



Saubere, trockene und ölfreie Druckluft aus jedem beliebigen Kompressor

Ein Whitepaper von Mark White –
Compressed Air Treatment Applications Manager



ENGINEERING YOUR SUCCESS.
www.parker.com/gsf

Druckluft – sauber, trocken und ölfrei

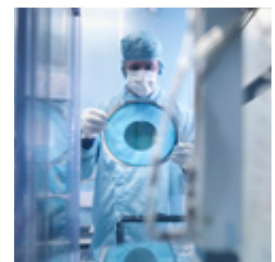
In diesem Whitepaper erläutert Mark White, Compressed Air Treatment Applications Manager von Parker Hannifin, die Unterschiede zwischen der ölgeschmierten und ölfreien Kompressor-technologie, die jeweils damit verbundenen Risiken und wie Sie diese Risiken durch Installation der richtigen Aufbereitungskomponenten zur Erzeugung von sauberer und trockener, „technisch ölfreier Druckluft“ minimieren können.

In modernen Produktionsanlagen ist der Einsatz von Druckluft häufig von entscheidender Bedeutung für die Produktionsverfahren. Um die effiziente und kostengünstige Produktion zu gewährleisten, ist eine zuverlässige Versorgung mit sauberer und trockener Druckluft ausschlaggebend, und zwar unabhängig davon, ob Druckluft in direkten Kontakt mit dem Produkt kommt, im Rahmen der Prozessautomatisierung, zur Erzeugung von Antriebskraft oder zur Verpackung von Produkten eingesetzt wird oder sogar für die Produktion anderer Gase vor Ort sorgt.

Es sind heute zahlreiche verschiedene Kompressortypen erhältlich, und dank seiner Effizienz und Zuverlässigkeit hat sich der Schraubenkompressor als Technologie der Wahl für zahlreiche Branchen und Anwendungen durchgesetzt.

Die Auswahl eines Schraubenkompressors kann aufgrund der Anzahl von Herstellern und zahlreichen angebotenen Varianten eine anspruchsvolle Aufgabe sein. Eine der wichtigsten Entscheidungen bei der Auswahl eines Schraubenkompressors ist die Wahl zwischen einem ölgeschmierten und einem ölfreien Modell.

Werbebotschaften richten sich oft spezifisch an Branchen wie die Lebensmittel-, Getränke-, Pharma- und Elektronikindustrie und spielen mit der Angst, dass Öl die größte Kontaminierungsbedrohung in Verbindung mit Druckluft darstellt.



Leider wird im Bestreben nach ölfreier Druckluft das nachgeschaltete Luftaufbereitungssystem oft vernachlässigt oder vollständig ignoriert. Aus diesem Grund sind viele Anwender enttäuscht, wenn sie nach der Installation ihres neuen Kompressors feststellen, dass in der Druckluft weiterhin Ölverunreinigungen und Wasser vorhanden sind.

Dieses Whitepaper wurde verfasst, um den Leser zu informieren, woher Öl und andere Verunreinigungen in einem Kompressorsystem stammen und wie sich saubere und trockene, ölfreie Druckluft für kritische Anwendungen erzeugen lässt.

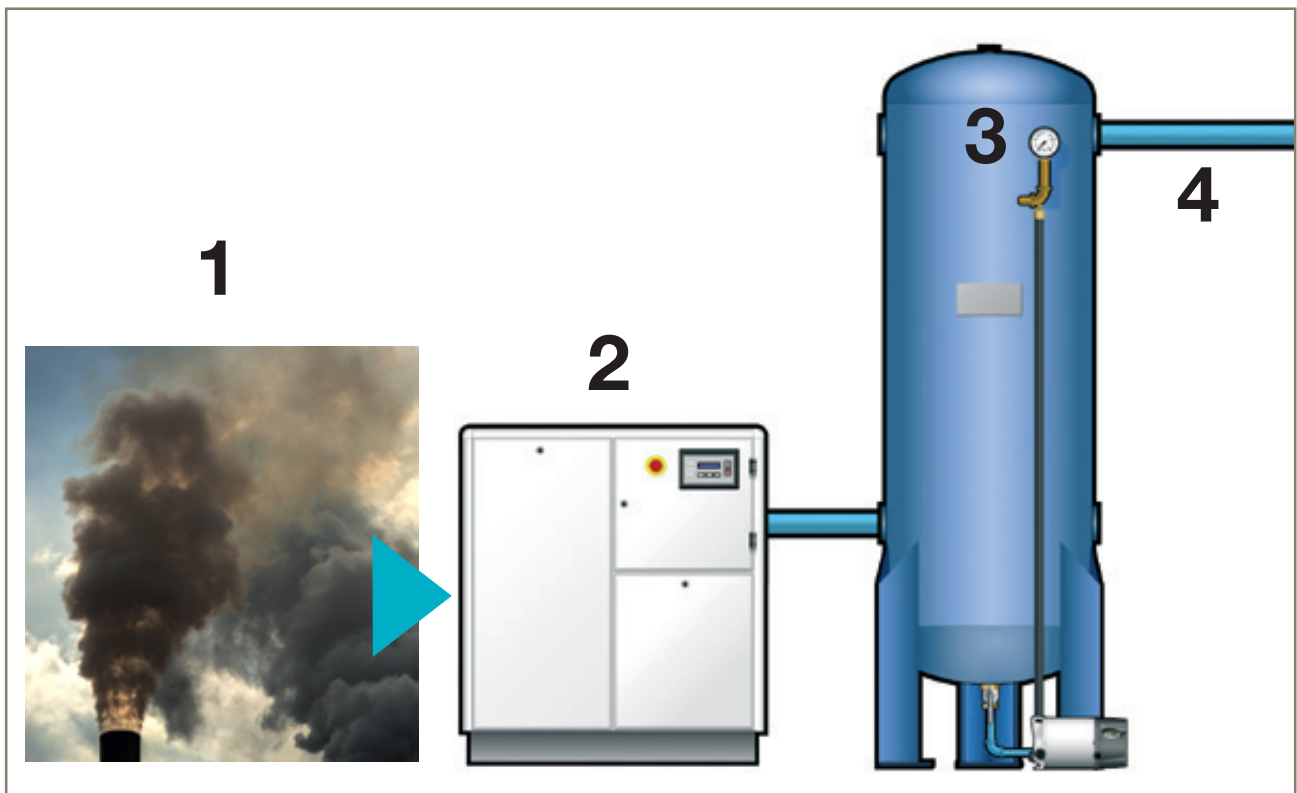
Woher stammt das Öl in einem Druckluftsystem?

Das Öl in einem Druckluftsystem stammt aus zwei Hauptquellen:

- **Verunreinigungsquelle Nr. 1: die Umgebungsluft (Ölnebel)**
- **Verunreinigungsquelle Nr. 2: der Kompressor (flüssiges Öl/Ölaerosole/Ölnebel)**

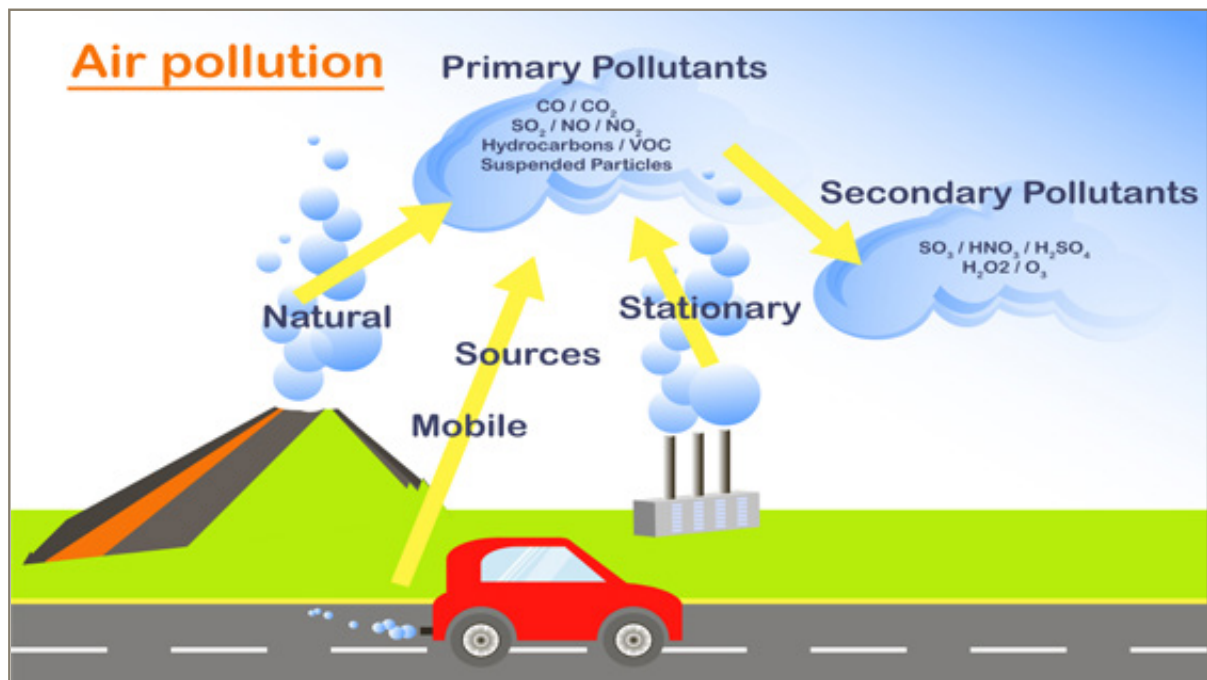
Ohne Aufbereitung verunreinigt Öl in einer oder mehreren der 3 Phasen den Luftbehälter und die Verteilerleitungen. Der Luftbehälter und die Leitungen sind somit indirekt zusätzliche Quellen für Verunreinigungen durch Öl (3 & 4).

- **Quelle Nr. 3: der Luftbehälter**
- **Quelle Nr. 4: die Verteilerleitungen**



Verunreinigungsquelle Nr. 1: die Umgebungsluft

Umgebungsluft enthält Öl in gasförmigem Zustand (Ölnebel). Der Ölnebel in Umgebungsluft ist eine Kombination aus Kohlenwasserstoffen und flüchtigen organischen Verbindungen (FOV), die aus natürlichen Quellen sowie aus Fahrzeugabgasen und ineffizienten industriellen Prozessen stammen.



Wie viel „Ölnebel“ ist in der Umgebungsluft?

Typische Werte für die Kontaminierung durch Ölnebel geben an, dass 1 Kubikmeter Umgebungsluft in der Regel zwischen 0,05 mg/m³ und 0,5 mg/m³ Ölnebel enthält.

In dicht bebauten, städtischen oder industriellen Umgebungen sowie neben Parkplätzen und verkehrsreichen Straßen kann der Gehalt jedoch höher sein.

Ölnebelgehalte lassen sich schwer messen, da kein einzelner Test für „Öl“ in Luft verfügbar ist (zumindest kein sehr genauer). Bei Drucklufttests müssen daher die Umgebungsluft auf die verschiedenen Verbindungen geprüft und die Testergebnisse kombiniert werden.



Weltweite Zielsetzungen zur Verbesserung der Luftqualität haben zur Einrichtung zahlreicher Luftgütemessstationen geführt. Diese messen in der Regel die Verbindungen, die für Menschen am gesundheitsschädlichsten sind (NO_x, SO_x, CO, CO₂ und Ozon). Viele dieser Stationen messen jedoch auch weitere Verbindungen, insbesondere FOV. Diese Daten können genutzt werden, um das Vorhandensein von „Ölnebel“ in der Umgebungsluft zu prüfen.

Unabhängige Testdaten

In Großbritannien publiziert das DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) kostenlos Daten, die von den Messstationen in Großbritannien erfasst wurden. Die meisten dieser Stationen (30+) verwenden manuelle Probennahme- und Testmethoden, um nach bestimmten Schadstoffen zu suchen, während vier Stationen (zwei außer- und zwei innerstädtische) Stationen ein komplexes automatisiertes thermisches Desorptionsverfahren mit vor Ort installierten Gaschromatographie- und FID-Nachweisgeräten einsetzen. In diesen Stationen werden automatisch stündliche Messungen von 29 verschiedenen Verbindungen durchgeführt.

Summen für die 29 relevanten Verbindungen	Maximale stündliche Konzentration – 2012			
	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
Gesamtwerte (mg/m ³)	0,37	0,16	0,44	0,86

Summen für die 29 relevanten Verbindungen	Maximale stündliche Konzentration – 2013			
	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
Gesamtwerte (mg/m ³)	0,34	0,12	0,44	0,57

Summen für die 29 relevanten Verbindungen	Maximale stündliche Konzentration – 2014			
	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
Gesamtwerte (mg/m ³)	0,26	0,20	0,64	0,74

Summen für die 29 relevanten Verbindungen	Maximale stündliche Konzentration – 2015			
	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
Gesamtwerte (mg/m ³)	0,16	0,08	0,40	0,51

Wie in den Tabellen oben zu sehen ist, entsprechen die kombinierten aufgezeichneten Daten für alle 29 Verbindungen den typischen Werten, die in der Industrie für Öl (Kohlenwasserstoffe) in der Umgebungsluft verwendet werden: 0,05 mg/m³ bis 0,5 mg/m³.

