F&S FILTRIEREN UND SEPARIEREN
SONDERDRUCK 02/2022
www.fs-journal.de

Prozessgasqualität bei Druckluftanwendungen – sauber oder rein?

Dirk Gros

Für eine hohe Reinheitsklasse ist eine aufwändige Druckluftaufbereitungstechnik notwendig. Diese verursacht nicht nur zusätzlich Energiekosten für den fast obligatorischen Trockner und sorgt für Druckverluste bei der Filtration, sondern ist auch ein ökologischer Faktor. Die Frage zur sauberen Druckluft ist deshalb insbesondere für die ISO 8573 näher zu betrachten: Wie sauber ist "sauber" und muss es unbedingt sogar "rein" sein?

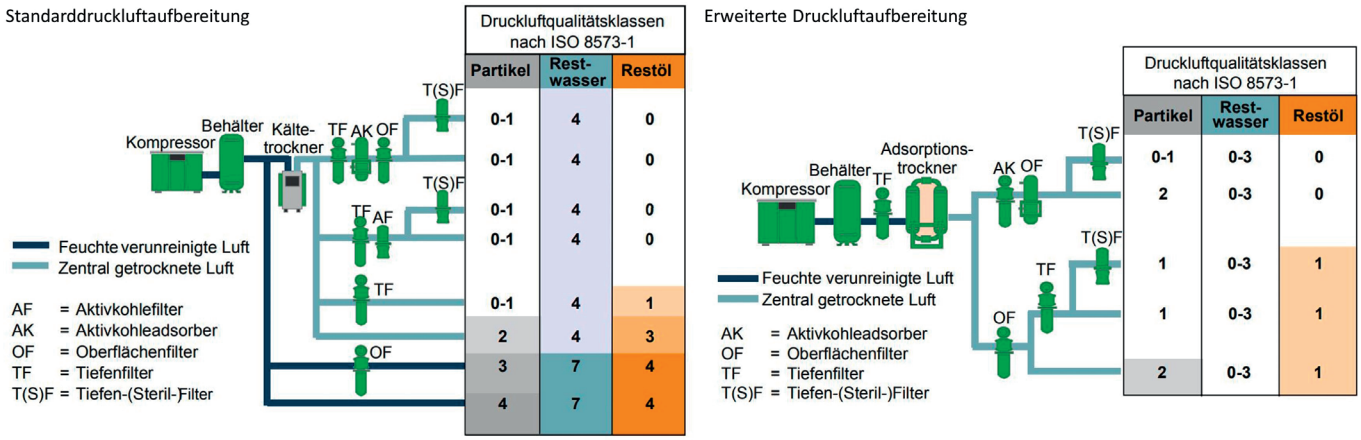
Erzeugung von Druckluft

In der EU wurden 2001 für die Erzeugung von Druckluft 10 % des gesamten industriellen Stromverbrauchs genutzt, was ca. 80 TWh im Jahr entspricht [1]. Eine neuere Schätzung des Energieverbrauchs lag 2015 bereits bei 127 TWh/Jahr [2], was eine Steigerung von 59 % bedeutet. Weil unser Strom noch nicht gänzlich CO_2-neutral hergestellt wird, ist die Drucklufttechnik für Unternehmen nicht nur ein finanzieller, sondern auch ein ökologischer Faktor. Mit einem geschätzten CO_2-Umrechnungsfaktor des Umweltbundesamtes von durchschnittlich 366 g pro kWh für den deutschen Strommix 2020 ergibt sich aus Schätzung der Verbrauchsdaten von 2015 ein jährlicher Ausstoß von 46,48 Megatonnen Kohlenstoffdioxid für die Drucklufterzeugung. Insbesondere aus Gründen der hohen Kosten für die Erzeugung von Druckluft und anderen Prozessgasen optimieren alle Hersteller von Kompressoren ihre Maschinen.

Der mittlere spezifische Energieeinsatz der aktuellen Verdichtungstechnik von ca. 108 Wattstunden pro Kubikmeter bei industriell üblichen Druckverhältnissen zeigt, dass Druckluft und Druckgase allgemein in der Erzeugung preisintensiv sind. Hinzu kommt der Einsatz von Energie für die Aufbereitungstechnik, weil Druckluft und viele weitere Prozessgase mindestens getrocknet sein müssen. Zudem wird speziell Druckluft immer mehr als reines Prozessgas definiert. Selbst eine kleine Verbesserung der spezifischen Leistungsaufnahme ist für Hersteller im Kampf um die Wettbewerbsfähigkeit wichtig. Jede Verbesserung kommt auch der Umwelt zugute, zumindest bis die CO_2-neutrale Produktion der Stromerzeugung realisiert ist. Jedoch sind mit der isothermen Verdichtung die physikalischen Grenzen zum Energieeinsatz gesetzt und Hersteller optimieren mechanische und elektrische Verluste der Gesamtanlage in marginalen Schritten, beispielsweise im Bereich der hocheffektiven Elektromotorentechnik.

