druck- und Strömungsmessern im Rohrleitungsnetz und deren Monitoring geben erste Indizien. Darüber hinaus ist zu empfehlen, Maschinen und Werkzeuge regelmäßig auf Leckagen hin zu untersuchen. Diese Aufgabe kann auch externen Dienstleistern übertragen werden – ein Service, der sich in der Regel durch Energieersparnisse kurzfristig amortisiert und keine internen Kapazitäten bindet oder die Anschaffung dazu erforderlicher Messgeräte notwendig macht.

Teil der regelmäßigen Wartungsintervalle des Druckluftsystems ist darüber hinaus die Überprüfung der Druckluftqualität. Wird die von den Maschinen- und Werkzeugherstellern geforderte Reinheitsklasse nach ISO 8573-1 nicht erreicht, kommt es zunächst zu Funktionsstörungen und dann möglicherweise zu Betriebsausfällen. Hohe Druckverluste und damit hohe Druckluftkosten entstehen zudem durch einen hohen Verschmutzungsgrad von Filtern. Das betrifft sowohl Ansaugfilter am Kompressor wie auch etwaige Druckluftfilter. Die Überprüfungsintervalle jedes Filters sind empirisch analog der jeweiligen Betriebsbedingungen zu ermitteln.

Weitere Hinweise zur Erarbeitung eines betriebsspezifischen Wartungsplans enthalten die folgenden Technischen Regeln des VDMA:

- VDMA 15391-1:2020-05; Wirtschaftliche und sichere Druckluftverteilung – Teil 1: Planung und Neubau
- VDMA 15392:2017-09; Typische Anforderungen an Servicearbeiten an einem Druckluftsystem
- VDMA 4370:2012-11; Energieeffiziente Druckluftanlagen – Leitfaden zur Erkennung und Bewertung vorhandener Schwachstellen und korrekter Erfassung des Energieeinsparpotenzials



FAZIT.

30 %

Druckluftverlust durch vermeidbare Leckagen

8 %

Energieeinsparung durch exakte Dimensionierung von Leitungen

Bis zu 40 %

Einsparungen durch bedarfsgerecht ausgelegte pneumatische Systeme

Hohes Potenzial für Energieeinsparungen: Druckluft ist kostenintensiv. Umso wichtiger ist es, Druckluftverteilungsanlagen zu optimieren und so auf verschiedene Arten zu sparen.

Druckluft ist zwar kostenintensiv, aus betriebstechnischen Gründen jedoch unverzichtbar. Denn insbesondere im produzierenden Gewerbe lässt sie sich nur zu einem geringen Anteil durch elektrische Antriebe wirtschaftlich ersetzen. Somit wird die Bereitstellung von Druckluft meistens als unvermeidbarer Kostenfaktor angesehen – bietet aber viel Einsparpotenzial. Schätzungen zufolge weisen zum Beispiel 80 Prozent der Druckluftanlagen Leckagen auf, über die bis zu 30 Prozent der Druckluft verloren gehen. Das gilt es zu vermeiden oder zu beheben. In der exakten Dimensionierung der – idealerweise strömungsoptimiert ausgelegten – Rohrleitungssysteme steckt darüber hinaus ein durchschnittliches Effizienzpotenzial von weiteren 8 Prozent. Und durch die bedarfsgerechte Auslegung pneumatischer Systeme sind nochmals Energieeinsparungen von bis zu 40 Prozent erreichbar.³

Die enormen Möglichkeiten der Kostenreduktion durch eine Sanierung und Modernisierung der Druckluftverteilung sind mit einfach zu installierenden Rohrleitungssystemen auch im laufenden Betrieb zu erschließen. Für Druckluftanlagen bietet hier die Pressverbindungstechnik viele wirtschaftliche und technische Vorteile.

ANHANG.

Begriff	Einheit	Erklärung
Betriebsdruck	bar oder Pa	Herstellerangabe, welcher spezifische Druck erforderlich ist, damit die Maschine oder das Werkzeug arbeiten kann bzw. die erwartete Leistung erreicht.
Druckabfall	bar oder Pa	Differenz zum Druck, der vom Kompressor erzeugt wurde, verursacht durch Leckagen, Strömungswiderstände oder Druckluftverbrauch.
Druckluftbedarf	m ³ /h	Spezifische Luftmenge, die ein Druckluftverbraucher pro Stunde für den leistungsgerechten Betrieb benötigt.
Druckluftverlust	bar oder Pa	Druck, der auf dem Weg vom Kompressor bis zum Verbraucher durch Leckagen verloren geht.
Druckverlust	bar oder Pa	Druck, der auf dem Weg vom Kompressor bis zum Verbraucher durch unvermeidbare Verluste trotz optimal dimensionierter Rohrleitungen, unter anderem aufgrund von Strömungswiderständen, verloren geht. Der Druckverlust in der gesamten Druckluftverteilung sollte maximal 1 bar betragen. Damit der Fließdruck im Netz dem Betriebsdruck der Verbraucher entspricht, muss der Druckverlust durch einen entsprechend höheren Systemdruck ausgeglichen werden (6 bar Betriebsdruck + 1 bar Druckverlust = 7 bar Netzdruck nach dem Kompressor).