Wichtige Hinweise zu den Ergebnissen der DEFRA:

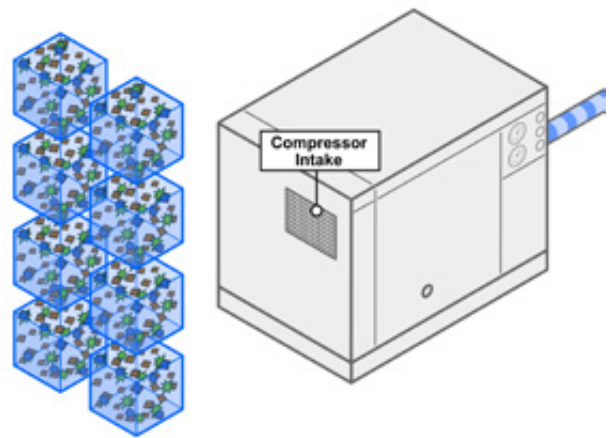
- Weltweite und EU-Berichte berücksichtigen nur problematische und für Menschen gesundheitsschädliche Stoffe.
- Sie erfassen nicht notwendigerweise Verbindungen, die für Prozesse schädlich sein können (z. B. die den Geschmack eines Produkts beeinträchtigen, das während der Herstellung in direkten Kontakt mit Druckluft gerät).
- Zahlreiche Stoffe (Verbindungen), die für die menschliche Gesundheit weniger (oder nicht) schädlich sind, fallen durch das Erfassungsnetz, da der Chemiker/Analytiker nicht nach ihnen sucht und sich nicht für sie interessiert.
- Diese Chemikalien sind jedoch in der Umgebungsluft vorhanden und ihr Beitrag zum „echten“ Gesamt-FOV-Gehalt geht verloren (muss jedoch immer berücksichtigt werden).
- Die gemeldeten FOV-Gehalte sind daher deutlich geringer als in Wirklichkeit.
- In den Übersichtstabellen können wir sehen, dass die Werte an einigen Standorten innerhalb des typischen Bereichs von 0,05 mg/m³ bis 0,5 mg/m³ liegen, für andere Stationen jedoch höher.
- Da die von der DEFRA und in diesem Bericht genannten Messstationen nicht auf alle FOV prüfen, sondern nur auf die von Interesse, sollten die Werte in den Übersichtstabellen als „günstigster Fall“ betrachtet werden.

Wie verunreinigt der Ölnebel aus der Umgebungsluft die Druckluft?

Wenn der Kompressor läuft, werden große Mengen an Umgebungsluft in den Kompressoreinlass eingesaugt. Diese Umgebungsluft kann sauber aussehen, ist es jedoch nicht, da gasförmige Verunreinigungen oft unsichtbar sind.

Der unsichtbare Ölnebel in der Umgebungsluft wird zusammen mit anderen Verunreinigungen in den Kompressor eingesaugt.

Im Druckluft-Verteilungssystem kann der Ölnebel abkühlen und zu flüssigem Öl kondensieren.



Bei der Verdichtung von Druckluft nimmt das Problem zu

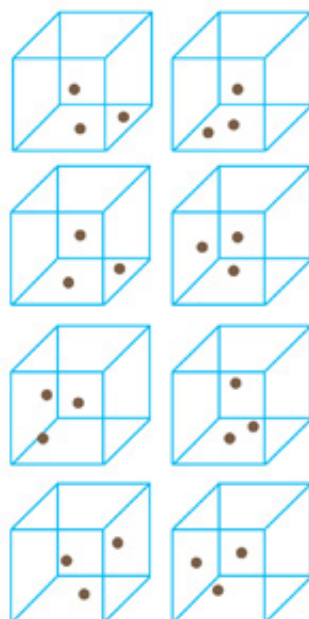
Vielen mögen die Umgebungsluftgehalte an Ölnebel als vernachlässigbar erscheinen. Wenn wir jedoch über Ölnebel in Druckluft reden, müssen wir auch die Auswirkungen der Verdichtung der Luft auf die Umgebungskontamination, die Menge an Luft, die in das Druckluftsystem strömt, und die Betriebsdauer des Kompressors berücksichtigen.

Verdichtung = Konzentration

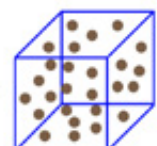
Bei der Verdichtung wird die Umgebungsluft in ein kleineres Volumen gepresst. Dies gilt jedoch leider nicht für die Verunreinigungen in der Umgebungsluft, die stattdessen konzentriert werden. Je höher der Druck, auf den die Luft verdichtet wird, desto höher ist die Konzentration der Verunreinigungen.

Typische von der Druckluftindustrie genannte Werte für Ölnebel in der Umgebungsluft reichen von $0,05 \text{ mg/m}^3$ bis $0,5 \text{ mg/m}^3$

Die aufgezeichneten Werte bestätigen oder übersteigen diese Werte.



Compression & Concentration



WICHTIGER HINWEIS:
Dies ist keine ölfreie Druckluft.

Konzentrationsbeispiele

Um die Auswirkungen der Konzentration hervorzuheben, enthält die folgende Tabelle die maximalen Ölnebelkonzentrationswerte pro Stunde von Seite 5 (Mittelwerte aus den über 4 Jahre aufgezeichneten Werten).

Aufgezeichnete Verunreinigungsgrade in 1 Kubikmeter Umgebungsluft vor der Verdichtung

Druck	Werte aus der Industrie		Aufgezeichnete Umgebungswerte (Mittelwerte über 4 Jahre)			
	Min.	Max.	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
0 bar ü	0,05	0,5	0,29	0,14	0,48	0,67

Die folgende Tabelle zeigt die erhöhten „Ölnebel“-Kontaminationswerte in 1 Kubikmeter *Druckluft* (bei industrietypischen Betriebsdrücken).

Ölnebel-Kontaminationswerte in 1 Kubikmeter Druckluft

Druck	Werte aus der Industrie		Auswirkungen der Verdichtung bei aufgezeichneten Umgebungswerten			
	Min.	Max.	Auchencorth Moss	Harwell	Eltham	Marylebone Rd
7 bar ü	0,40	4,00	2,32	1,12	3,84	5,36
10 bar ü	0,55	5,50	3,19	1,54	5,28	7,37
13 bar ü	0,70	7,00	4,06	1,96	6,72	9,38
40 bar ü	2,00	20,0	11,6	5,6	19,2	26,8
Alle Konzentrationswerte in mg/m ³						

Vernachlässigbare Werte

Gehalte, die in der Umgebungsluft als vernachlässigbar erscheinen mögen, können nach Berücksichtigung der Konzentrationswirkung der Verdichtung nicht mehr ignoriert werden.

Volumenstrom und Zeit

Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Volumenstrom des Luftkompressors. Die meisten betrachten nur die Gehalte pro Kubikmeter Umgebungsluft, vergessen jedoch einzuberechnen, wie viele Kubikmeter pro Stunde der Luftkompressor dem Verteilersystem zuführt. Luftkompressoren arbeiten im Dauerbetrieb und saugen die verunreinigte Luft kontinuierlich an, was die Konzentration der Verunreinigungen fortlaufend erhöht.

Position des Lufteinlasses des Kompressors

Neben dem Gehalt an Ölnebel in der Umgebungsluft gibt es einen weiteren Faktor zu berücksichtigen: die Nähe des Lufteinlasses des Kompressors zu Parkplätzen und Straßen. Luftkompressoren sind oft nahe an Parkplätzen, Warenumschlagplätzen oder großen Straßen und Autobahnen aufgestellt. Die Auswirkungen von Fahrzeugverkehr in der Nähe des Lufteinlasses des Kompressors erhöhen die mit schädlichen FOV verbundenen Risiken erheblich, insbesondere, wenn ein Fahrzeug direkt neben dem Lufteinlass parkt oder mit laufendem Motor wartet.



Verunreinigungsquelle Nr. 2: der Kompressor

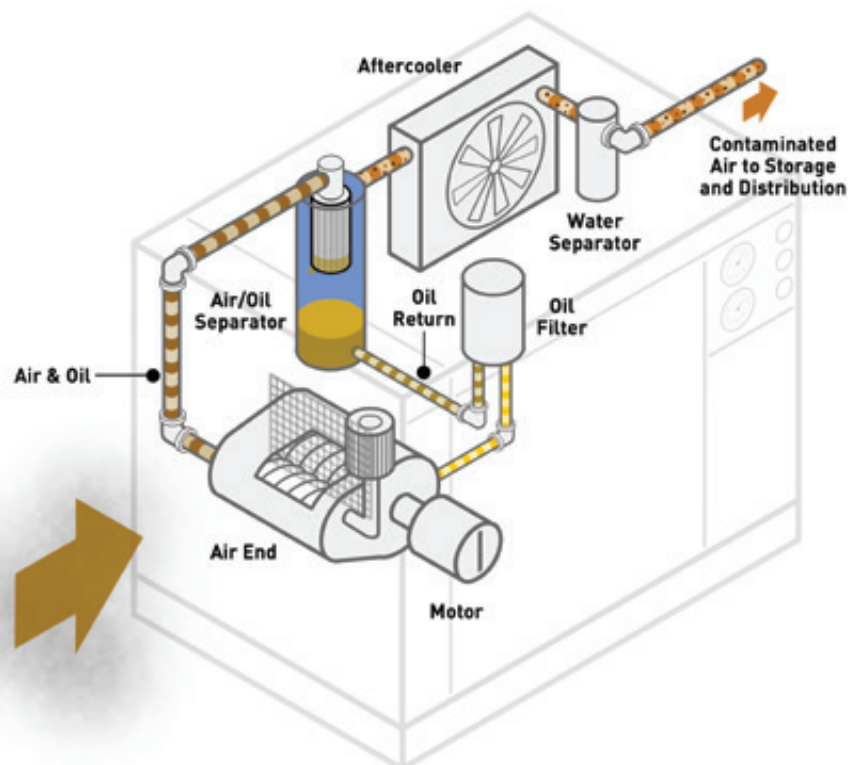
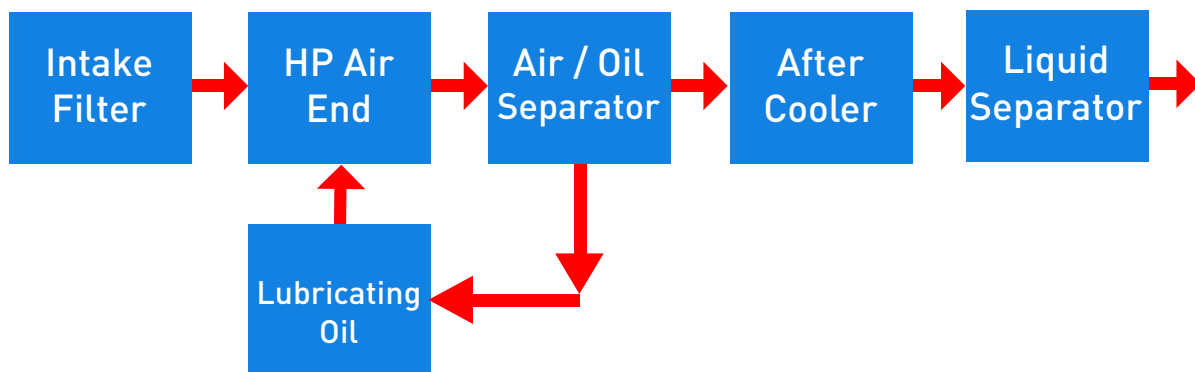
Überblick über die Funktionsweise eines Schraubenkompressors

Mit Öleinspritzung (geschmiert)

Zur Beschreibung ölgeschmierter Kompressoren werden eine Reihe verschiedener Begriffe verwendet (mit Öleinspritzung/ölgeschmiert/mit Kontaktkühlung). Die Varianten haben jedoch alle eines gemeinsam: Sie verwenden Öl für die Abdichtung, Kühlung und Schmierung. Rund 75 % der weltweit verkauften industriellen Schraubenkompressoren sind ölgeschmiert.

Als gängigste Kompressorbauf orm verwenden wir diesen Typ, um die grundlegende Funktionsweise eines Kompressors mit Öleinspritzung zu beschreiben.

Grundlegende Funktionsweise – Schraubenkompressor mit Öleinspritzung



Antrieb

Ein Motor, in der Regel ein Elektromotor (bei fahrbaren Kompressoren manchmal auch ein Dieselmotor), dient als Antrieb für die Verdichterstufe.

Verdichtung

Die Verdichterstufe besteht aus zwei ineinandergreifenden Rotoren (Schrauben): einem Hauptrotor und einem Nebenrotor. Ein Rotor wird in der Regel direkt durch den Motor angetrieben (seine Drehzahl wird über ein Getriebe gesteuert), während der andere frei dreht (durch das Schmieröl bewegt).

Während sich die Rotoren drehen, wird Umgebungsluft in die Verdichterstufe eingesaugt, in den Zellen zwischen den beiden Rotoren eingeschlossen und verdichtet. Solange sich die Rotoren drehen, wird Luft an einer Seite eingesaugt und an der anderen Seite druckbeaufschlagt ausgestoßen. Ein Rückschlagventil verhindert, dass bei abgeschaltetem Antriebsmotor Luft durch den Kompressor zurückströmt.