Druckluftaufbereitungstechnik

Die Erzeugung ist eine Seite zur Drucklufttechnik, die Zweite ist die notwendige Druckluftaufbereitung, die in ähnlicher Form auch für andere Druckgase eingesetzt werden muss. Nach der Herstellung von Druckluft ist die Entfernung von angesaugten Partikeln, kondensierendem Wasserdampf und weiteren Rückständen aus dem Verdichtungsprozess notwendig. Die Verschmutzung der Ansaugluft für einen Kompressor ist abhängig von der Örtlichkeit und kann Stäube, Pilze, Pollen, Viren, Bakterien oder auch andere Fremdgase beinhalten. Eine Verunreinigung der angesaugten Luft mit bis zu 140 Millionen Schmutzpartikeln pro Kubikmeter Druckluft sind durch Messungen nachgewiesen worden, wobei 80 % der angesaugten Partikel kleiner als zwei Mikrometer sind [3]. Ohne dass es eines Beweises bedarf, sind höchstwahrscheinlich auf dem Land die Konzentrationen von Staub-, Kohlenwasserstoff-, Schwefeloxid- und Stickoxidver-



Quelle: Fraunhofer ISI; dena, VDMA: Druckluft effizient – Druckluftfakten – Druckluftaufbereitung. Karlsruhe 08/2003, S.7.

Bild 1

Bild 2: *Qualität der Druckluft nach ISO 8573-1:2010*

ISO 8573-1:2010 Klasse	Feststoffpartikel				Wasser			Öl
	Maximale Anzahl Partikel pro m^3			Massenkonzentration mg/m^3	Drucktaupunkt Dampf	Restfeuchte Dampf g/m^3	Flüssigkeit g/m^3	Gesamtölanteil (Flüssig, Aerosol,Dampf) mg/m^3
	0,1 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 5 µm					
0	bessser Klasse 1							
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70°C	≤ 0,003	-	≤ 0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40°C	≤ 0,12	-	≤ 0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20°C	≤ 0,88	-	≤ 1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3°C	≤ 5,95	-	≤ 5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7°C	≤ 7,76	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10°C	≤ 9,41	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-		≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-		0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-		5 - 10	-
x	-	-	-	> 10	-		> 10	> 5
	Maximale Teilchenanzahl pro Kubikmeter Gemessen nach ISO8573-4:2001 **Bezugsbedingungen** 1 bar (abs.); 20 °C ; 0 % rel. Feuchte				Maximaler Drucktaupunkt Gemessen nach ISO8573-3:1999 **Bezugsbedingungen** 7 bar Betriebsdruck ; 20 °C			Maximaler Gesamtölanteil (Dampf & Flüssigkeit) Gemessen nach ISO8573-2:2007 und ISO8573-5:2001 **Bezugsbedingungen** 1 bar (abs.); 20 °C ; 0 % rel. Feuchte

Quelle: Flex-Air GmbH

bindungen geringer als an einer viel befahrenen Straße in der Stadt. Alle Verschmutzungen, insbesondere Wasserdampf aus der Umgebungsluft, werden vom Kompressor angesaugt und in Abhängigkeit des Verdichtungsenddruckes auf ein Vielfaches konzentriert. Nach Beendigung der Verdichtung ist das Produkt – nasse Druckluft – am Ausgangsstutzen des Kompressors hochgradig mit Partikeln jeglicher Art kontaminiert. Bei den standardisierten, öleingespritzten Kompressoren kommt flüssiges und dampfförmiges Restöl hinzu. Am Druckstutzen des Kompressors fällt flüssiges Kondensat an und in der Gasphase ein Dampfgemisch aus Druckluft, Wasser- und Öldampf.

Als spezialisierte Branche hat sich zur Reinigung der Druckluft die Druckluftaufbereitungstechnik etabliert. Mit der Technik Filtern und Trocknen wird die erzeugte Druckluft für den betrieblichen Einsatz vorbereitet. Um zu klassifizieren, was sauber ist, kommt die empfehlende Norm ISO 8573 zum Einsatz. Viele Hersteller sind als Fachkundige in den Normenausschüssen national sowie international vertreten. Im Teil 1 der Norm wird die Reinheit der Druckluft bezüglich Partikeln, Wasseranteil und Restöl klassifiziert (**Bild 1**) und weitere acht Teile beschreiben die Testmethoden. Die Angabe der Druckluftqualität erfolgt in der Reihenfolge der Partikel-, Wasser-, und Restölklasse, beispielsweise Druckluft gemäß ISO 8573 [2:4:2].