Begriff	Einheit	Erklärung
Fließdruck	bar oder Pa	Druck, der tatsächlich am Druckluftverbraucher anliegt, wenn er arbeitet. Der Fließdruck kann deutlich unter dem an der Wartungseinheit eingestellten statischen Betriebsdruck liegen, weil erst bei fließender Druckluft die Strömungswiderstände wirksam sind.
Luftmenge	m ³	Luftvolumen, das vom Kompressor verdichtet, über die Rohrleitungen verteilt wird und in der Summe dem Druckluftbedarf aller Verbraucher entspricht.
Strömungsgeschwindigkeit	m/s	Geschwindigkeit, mit der die Luftmenge durch die Rohrleitungen strömt. Je kleiner die Rohrnennweite ist, umso höher ist die Strömungsgeschwindigkeit und in der Folge der Druckverlust.
Strömungswiderstand		Widerstände, die die Druckluft auf dem Weg zu jedem Verbraucher überwinden muss. Diese Widerstände erzeugen Druckverluste und entstehen durch Reibung an den Rohrwänden, kleine Rohrleitungsdimensionen, Engstellen in Verbindern und Armaturen, Umlenkungen etc. Daher sind kurze Wege zum Verbraucher durch Ringleitungssysteme mit möglichst wenig Verbindungsstücken strömungstechnisch am günstigsten.

QUELLENANGABEN UND WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN.

- 1 Umweltbundesamt (UBA); Abschlussbericht – Aktualisierung der Daten des BVT-Merkblatts Energy Efficiency, 2020.
- 2 Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD; Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), September 2021; Ecodesign-Richtlinie Los 31; UBA-Abschlussbericht, Aktualisierung der Daten des BVT-Merkblatts Energy Efficiency.
- 3 Potenzialstudie Energie-/Kosteneinsparung in der Fluidtechnik, Abschlussbericht; Herausgeber Umweltbundesamt, Oktober 2020.
- 4 Strompreis für die Industrie inklusive Stromsteuer, Erhebung des VEA – Bundesverband der Energie-Abnehmer e.V. und des BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; Stand: Juli 2022.
- 5 VDMA 15391-1:2020-05; Wirtschaftliche und sichere Druckluftverteilung – Teil 1: Planung und Neubau.

i **Unterlagen**

Viega Planungswissen Industrietechnik,
Kapitel Druckluft – kostenloser Download:
Planungswissen-Industrietechnik | [viega.de](https://www.viega.de)

i **Seminar**

Rohrleitungssysteme für die Gebäudetechnik –
Übersicht und Anmeldung:
Seminare | [viega.de](https://www.viega.de)

i **Wissen**

LABs-freie Anlagen – **Labs-freie Anlagen | [viega.de](https://www.viega.de)**

i **Katalog**

Übersicht aller Bauteile der Viega Rohrleitungssysteme –
Rohrleitungstechnik | [viega.de](https://www.viega.de)

IMPRESSUM.

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung von Viega zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen.

Viega GmbH & Co. KG

Viega Platz 1
57439 Attendorn
Deutschland

info@viega.de
Telefon +49 2722 61-0

USt-IdNr. DE 307732088
Kommanditgesellschaft
Sitz Attendorn
Handelsregister
Amtsgericht Siegen
HRA 9165

Autor

Frank Michael Krokowski

Technischer Referent,
Kompetenzbereich
Energie & Industrie
Viega GmbH & Co. KG
Viega Platz 1
57439 Attendorn

Technische Beratung
Telefon +49 2722 61-1100
servicetechnik@viega.de

Das ausschließliche Nutzungsrecht liegt bei der Viega GmbH & Co. KG.

Die unautorisierte Nutzung, die ganze oder teilweise Vervielfältigung sowie jede Weitergabe an Dritte sind nicht gestattet.

Aus Lesbarkeitsgründen verzichten wir auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d). Sämtliche Bezeichnungen gelten für alle Geschlechter.