Abdichtung

Im Betrieb wird Öl zur Abdichtung in die Verdichterstufe eingespritzt. Das Öl verhindert, dass sich die beiden Rotoren in der Verdichterstufe berühren. Das Öl sorgt für eine sehr wirksame Abdichtung, die die Verdichtung der Umgebungsluft ermöglicht.

Kühlung (der Druckluft während der Verdichtung/der Rotoren/des Verdichterstufengehäuses)

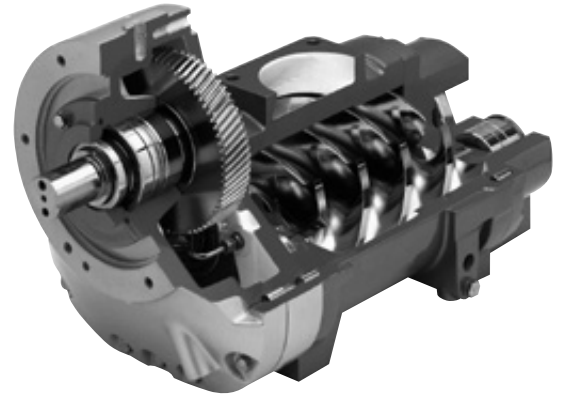
Durch die Verdichtung der Umgebungsluft entsteht Wärme (üblicherweise als Verdichtungswärme bezeichnet). Das Öl in einem ölgeschmierten Kompressor kühlt direkt die Druckluft, die Rotoren und das Verdichterstufengehäuse. Es ermöglicht die Ableitung von bis zu 80 % der Wärme in der Verdichterstufe. Dies hält die Auslasstemperatur der Verdichterstufe niedrig und steigert somit die Effizienz. Die typischen Lufttemperaturen betragen von 80 °C bis 120 °C, sodass die Direktkühlung mit Öl für die meisten industriellen Betriebsdrücke die Verdichtung mit einer einzelnen Verdichterstufe (einstufige Verdichtung) ermöglicht.

Schmierung

Da Luftkompressoren aus zahlreichen beweglichen Teilen bestehen (Lager und Zahnräder), wird das Öl auch zur Schmierung dieser Komponenten verwendet.

Ölrückgewinnung

Nach der Verdichtung ist die Druckluft mit Öl angereichert. Ein Luft/Öl-Abscheidefilter, der in ein geschlossenes Schmiersystem integriert ist, dient zur Rückgewinnung des Öls aus der Druckluft, bevor sie aus dem Kompressor austritt. Das Öl wird zur Abscheidung von Partikelverunreinigungen gefiltert und vor der Umwälzung gekühlt. Danach wird es wieder für die Abdichtung, Kühlung und Schmierung verwendet.

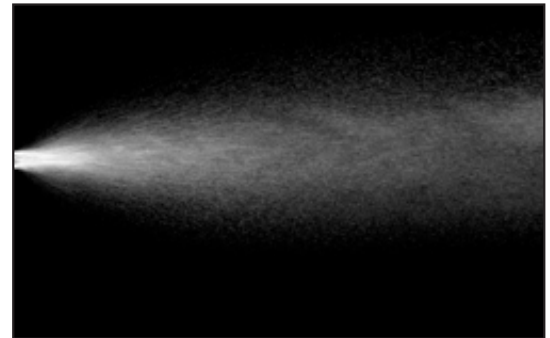


Überblick über die Funktionsweise eines Schraubenkompressors

Mit Öleinspritzung (geschmiert)

Ölverschleppung (Aerosol)

Der im Luft/Öl-Abscheider verwendete Filter ist hohen Gehalten an flüssigem Öl und Ölaerosolen ausgesetzt. Aufgrund des Funktionsprinzips von mechanischen Filtern kann der Luft/Öl-Abscheider das Öl nicht zu 100 % abscheiden, sodass in der aus dem Kompressor austretenden Druckluft eine geringe Menge Ölaerosol verbleibt. Dies wird als Ölverschleppung bezeichnet. Die Dokumentationen für geschmierte Kompressoren beinhalten in der Regel einen Wert für die Ölverschleppung. Typische Ölverschleppungswerte für gängige industrielle Kompressortypen sind nachstehend angegeben:



Kompressortyp	Typische Ölverschleppungswerte
Schraubenkompressoren mit Ölspülung	< 5 mg/m ³
Rotationsverdichter	< 5 mg/m ³
Hubkolbenkompressoren	Neu: 25 mg/m ³ / Alt: 100 bis 200 mg/m ³

Wichtiger Hinweis:

Das Schmieröl kann während der Verdichtung Ölnebel (Kohlenwasserstoffe und FOV) aus der Umgebungsluft aufnehmen.

Ölverschleppung (Nebel)

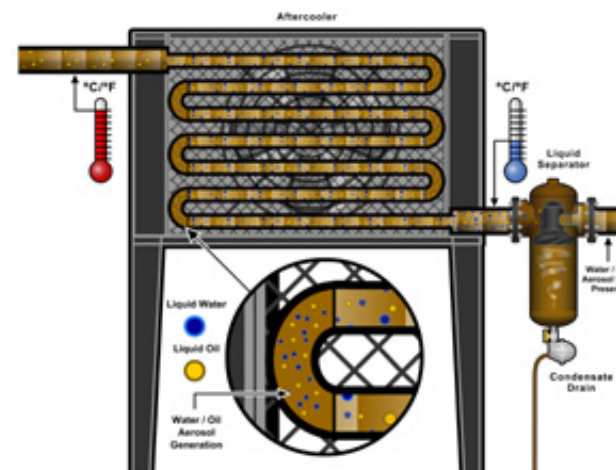
Wenn sich das Schmieröl im Betrieb erwärmt, nimmt seine Verdunstungsgeschwindigkeit zu (je nach Schmiermittel unterschiedlich). Durch geschmierte Kompressoren wird daher der Druckluft Ölnebel zugesetzt. Da sich das Öl in einer Dampfphase befindet, wird es vom Luft/Öl-Abscheider nicht abgeschieden.



Kühlung nach der Verdichtung (Nachkühler)

Die aus der Verdichterstufe eines ölgeschmierten Kompressors austretende Luft ist trotz der Kühlung durch das Schmieröl zu heiß für den Gebrauch und muss weiter abgekühlt werden. Diese Kühlung erfolgt durch den Nachkühler. Viele industrielle Kompressoren verfügen innerhalb der Kompressoreinheit über einen integrierten Nachkühler, während einige Hersteller diesen als zusätzliches, externes Gerät bereitstellen.

Nachkühler lassen sich in luftgekühlte und wassergekühlte Ausführungen unterteilen, wobei die Luftkühlung die gängigere Variante ist.



Luftgekühlte Nachkühler

Dies ist im Wesentlichen ein langes, spiralförmiges Rohr, das einen Kühlmantel bildet. Nachkühler bestehen aus Materialien mit guten Wärmeübertragungseigenschaften und an dem Rohr sind häufig „Kühlrippen“ zur zusätzlichen Wärmeableitung angebracht. Ein großer Kühllüfter bläst Umgebungsluft über das Rohr, sodass die Wärme aus der Druckluft an die vorbeiströmende Umgebungsluft abgegeben wird. Ein typischer luftgekühlter Nachkühler reduziert die Temperatur der vom Kompressor geförderten Luft auf ca. 10 °C bis 15 °C über der Temperatur der Umgebungsluft (davon ausgehend, dass der Kompressorraum gut belüftet ist und der Nachkühler saubergehalten wird).



Wassergekühlter Nachkühler

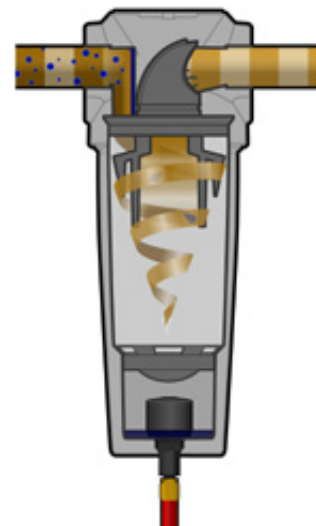
Bei einem wassergekühlten Nachkühler wird der Kühlmantel durch mehrere gerade Rohre ersetzt, die in ein wasserdichtes Gefäß integriert sind. Gekühltes Wasser aus einem separaten geschlossenen Kühlsystem umspült konstant die Rohre, durch die die Druckluft strömt.

Die Wärme aus der Druckluft wird an das Kühlwasser abgegeben (und erwärmt es). Das warme Wasser wird dann zum Kühler zurückgeführt, um wieder gekühlt zu werden. Wassergekühlte Nachkühler werden oft verwendet, wenn die Umgebungstemperaturen zu hoch für den effizienten Einsatz eines luftgekühlten Nachkühlers sind.



Einleitung von Flüssigkeiten und Aerosolen

Während der Nachkühler die Druckluft kühlt, reduziert er die Fähigkeit der Luft, Wasser und Öldämpfe zu binden. Durch die Kühlung kondensiert der Dampf zu flüssigem Wasser und der Nebel zu flüssigem Öl, die in der Luft mit hoher Geschwindigkeit mitgeschleppt werden. Raue Oberflächen im Inneren der Rohrleitungen, Biegungen, Bögen, Verschraubungen usw. stören den Strom der kondensierten Flüssigkeiten. Diese Störungen führen zum „Scheren“ oder Zerstäuben der kondensierten Flüssigkeiten und erzeugen feine Wasser- und Öltröpfchen oder -aerosole.



Reduzierung des Flüssigkeitsgehalts

Viele Luftkompressoren verfügen am Auslass des Nachkühlers über einen integrierten Wasserabscheider, um den Flüssigkeitsgehalt der Luft zu reduzieren. Manche Kompressorausführungen verwenden zur Reduzierung des Flüssigkeitsgehalts einen externen Wasserabscheider oder einen Luftbehälter für feuchte Luft.

Wichtige Hinweise:

Wasserabscheider reduzieren lediglich den Gehalt an Flüssigkeiten. Sie bewirken keine Reduzierung des Aerosol- oder Dampf-/Ölnebelgehalts und scheiden die vorhandene Flüssigkeit nicht zu 100 % ab.

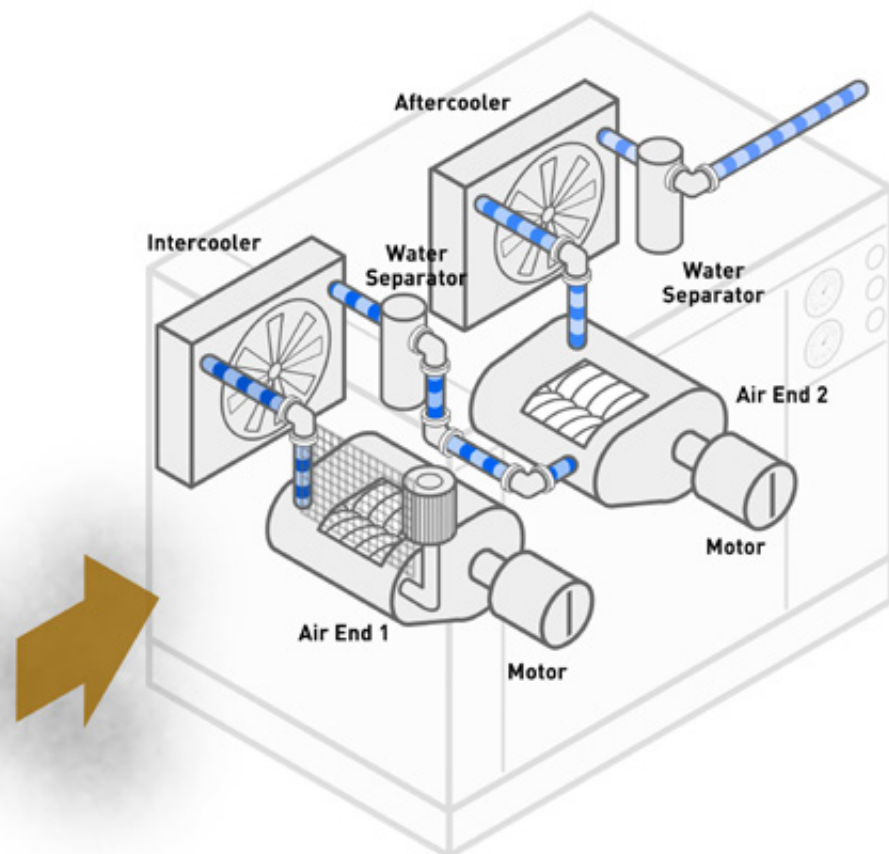
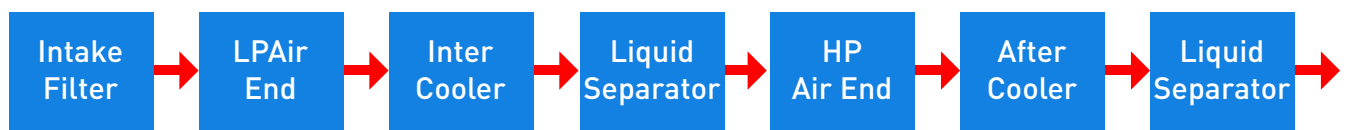
Verunreinigungsquelle Nr. 2: der Kompressor

Überblick über die Funktionsweise eines Schraubenkompressors

Ölfrei

Der offensichtliche Gedanke ist, dass der Begriff „ölfreier Kompressor“ einen Kompressor bezeichnet, der keinerlei Öl enthält. Leider ist dies bei den meisten ölfreien Kompressoren nicht der Fall. Als ölfreie Kompressoren werden Kompressoren bezeichnet, die in der Verdichterstufe kein Öl verwenden.