Ersichtlich ist, dass für eine hohe Reinheitsklasse eine aufwändige Druckluftaufbereitungstechnik mit Trockner, Oberflächenfilter und Tiefenfilter benötigt wird. Diese verursacht zusätzliche Energiekosten für den fast obligatorischen Trockner und Druckverluste bei der Filtration. Das Problem für den Betreiber der Druckluftstation ist der gesamt anliegende Differenzdruck, der ohne Sensorik nicht immer offensichtlich ist. Wenn die Druckluftaufbereitungstechnik in der EU im Durchschnitt schätzungsweise 1000 hPa Druckverlust verursacht, werden circa 7 % mehr Energie fällig, um den Druckverlust mit den Kompressoren auszugleichen. Das Einsparpotenzial für den Betrieb der Drucklufttechnik gänzlich ohne Druckluftaufbereitung ist schnell berechnet und ergibt ein europäisches Einsparpotential von 8,89 TWh pro Jahr. Die Druckluftaufbereitung ist jedoch ein wichtiger Baustein der gesamten Technik und die dadurch verursachten Druckabfälle können daher nicht vermieden, sondern nur durch regelmäßigen Filterelementwechsel gering gehalten werden. Ein Filterelementwechsel pro Jahr sollte mindestens erfolgen, jedoch spätestens bei einem Differenzdruck von 350 mbar muss ein Filterwechsel die Regel sein [4]. Leider bauen notwendige Tiefenfilter für eine hohe Druckluftqualität durch Partikelbeladung relativ schnell einen Differenzdruck von 150-300 hPa auf [5]. Um das zu verhindern, sind weitere vorgeschaltete Partikelfilter notwendig. Weitere Filter verursachen wieder Druckverluste und bei einem geschätzten Einsparpotential von 300 hPa für einen Tiefenfilter würde ein kleines 304 MW Kraftwerk und eine Megatonne CO_2 in europäischen Druckluftstationen pro Jahr eingespart. Daher sind die Druckluftqualität und die Wartungsintervalle von Filtern auf den Prüfstand zu stellen. Dadurch entsteht ein Dilemma zwischen Energieeinsparung, Wartungskosten für Filter und Investitionskosten einer überwachenden Sensorik, um saubere Druckluft nach Norm zu erhalten.

ISO 8573-1: Wie sauber ist sauber?

Die Frage zur sauberen Druckluft ist insbesondere für die ISO 8573 näher zu betrachten: Wie sauber ist “sauber” und muss es unbedingt sogar “rein” sein? Ein Beispiel **(Bild 2)** der Klasse 1 im Bereich Restöl verdeutlicht die Problematik: In einem Kubikmeter Luft dürfen nach Norm ISO 8573-1 nicht mehr als 0,01 mg pro m^3 Restölanteile vorhanden sein. Der Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 für Quecksilber in der Atemluft ist mit 0,02 mg pro m^3 doppelt so hoch und in einem Liter Bodenseewasser liegt der Grenzwert für Uran gleich zum Wert der Restölanteile in der Druckluft [6]. Der Vergleich der ISO 8573-1 mit anderen Normen, die aufgrund ihrer Anwendung eine hohe Reinheit für Druckluft fordern, zeigt alternative Möglichkeiten zur Definition von sauberer Druckluft in Unternehmen.

Für den Bereich der kaum messbaren Reinheit hält die ISO 8573 noch die Klasse 0 bereit. Nach Angaben diverser Kompressorenhersteller produzieren ölfreie Kompressoren die Druckluftqualität Klasse 0 für Restöl. Wie beschrieben, saugt ein Kompressor alle umgebenen Teilchen und Dämpfe an. Darunter fallen auch geringste Kohlenwasserstoffkonzentrationen aus der Umge-

Bild 3: *Alternative Normen zur Druckluftqualität gemäß ISO 8573-1 [1:1:1]*

Norm	Partikel	Wasserdampf	Öl
DIN EN ISO 7396-1:2007 Medizinische Luft und Luft für den Betrieb chirurgischer Werkzeuge)	Filtration nach ISO 8573-1:2001-Klasse 2	≤ 67 ppm ($DTP_{ISO8573}$ ≲ -26°C) (TP ≲ -46°C)	≤ 0,1 mg/m^3
DIN EN 12021: 2014-07 Atemgeräte – Druckgase für Atemschutzgeräte	keine Angabe	< 25 mg/m^3 am Druckluftstutzen des Kompressors zum Füllen von 200 oder 300 bar Flaschen (entspannt) ($DTP_{ISO8573}$ ≲ -35°C) (TP ≲ -54°C)	≤ 0,5 mg/m^3
Europäisches Arzneibuch Luft zur medizinischen Anwendung	keine Angabe	≤ 67 ppm ($DTP_{ISO8573}$ ≲ -26°C) (TP ≲ -46°C) Bestimmung für Krankenhäuser: Per Behördenzustimmung bei Systemen von max. 10 bar und Temperatur der Druckluft in den Rohrleitungen von ≥ +12 ($DTP_{ISO8573}$ ≲ +2 °C / $DTP_{10\ bar}$ ≲ +7°C) (TP ≲ -22°C)	≤ 0,1 mg/m^3