Grundlegende Funktionsweise – ölfreier Schraubenkompressor



Antrieb

Ölfreie Schraubenkompressoren sind in der Regel mehrstufige Kompressoren, die von einem einzelnen Motor angetrieben werden. Dieser Motor treibt ein Getriebe an, das die Kraft an jede Verdichterstufe überträgt. Aktuell sind einige ölfreie Kompressoren erhältlich, bei denen jede Verdichterstufe von einem spezifischen Motor angetrieben wird.

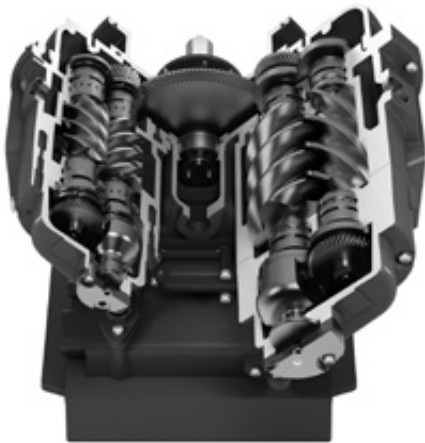
Verdichtung

Im Gegensatz zu Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung, bei denen Öl zur Abdichtung von Freiräumen zwischen den Rotoren und zur Verdichtung verwendet wird, verdichten die ölfreien Varianten die Luft mit anderen Mitteln.

Die Rotorelemente werden als Paare mit extrem geringen Toleranzen gefertigt, um den Abstand zwischen den Rotoren zu minimieren. Im Betrieb drehen sich die Rotoren mit deutlich höheren Geschwindigkeiten als bei einem entsprechenden Kompressor mit Öleinspritzung. Die Rotoren werden oft mit speziellen Beschichtungen versehen, die für einen gewissen Schutz gegen Wasser und Wärme sorgen, der bei Varianten mit Öleinspritzung durch das Öl erzeugt wird.

Kühlung

Da die Verdichtungskammer kein Öl enthält, das für eine direkte Kühlung sorgt, kommt eine indirekte Kühlung zum Einsatz. Die Verdichterstufengehäuse von ölfreien Verdichterstufen enthalten in der Regel Kanäle, in denen Kühlwasser (bei wassergekühlten Maschinen) oder Öl (bei luftgekühlten Maschinen) zirkulieren kann. Dieser



Schmierung

Bei einem ölfreien Schraubenkompressor ist es nicht nur wichtig, dass die einzelnen Rotoren in jeder Verdichterstufe mithilfe von Zahnrädern synchronisiert werden. Mit nur einem Antriebsmotor ist ein zusätzliches Getriebe erforderlich, um die verschiedenen Verdichterstufen anzutreiben. Alle Zahnräder und Lager müssen geschmiert werden.

Obwohl die Bezeichnung nahelegt, dass ein ölfreier Kompressor kein Öl enthält, ist dies bei den meisten ölfreien Kompressoren auf dem Markt

Die Rotoren laufen in äußerst geringem Abstand zueinander. In der Verdichterstufe befindet sich jedoch kein Öl, das den Kontakt zwischen den Rotoren verhindert; der Abstand zwischen den Rotoren wird durch ein zusätzliches Getriebe aufrechterhalten.



Prozess ist nicht so effizient wie die direkte Kühlung, da er nur das Gehäuse und nicht die Druckluft oder die Rotoren kühlt.

Durch das Fehlen der direkten Kühlung erreichen die Druckluft und die Rotoren in einem ölfreien Kompressor deutlich höhere Temperaturen. Bei ölfreien Kompressoren wird der Endförderdruck daher in mehreren Stufen erzeugt (im Gegensatz zu Maschinen mit Öleinspritzung, die in der Regel nur eine Stufe verwenden). Zwischen den Stufen wird die Druckluft von einem Zwischenkühler gekühlt. Auf diese Weise werden die Temperaturen in den Verdichterstufen in der Regel zwischen 180 °C und 200 °C gehalten.

Nehmen wir als Beispiel einen typischen ölfreien Schraubenkompressor mit zwei Verdichterstufen, einem Zwischenkühler und einem Nachkühler. Die 1. Stufe verdichtet die Luft typischerweise auf einen Druck von etwa 3,5 bar ü, die 2. Stufe auf den Förderdruck von 7 bar ü.

nicht der Fall. In den Verdichterstufen wird zwar kein Öl verwendet, zur Schmierung und Kühlung anderer Komponenten wird dennoch Öl benötigt. Dieses Öl wird um den Kompressor herumgepumpt und bildet ein geschlossenes System, das Lager und Zahnräder schmiert sowie gefiltert, gekühlt und umgewälzt wird.

Ölrückgewinnung (Luft/Öl-Abscheider)

Da in der Verdichterstufe kein Öl zum Einsatz kommt, wird bei einem ölfreien Kompressor kein Luft/Öl-Abscheider benötigt.

Überblick über die Funktionsweise eines Schraubenkompressors

Ölfrei

Ölverschleppung (aus der Umgebungsluft)

Es wird oft angenommen, dass ein ölfreier Kompressor ölfreie Druckluft erzeugt (da er zur Verdichtung der Luft kein Öl verwendet). Leider trifft dies nicht zu.

Ölnebel in der Umgebungsluft werden in den Kompressoreinlass eingesaugt, verdichtet und konzentriert. Der konzentrierte Ölnebel gelangt dann in das Druckluft-Verteilungssystem, wo er abkühlen und kondensieren kann. Dies führt zum Vorhandensein von Ölverunreinigungen (in einer Flüssig-, Aerosol- und Dampfphase).

Der Ölgehalt in der Druckluft in den nachgeordneten Komponenten eines ölfreien Kompressors hängt primär von der Qualität der Umgebungsluft ab.

Die Tabelle auf der rechten Seite zeigt die erhöhten „Ölnebel“-Kontaminationswerte in 1 Kubikmeter Druckluft (bei industrietypischen Betriebsdrücken).

Zusätzlich befinden sich Kompressoreinlässe oft in Industriegebieten und/oder in der Nähe von Parkplätzen und Straßen, in denen die Kontaminationswerte deutlich höher sein können. Das Ergebnis sind höhere Konzentrationen nach der Verdichtung.

Ölverschleppung (durch den Kompressor)

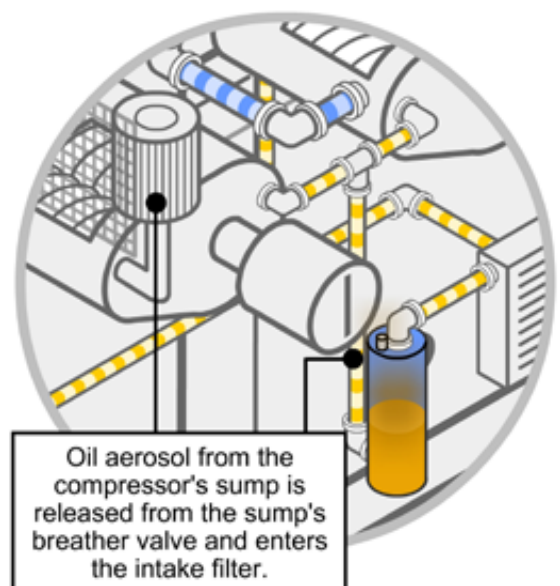
Das im geschlossenen System des ölfreien Kompressors zur Kühlung und Schmierung der Lager und Zahnräder verwendete Öl erwärmt sich und verdampft im Betrieb.

Der Kompressor ist mit einem einfachen „EntlüftungsfILTER“ versehen, um einen Überdruck im Ölkreislauf zu vermeiden.

Dieser EntlüftungsfILTER ermöglicht den Austritt von Aerosolen und Dämpfen in das Gehäuse, sodass sie in den Kompressoreinlass eingesaugt werden. Dies erhöht wiederum den Gehalt an Ölverunreinigungen im nachgeschalteten System.

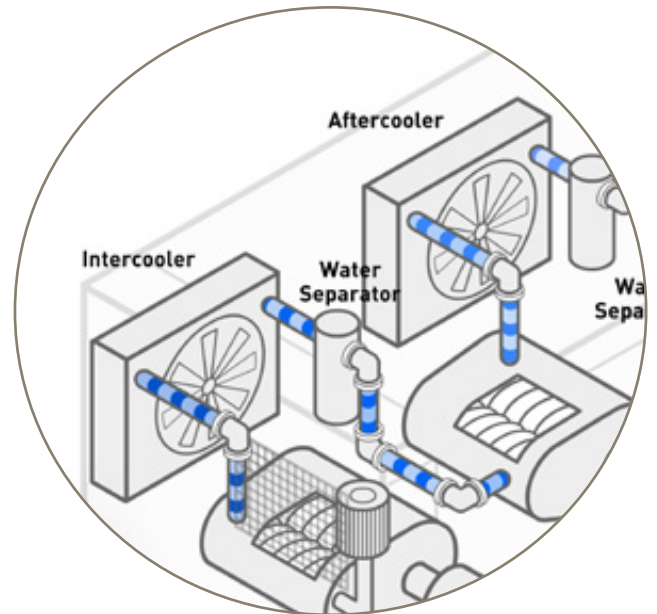


Druck	Werte aus der Industrie	
	Min.	Max.
Umgebung	0,05	0,50
7 bar ü	0,40	4,00
10 bar ü	0,55	5,50
13 bar ü	0,70	7,00
40 bar ü	2,00	20,0
Alle Konzentrationswerte in mg/m ³		



Zwischenkühlung/Nachkühlung

Da die direkte Kühlung durch Öl entfällt, verwenden ölfreie Kompressoren in der Regel zwei Verdichterstufen. Zwischen den beiden Stufen befindet sich ein Zwischenkühler, der die Luft abkühlt. Die Luft tritt dann in die zweite Verdichterstufe ein, wo sie sich infolge der Verdichtung erneut erwärmt. Vor dem Austritt aus dem Kompressor wird die Luft durch einen Nachkühler geleitet, um auf gebrauchsfähige Temperaturen abgekühlt zu werden.

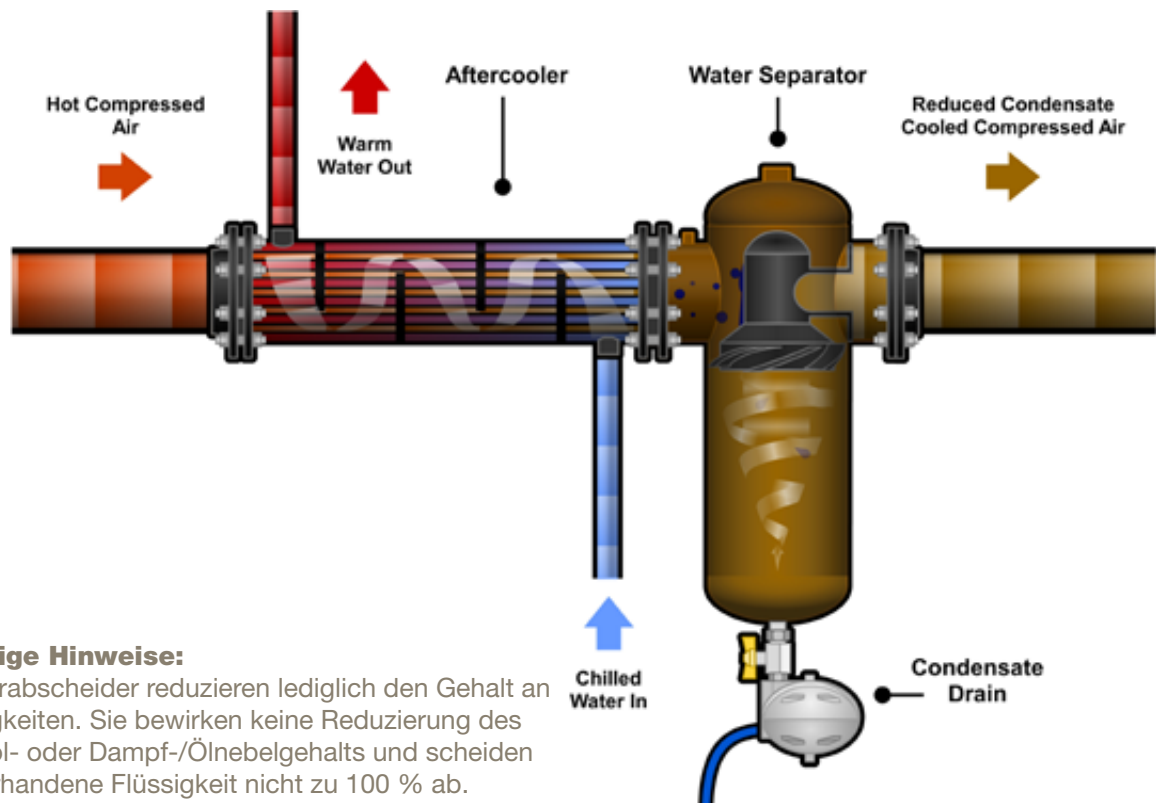


Einleitung von Flüssigkeiten und Aerosolen

Während der Zwischenkühler und der Nachkühler die Druckluft kühlen, reduzieren sie die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf und Ölnebel zu binden. Durch die Kühlung kondensiert der Dampf zu flüssigem Wasser und der Nebel zu flüssigem Öl, die in der Luft mit hoher Geschwindigkeit mitgeschleppt werden. Raue Oberflächen im Inneren der Rohrleitungen, Biegungen, Bögen, Verschraubungen usw. stören den Strom der kondensierten Flüssigkeiten. Diese Störungen führen zum „Scheren“ oder Zerstäuben der kondensierten Flüssigkeiten und erzeugen feine Wasser- und Öltröpfchen oder -aerosole.

Reduzierung des Flüssigkeitsgehalts

Viele Luftkompressoren verfügen am Zwischenkühler und am Auslass des Nachkühlers über einen integrierten Wasserabscheider, um den Flüssigkeitsgehalt der Luft zu reduzieren. Manche Kompressorausführungen verwenden zur Reduzierung des Flüssigkeitsgehalts einen externen Wasserabscheider oder einen Luftbehälter für feuchte Luft.



Wichtige Hinweise:

Wasserabscheider reduzieren lediglich den Gehalt an Flüssigkeiten. Sie bewirken keine Reduzierung des Aerosol- oder Dampf-/Ölnebelgehalts und scheiden die vorhandene Flüssigkeit nicht zu 100 % ab.

Anwendung internationaler Normen zur Spezifikation von ölfreier Druckluft

ISO 8573-Reihe

Die Normen der ISO 8573-Reihe sind die gängigsten Normen für Druckluft. Die Normenreihe besteht aus neun Teilen: Teil 1 bezieht sich auf die Luftreinheit (Qualität), während die Teile 2 bis 9 Angaben zur Ausrüstung und Methodik für die Messung der verschiedenen Verunreinigungen in einem Druckluftsystem (und zur Erfüllung der Luftreinheitsklassifizierungen in Teil 1) enthalten.

ISO 8573-1 – internationale Norm für die Reinheit von Druckluft

Die Norm ISO 8573-1 bietet dem Anwender ein Verfahren zur Festlegung der erforderlichen Luftreinheit (Qualität) für das gesamte Druckluftsystem oder einzelne Einsatzstellen (basierend auf den Anforderungen für die Anwendung). Sie ermöglicht es Geräteherstellern außerdem, die Produktleistung anzugeben und Aufbereitungssysteme zur Erfüllung der Luftreinheitsspezifikation von Endanwendern zu spezifizieren.

In der Norm ISO 8573-1 sind Verunreinigungen in Druckluft als Feststoffpartikel, Wasser und Gesamtölgehalt klassifiziert (Teil 2 bis 9 der ISO 8573 betrachten Prüfverfahren nach Phasen, d. h. Wasser als Flüssigkeit oder Dampf sowie Öl als Flüssigkeit, Aerosol oder Dampf). Verschiedene Verunreinigungsgrade werden dann „Reinheitsklassen“ zugeordnet. Bei Anwendung der Norm ISO 8573-1 zur Festlegung der erforderlichen Luftqualität an der Verwendungsstelle ist die Spezifikation wie folgt anzugeben:

Zuerst ist die Norm (ISO 8573-1) und dann das Jahr (die Fassung) zu nennen, danach sind die Reinheitsklassen (durch einen Doppelpunkt getrennt) anzugeben, z. B. ISO 8573-1:2010 [A:B:C]

Hierbei gilt:

A ist die Reinheitsklasse für Feststoffpartikel

B ist die Reinheitsklasse für Feuchtigkeit (Dampf) und flüssiges Wasser

C ist die Reinheitsklasse für den Gesamtölgehalt (Aerosol, flüssig und Nebel)

Druckluft-Reinheitsklassen

ISO 8573-1:2010 KLASSE	Feststoffpartikel			Massekonzentration mg/m ³	Wasser		Öl Gesamtölgehalt (Aerosol, flüssig und Nebel) mg/m ³
	Maximale Partikelanzahl pro m ³				Drucktaupunkt Dampf	Flüssigkeit in g/m ³	
	0,1 bis 0,5 µm	0,5 bis 1 µm	1 bis 5 µm				
0	Gemäß Festlegung durch den Gerätenutzer, strengere Anforderungen als Klasse 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	–	≤ -70 °C	–	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	–	≤ -40 °C	–	0,1
3	–	≤ 90.000	≤ 1000	–	≤ -20 °C	–	1
4	–	–	≤ 10.000	–	≤ +3 °C	–	5
5	–	–	≤ 100.000	–	≤ +7 °C	–	–
6	–	–	–	≤ 5	≤ +10 °C	–	–
7	–	–	–	5–10	–	≤ 0,5	–
8	–	–	–	–	–	0,5–5	–
9	–	–	–	–	–	5–10	–
X	–	–	–	> 10	–	> 10	> 10

Klasse Null/Klasse 0

Was bedeutet das?

Nahezu alle ölfreien Schraubenkompressoren werden unter der Bezeichnung „Klasse 0“ vertrieben. Doch was bedeutet das?

Klasse 0 (oder Klasse Null) ist ein Verweis auf die Luftreinheitsklassifizierung nach der Norm ISO 8573-1, obwohl dies nicht immer ausdrücklich angegeben wird. Sie wird auch oft als Klassifizierung für die Kontamination mit „Öl“ verwendet, kann jedoch faktisch auch auf Partikel und Wasser angewendet werden.

In der ursprünglichen Fassung der ISO 8573-1 war jeder Verunreinigungsart (Feststoffpartikel/Wasser/Gesamtölgehalt) ein Wert zugeordnet. Im Jahr 2001 wurde die Norm jedoch aktualisiert und die Klasse 0 wurde für alle 3 Verunreinigungsarten übernommen (was bis zur Aktualisierung in 2010 beibehalten wurde). Sie wurde als „anpassbare“ Spezifikation für Anwender und Hersteller für den Fall eingeführt, dass die erforderliche Luftreinheit (Anwender) oder gelieferte Luftqualität (für Gerätehersteller) strenger (sauberer) als Klasse 1 sein sollte.

ISO 8573-1:2010 KLASSE	Feststoffpartikel			Massenkonzentration mg/m ³	Wasser		Öl Gesamtölgehalt (Aerosol, flüssig und Nebel) mg/m ³
	Maximale Partikelanzahl pro m ³				Drucktaupunkt Dampf	Flüssigkeit in g/m ³	
	0,1 bis 0,5 µm	0,5 bis 1 µm	1 bis 5 µm				
0	Gemäß Festlegung durch den Gerätenutzer, strengere Anforderungen als Klasse 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	–	≤ -70 °C	–	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	–	≤ -40 °C	–	0,1

Leider wird die Klassifizierung ISO 8573-1 Klasse 0 oft missverstanden und/oder auf Luftkompressoren und Aufbereitungsprodukte falsch angewendet. Es ist wichtig, Folgendes zu berücksichtigen:

- Klasse 0 bedeutet nicht, dass keinerlei Verunreinigungen zulässig sind.
- Klasse 0 bedeutet nicht, dass die Luft ölfrei ist.
- Klasse 0 bezieht sich nicht ausschließlich auf Ölverunreinigungen.
- Eine Spezifikation der Klasse 0 muss „sauberer“ als die Spezifikation der Klasse 1 für die ausgewählte Verunreinigungsart sein.
- Die für eine Spezifikation der Klasse 0 angegebenen Verunreinigungsgrade müssen außerdem innerhalb des Messbereichs der in der Norm ISO 8573 Teil 2 bis 9 angegebenen Prüfmittel und -verfahren liegen.
- Die Spezifikation für die Klasse 0 muss eindeutig angeben, auf welche Verunreinigung sie sich bezieht.
 - z. B. „Feststoffpartikel“, „Wasser“ oder „Gesamtölgehalt (in Aerosolform, flüssig oder als Nebel)“
- Bei Klasse 0 müssen der Anwender oder der Gerätehersteller im Rahmen einer schriftlichen Spezifikation einen Verunreinigungsgrad angeben.

Beispiel einer ordnungsgemäß verfassten Spezifikation für die Klasse 0

„Bei Vorschaltung von OIL-X Universal-Koaleszenzfiltern der Klasse AO und Hochleistungs-Koaleszenzfiltern der Klasse AA liefern OIL-X Adsorptionsfilter der Klasse OVR eine Luftqualität gemäß ISO 8573-1:2010 Klasse 0 (≤ 0,003 mg/m³) für den Gesamtölgehalt (Ölaerosol und Ölnebel).“

- Die vereinbarte Spezifikation der Klasse 0 muss normkonform schriftlich auf allen Dokumenten vermerkt werden.
- Die Angabe der Klasse 0 ohne die begleitende Spezifikation der Verunreinigung ist gegenstandslos und entspricht nicht den Anforderungen der Norm.

„Ölfreie“ Druckluft

Was bedeutet „ölfrei“ und wie lässt sich das erreichen?

„Ölfreie“ Druckluft

Der Begriff „ölfrei“ impliziert „Druckluft ohne jegliches Öl“ oder „Druckluft ohne Spuren von Öl“. Es ist ein irreführender Begriff, der in der Praxis schwer belegt oder gewährleistet werden kann.

Präzise Messung von Öl in Druckluft

Es ist schlichtweg nicht möglich, das vollständige Nichtvorhandensein von Öl in Druckluft zu messen und anzugeben, dass Druckluft „ölfrei“ ist. Dies wird durch eine Betrachtung der einschlägigen ISO 8573-Normen bestätigt. Die Messung des „Gesamtölgehalts“ in Druckluft erfordert, dass der Anwender eine Prüfung auf Ölaerosol und Ölnebel gemäß der Methodik und mit den Prüfmitteln durchführt, die in den Normen ISO 8573-2 bzw. ISO 8573-5 aufgeführt sind, und die Ergebnisse kombiniert. Die Genauigkeitsgrenze für die Messung des „Gesamtölgehalts“ beträgt $0,003 \text{ mg/m}^3$.



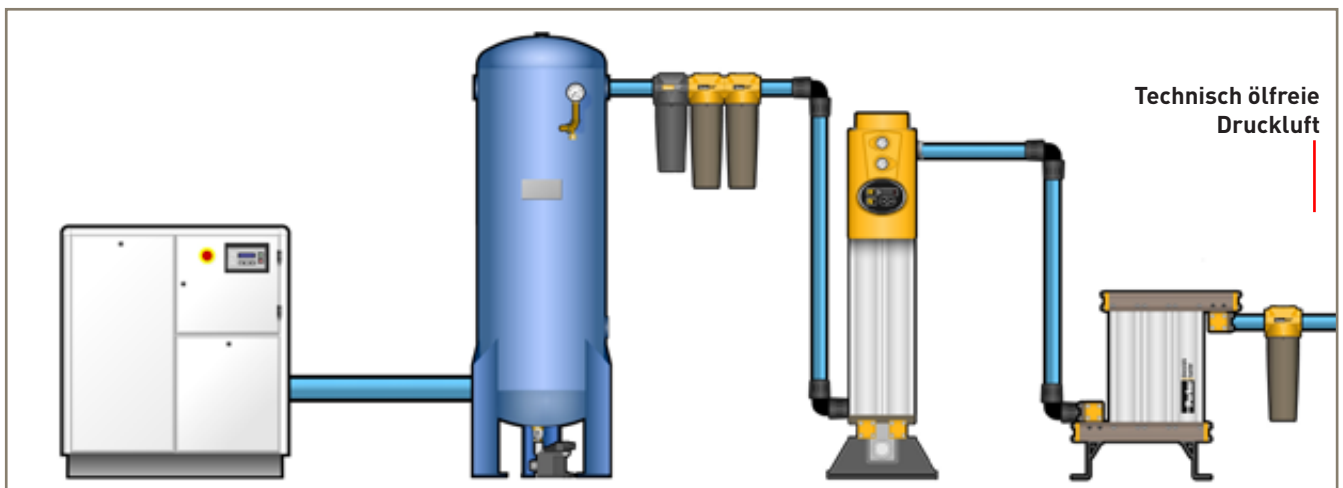
„Technisch ölfreie Druckluft“

Was ist „Technisch ölfreie Druckluft“?

„Technisch ölfreie Druckluft“ ist der Begriff, der für Druckluft verwendet wird, die zur Reduzierung des Gehalts an flüssigem Öl, Ölaerosol und Ölnebel auf extrem niedrige (jedoch messbare) Werte aufbereitet wurde.

Er wird manchmal verwendet, um eine mindere Qualität von Druckluft im Vergleich zur sogenannten „ölfreien“ Druckluft zu implizieren, die von einem ölfreien Kompressor erzeugt wird. Tatsächlich bietet aufbereitete Luft jedoch eine höhere Qualität.

Technisch ölfreie Druckluft kommt ölfreier Druckluft so nahe wie möglich und es lassen sich Gesamtölgehalte von lediglich $0,003 \text{ mg/m}^3$ erzielen.