Quelle: Flex-Air GmbH

$DTP_{ISO8573}$ = Taupunkt der Druckluft nach ISO8573-1 ; TP = atmosphärischer Taupunkt der entspannten Luft

bungsluft eines nicht sterilen Kompressorraums oder aus der freien Umgebungsluft, vielleicht unmittelbar an der Straße. Demnach ist das Problem bezüglich Restkohlenwasserstoffe unterhalb der Grenze von Klasse 1 für Öl durch ölfreie Kompressoren nicht gänzlich gelöst. Zudem gibt es ein weiteres Problem: Der vollständig fluidfrei verdichtende Kompressor benötigt im Vergleich zu einer optimierten öleingespritzten Maschine für den gleichen Volumenstrom mehr Energie und ist durch eine Zwei-Stufen-Technologie in der Anschaffung teurer.

Fazit

Die Druckluftaufbereitung so gut wie nötig, nicht so gut wie möglich – das war schon immer im wirtschaftlichen Sinne das richtige Motto und dies gilt auch zur Vermeidung von CO_2-Emissionen. Die Druckluftaufbereitung sinnvoll und maßvoll einzusetzen bedeutet einen aktiven Klimaschutz, denn bis zur CO_2-freien Produktion von Strom könnte noch ein langer Weg bevorstehen. Wenn es nicht sauber, sondern wirklich rein sein muss, kann als Alternative über dezentrale Lösungen nachgedacht werden, um nicht den gesamten Druckluftvolumenstrom zentral kosten- und CO_2-intensiv aufzubereiten. Letztendlich dient eine Norm als Empfehlung und die DIN-Organisation selbst stellt fest: Normen entstehen im Konsens und Expert:innen verständigen sich unter Berücksichtigung aller Interessen und im Ausschluss aller Gegenargumente [7]. Eine Überprüfung der Norm ISO 8573 wäre wünschenswert, denn zwischen den derzeitigen Klassen sind vielleicht weitere differenzierende Klassen einzufügen; die Klasse 0 ist zu überdenken. Der Betreiber einer Druckluftstation sollte zusammen mit einem Fachmann seine geforderte Druckluftqualität in Anlehnung an die Druckluftnorm und anderer Normen (**Bild 3**) nach seinen betrieblichen Interessen definieren. Für eine anspruchsvolle Druckluftqualität könnte beispielsweise die Druckluftqualität wie im Krankenhaus betrieblich definiert werden. Die umfangreiche Druckluftnorm könnte zukünftig auch als Grundlage für weitere Prozessgase dienlich sein. Es sollte jedoch für Klima und Umwelt gelten, so sauber wie nötig ist meistens ausreichend.

Literatur

[1] Vgl. Radgen, Peter: Bedeutung der Druckluftanwendung für Wettbewerbsfähigkeit, Energieverbrauch und CO2-Emissionen. In: Ruppelt, Erwin (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. 4. Auflage. Essen: Vulkan 2003, S.2.

[2] Vgl. Ruppelt, Erwin: Muss Druckluft teuer sein? Was ganzheitliche Betrachtung und moderne Technik zur Druckluft Effizienz beitragen können? 4. BDG Umwelttag. Vortrag, Kaeser Kompressoren GmbH, 2013, S. 3.

[3] Vgl. Ruppelt 2003, S.161 ff.

[4] Vgl. Fraunhofer ISI; dena, VDMA: Druckluft effizient – Druckluftfakten – Druckluftaufbereitung. Karlsruhe 08/2003, S.4.

[5] Vgl. Straus-Zunker, Werner: Druckluftaufbereitung mit Mikrofilter und Adsorptionstrockner. 1. Auflage. o.O.: Zander Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG, 1996, Diagramm 4.9.3.1, S.148.

[6] Grenzwerte nach: Neue Arbeitsplatzgrenzwerte in der TRGS 900 (Dezember 2011) und Trinkwasserverordnung gemäß Bodensee-Wasserversorgung: Qualitätsdaten des Trinkwassers aus dem Bodensee - Jahresmittelwerte 2020.

[7] Vgl. Deutsches Institut für Normung (Web. URL: https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-norm [Letzter Aufruf: 16.01.2022]).

Autor

Dirk Gros
Geschäftsführer der Flex-Air GmbH
Dipl.-Wirt.-Ing. (FH)
Staatl. gepr. Techniker
www.flex-air.com