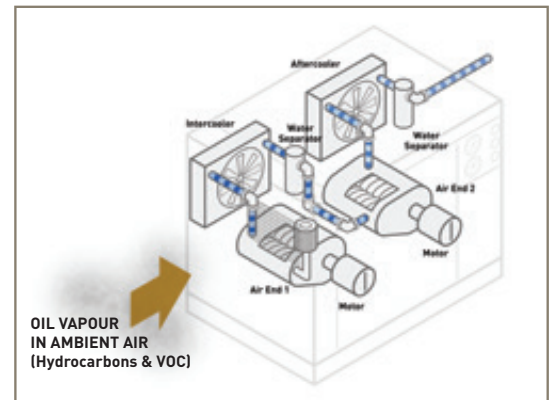


Können ölfreie Kompressoren ohne Aufbereitungssystem ölfreie Druckluft gewährleisten?

Eindeutig nicht. Sehen wir uns die Fakten bezüglich Öl in Druckluftsystemen an.

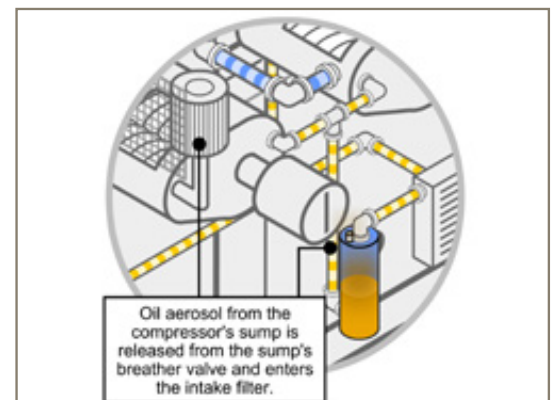
Kontamination der Umgebungsluft:

Luftkompressoren saugen kontinuierlich große Mengen Umgebungsluft an und verdichten sie. Die Umgebungsluft enthält unter anderem Verunreinigungen in Form von Öl in einer Dampfphase (Kohlenwasserstoffe und FOV). Die Luft wird verdichtet, die Verunreinigungen jedoch nicht, sodass sie konzentriert werden. Auch wenn der Ölnebelgehalt in der Druckluft niedrig war, ist die Konzentration in der Druckluft höher. Ohne Aufbereitung kann sich der Ölnebel im Druckluftsystem und an der Verwendungsstelle abkühlen und kondensieren, sodass in der Anwendung Öl in einer flüssigen, Aerosol- und Dampfphase entsteht.



Kontamination durch den ölfreien Kompressor:

Die meisten ölfreien Kompressoren sind mitnichten „ölfrei“, sondern verwenden Öl zur Schmierung von Getrieben und Lagern. Obwohl das Öl nicht in den Verdichterstufen verwendet wird, kann es in die Druckluft gelangen. Ölsysteme müssen entlüftet werden und der EntlüftungsfILTER des Kurbelgehäuses kann nicht verhindern, dass Öl in einer Dampfphase in den Kompressoreinlass gelangt. Der Kompressor ist außerdem mit Lagerdichtungen versehen. Wenn Dichtungen altern oder verschleifen, kann das Öl austreten und in den Druckluftstrom gelangen.



Im Verteilerleitungssystem bereits enthaltene Verunreinigungen:

Auch wenn wir annehmen, dass die aus dem Kompressor ausgestoßene Druckluft vollständig ölfrei ist (was nicht der Fall ist), kann nicht garantiert werden, dass dies auch an der Verwendungsstelle der Fall ist. In Leitungssystemen sammeln sich Schmutzstoffe einschließlich von Öl an und selbst nach der Installation eines neuen Kompressors und Aufbereitungssystems können in Anwendungen Verunreinigungen vorhanden sein, wenn die Druckluft nicht an der Verwendungsstelle aufbereitet wird. Wenn für eine Anwendung Druckluft der ISO 8573-1 Klasse 1 oder Klasse 0 für den Gesamtölgehalt benötigt wird, ist es sinnvoller (und oft kostengünstiger), diese an der Verwendungsstelle anstatt im Kompressorraum bereitzustellen.



Ölfreier Kompressor oder technisch ölfreie Druckluft?

Was sollte ich spezifizieren, um meine Produkte und Prozesse sowie den Ruf meiner Marke zu schützen?

Es gibt zahlreiche Produktionsstätten, in denen Druckluft direkt oder indirekt mit Produktionsanlagen, Produkten oder Verpackungsmaterialien in Berührung kommt (insbesondere in der Lebensmittel-, Getränke-, Pharma- und Elektronikindustrie). In diesen Fällen können Verunreinigungen aus nicht aufbereiteter Druckluft erhebliche Folgen für die Produktqualität, die Verbrauchersicherheit und den Markenruf haben.

Häufige Fehler im Zusammenhang mit Spezifikationen

Nicht selten bestehen Hersteller und Prüfer in diesen Branchen darauf, dass ein „ölfreier“ Kompressor oder ein Kompressor der „Klasse 0“ installiert wird. Dies geschieht oft in der irrigen Annahme, dass ein ölfreier Kompressor ölfreie oder verunreinigungsfreie Druckluft gewährleistet.

Verlagerung von Kosten

Bei diesen Spezifikationen werden außerdem oft die Anforderungen an die Filtration der Druckluft gesenkt (oder es wird ganz darauf verzichtet), da man glaubt, dass die vom ölfreien Kompressor erzeugte Druckluft weniger oder gar keine Verunreinigungen enthält. Dies erfolgt auch häufig, um die zusätzlichen Kosten für den ölfreien Kompressor auszugleichen.

Die Umstellung eines Prozesses auf einen ölfreien Kompressor kann zu hohen, oft zunächst verdeckten Kosten führen. Und die vor allem selbstauferlegt sind: Es gibt keine Gesetze oder Normen für jegliche Branche, die vorgeben, dass nur ölfreie Kompressoren installiert werden dürfen.

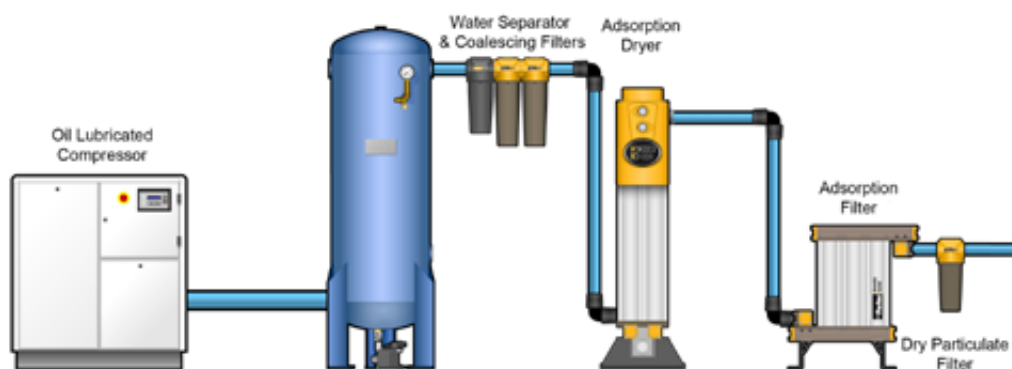
Richtig spezifizieren

Was spezifiziert werden sollte, ist „technisch ölfreie Druckluft“, d. h. ISO 8573-1:2010 Klasse 1 für den Gesamtölgehalt oder ISO 8573-1:2010 Klasse 0 ($0,003 \text{ mg/m}^3$) für den Gesamtölgehalt. Es ist wichtig, zu wissen, dass sich technisch ölfreie Druckluft sowohl mit ölfreien als auch mit ölgeschmierten Kompressoren erzeugen lässt. Leider werden ölgeschmierte Kompressoren aufgrund der Ängste, die durch Werbekampagnen für ölfreie Kompressoren geschürt werden, und der oben genannten Fehleinschätzungen oft nicht in Betracht gezogen.

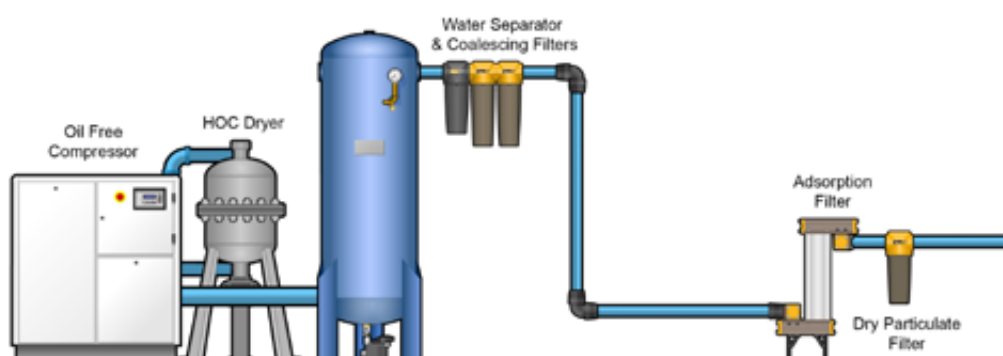
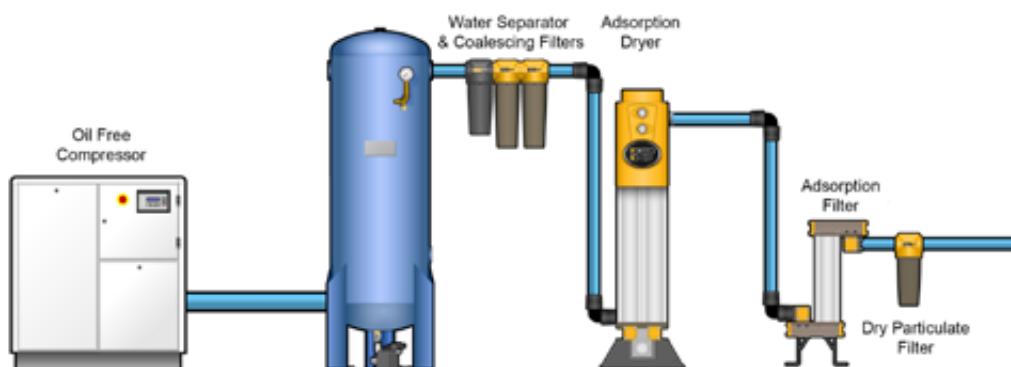


Wie erzeugt man „technisch ölfrei“ Druckluft?

Rund 75 % der weltweit verkauften industriellen Schraubenkompressoren sind ölgeschmiert (mit Öleinspritzung/Kontaktkühlung). Sie werden in der Regel mit nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen (Wasserabscheider und Koaleszenzfilter) installiert, um die Druckluft aufzubereiten und das Öl in flüssiger und Aerosolform zu reduzieren. Für kritische Anwendungen wird zur Abscheidung von Ölnebel auch ein Adsorptionsfilter hinzugefügt. Auf diese Weise aufbereitete Druckluft gilt als „technisch ölfrei“ und die Installation der richtigen Aufbereitungskomponenten erfolgt nach der ISO 8573-1 (der internationalen Norm für die Reinheit von Druckluft), Klasse 0 oder Klasse 1 für den Gesamtölgehalt.



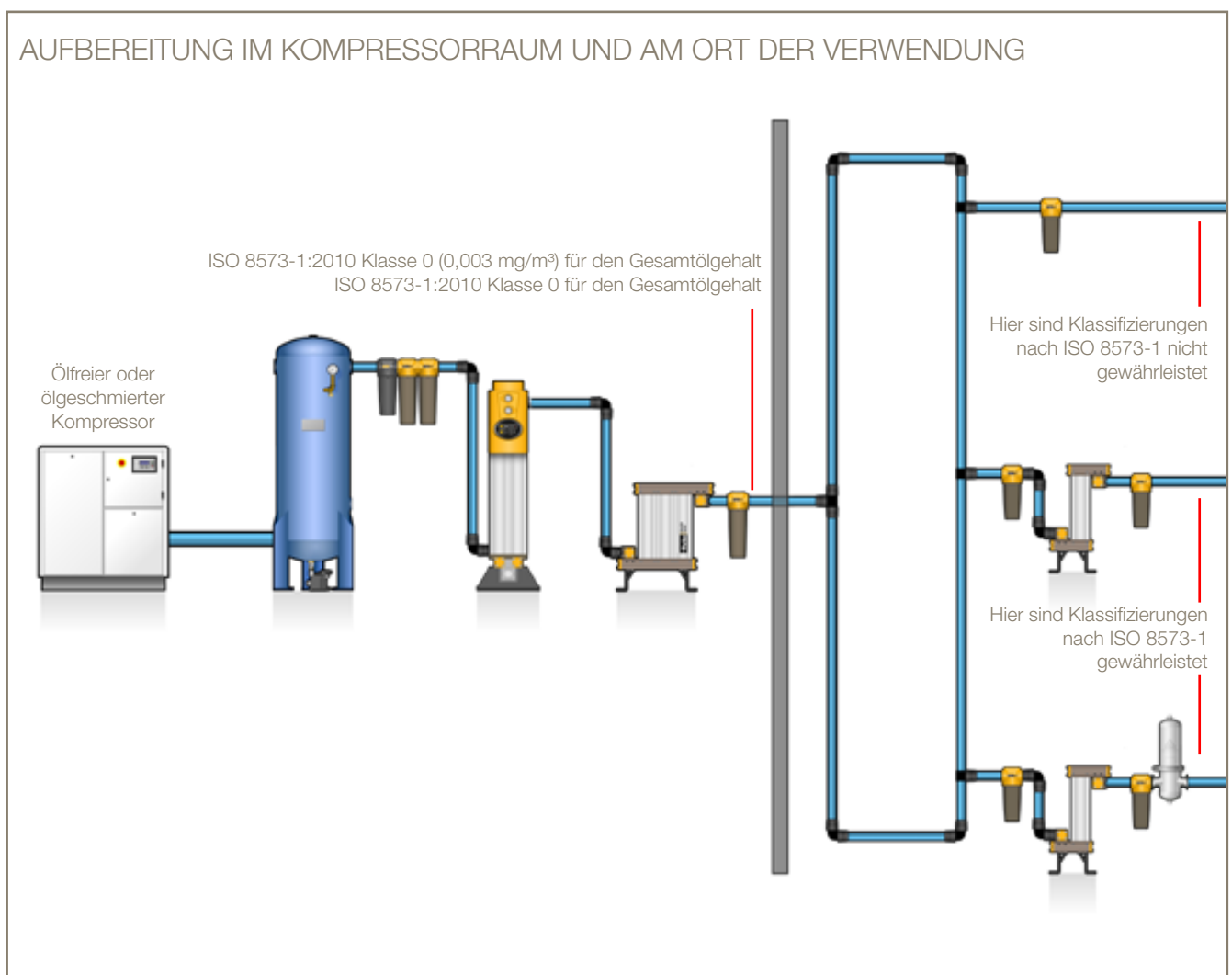
Wenn Anwender bei Verwendung eines ölfreien Kompressors dieselbe „technisch ölfreie“ Luftqualität gemäß ISO 8573-1, Klasse 0 oder Klasse 1 für den Gesamtölgehalt erreichen möchten, müssen dem Kompressor dieselben Aufbereitungskomponenten nachgeschaltet werden. Die Installation einer Aufbereitungsanlage stellt die Abscheidung des vom Kompressor angesaugten Ölnebels sicher (einschließlich des Ölnebels, der zu flüssigem Öl und Ölaerosolen kondensiert).



Wo „technisch ölfreie“ Druckluft spezifiziert werden sollte

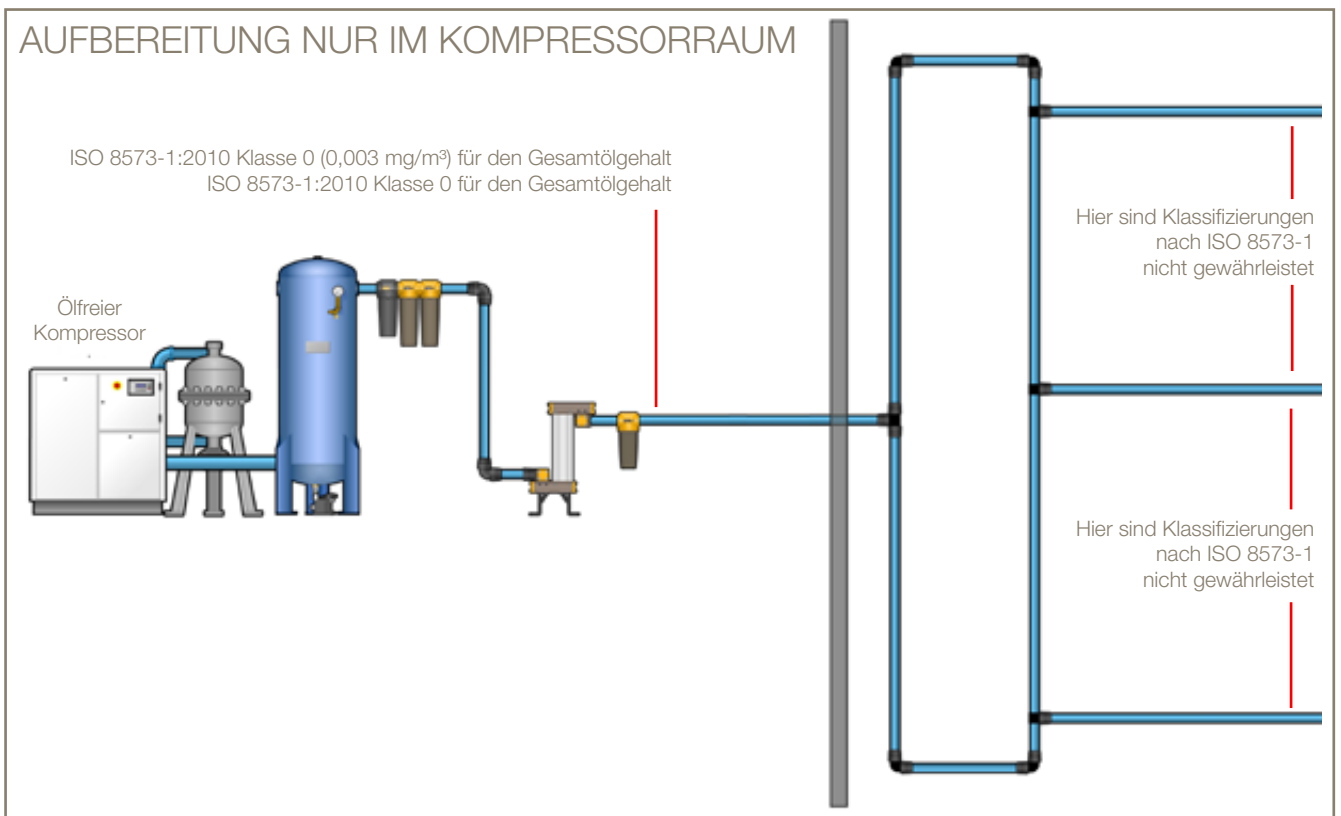
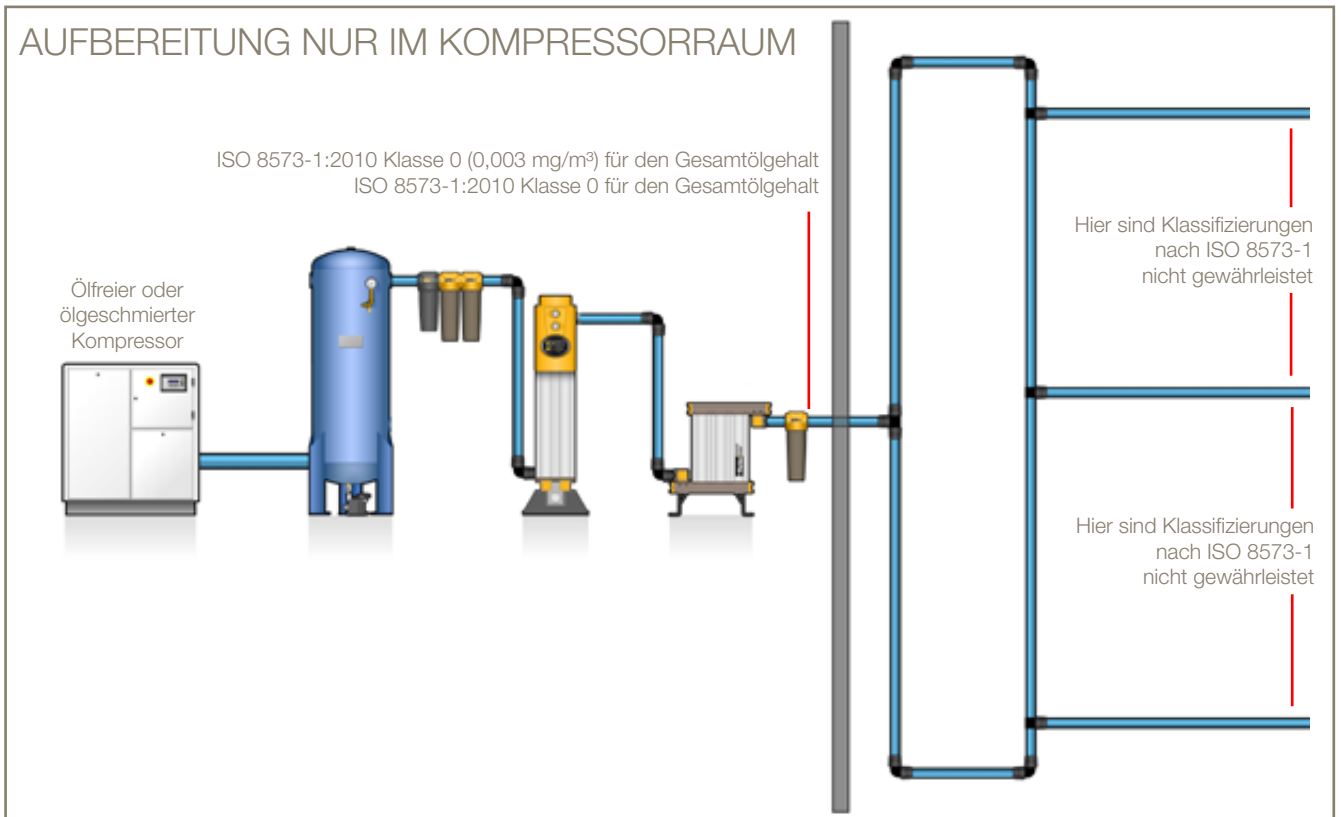
Wo sollte ich meine höchsten Anforderungen an die Luftqualität spezifizieren, im Kompressorraum oder am Ort der Verwendung?

Die Erzeugung „technisch ölfreier Druckluft“ erfordert einen sorgfältigen Ansatz für die Auslegung des Systems. Spezifikationen für die Luftqualität sollten darauf abzielen, die Luft im Kompressorraum aufzubereiten (auf eine Qualität, die die Prozessleitungen vor Kontamination schützt und die Erzeugung von Luft für allgemeine Zwecke ermöglicht) sowie eine zusätzliche Aufbereitung an jeder Verwendungsstelle vorsehen (um kritische Anwendungen zu schützen).



Wichtiger Hinweis: Die Luftreinheit im Kompressorraum kann der gewünschten Luftreinheit an der Verwendungsstelle entsprechen (wie oben gezeigt) oder geringer spezifiziert werden und mittels Aufbereitungsanlagen an der Verwendungsstelle auf die gewünschte Spezifikation gebracht werden.

Bei einer Aufbereitung ausschließlich im Kompressorraum kann die Druckluft Verunreinigungen im Leitungssystem aufnehmen (einschließlich Öl, Partikel und Mikroorganismen). Die spezifizierte ISO-Luftqualität bezieht sich in diesem Fall lediglich auf den letzten Filter und nicht auf die Verwendungsstelle.

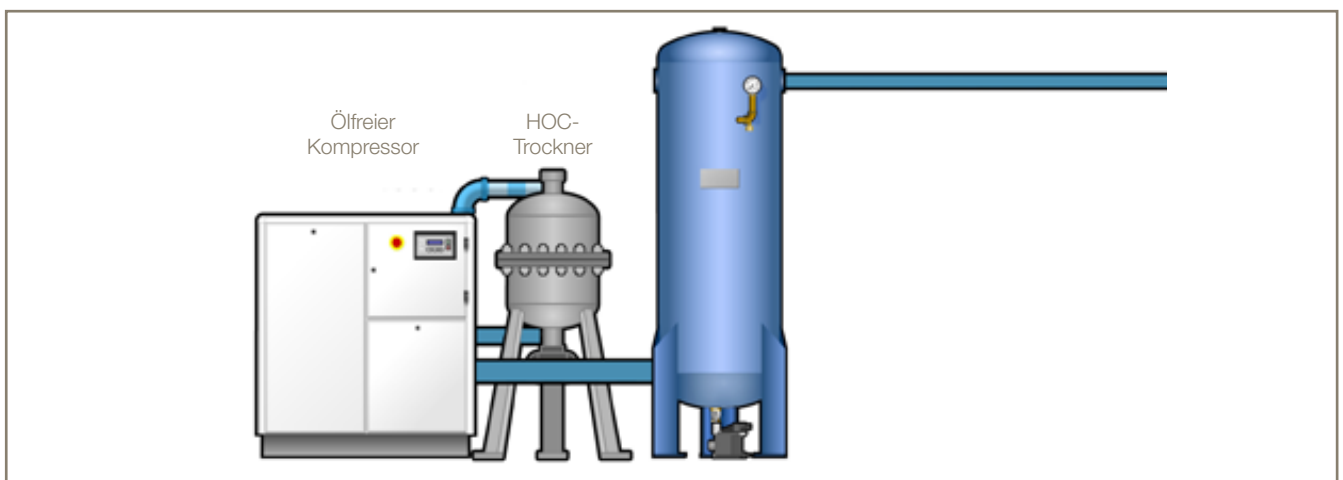


Ölfreie Kompressoren und Kompressionswärme (HOC)-Trockner

Inwiefern unterscheiden sie sich von herkömmlichen Drucklufttrocknern?

Trocknung von Druckluft

Ölfreie Kompressoren werden oft mit einem integrierten Kompressionswärme (Heat of Compression, HOC)-Trockner geliefert. Um diese Technologie zu verstehen, muss man zunächst wissen, warum der Gehalt an Wasserdampf reduziert werden muss, was der „Taupunkt“ ist, wie der Taupunkt sich auf das Wachstum von Mikroorganismen auswirken kann, und was der Unterschied zwischen einem konstanten Taupunkt und der Taupunktunterdrückung ist.



Wasser, Wasser, überall...

Druckluft ist feucht. Nicht aufbereitete Druckluft, die in das Verteilerleitungssystem eintritt, enthält flüssiges Wasser, Wasseraerosole und ist zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt. Wasser ist die problematischste aller Verunreinigungen in Druckluft. Es führt nicht nur zu Schäden durch Korrosion, sondern fördert auch das Wachstum von Mikroorganismen, die das in der Nähe von Druckluftanlagen tätige Personal schädigen sowie Produkte und Prozesse kontaminieren können.

Die Kontrolle des Wassergehalts in Druckluft ist daher von grundlegender Bedeutung. Nahezu alle modernen Druckluftsysteme verwenden Aufbereitungsprodukte, um Verunreinigungen aus der Druckluft abzuscheiden. Zur Reduzierung des Flüssigkeitsgehalts werden Wasserabscheider verwendet, zur Abscheidung von Wasseraerosolen und Öl (sowie von Partikeln) kommen Koaleszenzfilter zum Einsatz und zur Reduzierung des Wasserdampfgehalts werden Druckluftfilter installiert.



Wie trocken ist meine Druckluft?

Die „Trockenheit“ der durch einen Drucklufttrockner aufbereiteten Luft (die Leistung des Trockners) wird als Taupunkt“ an dessen Auslass angegeben. Der Taupunkt ist die Temperatur, bei der es zur Kondensation kommt, und wird als Temperaturwert angegeben.

Der Drucktaupunkt (abgekürzt DTP) bezieht sich auf eine Taupunktmessung der Druckluft beim Betriebsdruck des Systems, während der atmosphärische Taupunkt (ATP) sich auf den Taupunkt von Druckluft bezieht, nachdem sie zurück auf den atmosphärischen Druck entspannt wurde.

Obwohl er als Temperaturwert ausgedrückt wird, entspricht der Taupunkt nicht der tatsächlichen Lufttemperatur. Druckluft mit einer Temperatur von 35 °C kann z. B. einen Drucktaupunkt von -40 °C haben.



Taupunkt von Druckluft und mikrobielles Wachstum

Viele Anwender wissen nicht, dass Druckluftsysteme große Mengen an mikrobiologischen Verunreinigungen enthalten und das warme, feuchte Druckluftsystem eine ideale Wachstums Umgebung darstellt. Der richtige Taupunkt hemmt das Wachstum von Mikroorganismen in Druckluft und ermöglicht so eine effektive Filtration an der Verwendungsstelle zur Reduzierung von Konzentrationen auf ein akzeptables Maß oder Bereitstellung von vollständig steriler Luft.

Auf diesem Grund empfehlen Dokumente wie die „British Compressed Air Society (BCAS) Food and Beverage Grade Compressed Air Best Practice Guideline 102“ einen Drucktaupunkt von ≤ -40 °C für Anwendungen mit direktem Lebensmittelkontakt.



Konstanter Taupunkt oder Taupunktunterdrückung

Was ist der Unterschied?

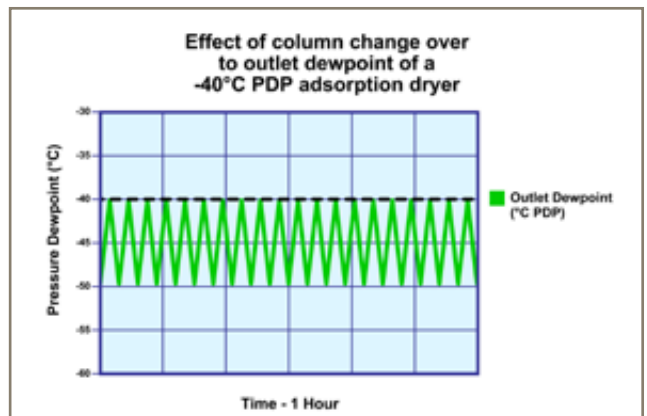
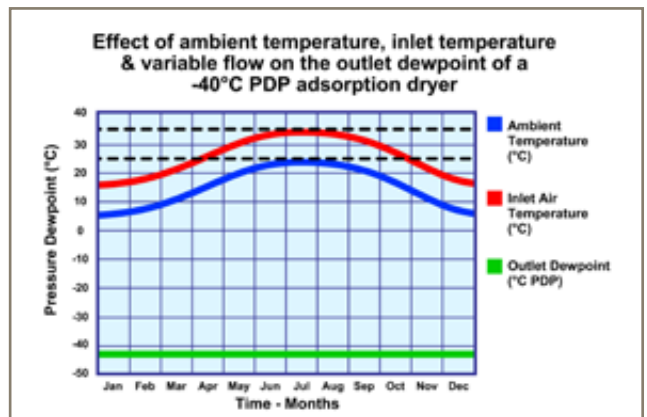
Es sind zahlreiche Arten von Drucklufttrocknern erhältlich. Während allgemein bekannt ist, dass unterschiedliche Technologien unterschiedliche Ausgangstaupunkte bieten (Kältemittel-trockner bieten beispielsweise Ausgangstaupunkte über 3 °C und Adsorptionstrockner Taupunkte unter 0 °C), unterscheiden sie sich auch im Hinblick auf die Gleichmäßigkeit des erzeugten Ausgangstaupunkts. Hersteller legen Trockner so aus, dass sie entweder einen konstanten Ausgangstaupunkt (mit geringer Variation) oder eine Taupunktunterdrückung (mit großen Taupunktschwankungen) bieten.

Konstanter Taupunkt

Um einen konstanten Ausgangstaupunkt zu erzeugen, wird ein Trockner zunächst auf die ungünstigsten Einlass- und Umgebungsbedingungen am Standort des Anwenders (maximale Wasserdampfbelastung) ausgelegt. Die wichtigsten Faktoren für die Auslegung eines Trockners sind die maximale Einlasstemperatur (im Sommer), der minimale Einlassdruck und der maximale Einlassdurchfluss. Die Bemessung des Adsorptionsbetts anhand dieser Parameter gewährleistet, dass das Adsorptionsbett groß genug ist, um die maximale Wasserdampfbelastung des Systems aufzunehmen, sowie gleichzeitig einen gleichbleibenden Taupunkt sicherstellen kann.

Ein Trockner mit einem konstanten Ausgangstaupunkt weist geringe Schwankungen auf, erzeugt jedoch immer einen minimalen Drucktaupunkt. Wenn ein Adsorptionstrockner einen Drucktaupunkt von ≤ -40 °C liefern soll, ist der Drucktaupunkt von -40 °C der schlechtestmögliche Taupunkt. Typischerweise schwankt der Ausgangstaupunkt zwischen -50 °C und -40 °C, was dem Funktionsprinzip des Adsorptionstrockners geschuldet ist.

Der Taupunkt ist zunächst niedrig (-50 °C), wenn die Druckluft nach der Säulenumschaltung über das neu regenerierte Adsorptionsmittel strömt. Die Temperatur der Druckluft fällt dann in Richtung des minimal akzeptablen Taupunkts (in diesem Fall -40 °C) ab, wenn das Adsorptionsmittel den Wasserdampf in der Luft aufnimmt. Der Trockner schaltet automatisch von der aktiven Säule zur regenerierten Säule um, um immer den Drucktaupunkt von -40 °C zu erreichen.



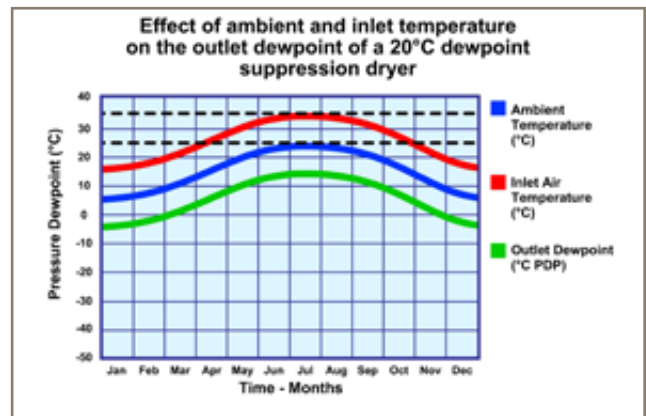
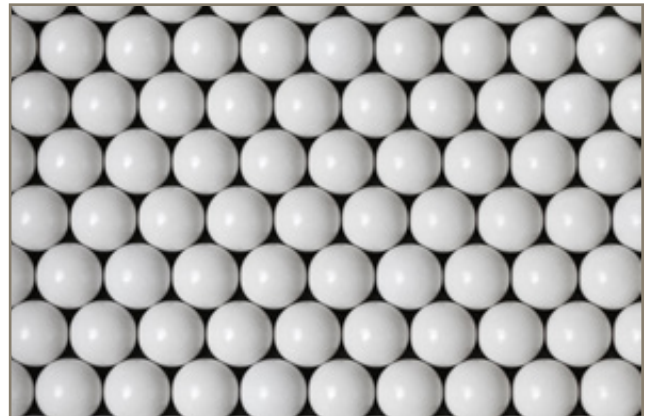
Taupunktunterdrückung

Es sind auch Trockner erhältlich, die auf eine Taupunktunterdrückung ausgelegt sind. Diese werden in der Regel nicht nach Umgebungsbedingungen bemessen, was im Fall von Adsorptionstrocknern zu einer geringeren Menge an Adsorptionsmittel für die Trocknung führt.

Der Vorteil des Verzichts auf die Bemessung für alle Bedingungen ist, dass die Trockner an Orten montiert werden können, in denen größere Trockner mit konstantem Taupunkt keinen Platz finden (z. B. Bremsanlagen in Zügen). Der Nachteil ist, dass der Ausgangstaupunkt eines Trockners mit Taupunktunterdrückung erheblich variieren kann.

Trockner mit Taupunktunterdrückung werden durch Veränderungen der Temperatur der Umgebungsluft und Einlasstemperatur beeinflusst (Wasserdampfbelastung).

Wenn ein Trockner für eine Taupunktunterdrückung von -20 °C ausgelegt ist, reduziert er den Taupunkt auf 20 Grad unterhalb der Drucklufttemperatur. Dieser Wert von -20 °C ist nicht als konstanter Ausgangstaupunkt zu verstehen, was jedoch oft getan wird.



Beispiel: Wenn die Umgebungstemperatur im Sommer 25 °C beträgt und die Drucklufttemperatur im Trockner sich auf 35 °C beläuft, liegt der von einem auf eine Taupunktunterdrückung von -20 °C ausgelegten Trockner erzeugte Taupunkt bei $+15\text{ °C}$ und nicht bei -20 °C , wie oft fälschlich angenommen wird.

Typische Beispiele für Trocknungstechnologien mit Taupunktunterdrückung sind Membrantrockner, kaltregenerierte Trockner mit Taupunktunterdrückung und Kompressionswärme (HOC)-Trockner.



Ölfreie Kompressoren und Kompressionswärme (HOC)-Trockner

Inwiefern unterscheidet sich der erzielte Taupunkt von dem von herkömmlichen Drucklufttrocknern?

Kompressionswärme (HOC)-Trockner

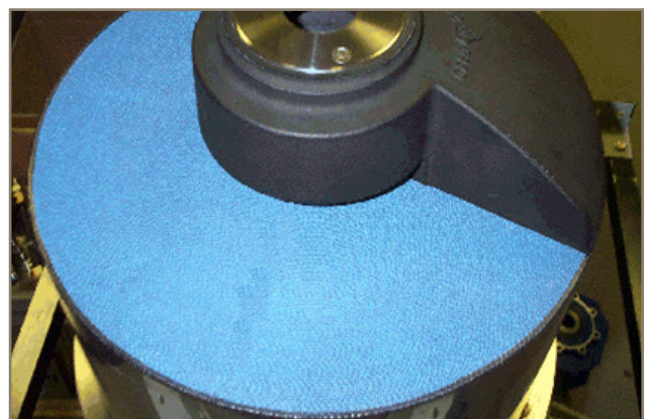
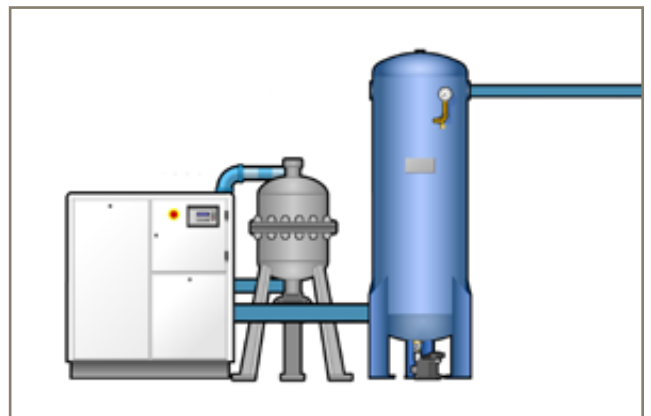
HOC-Trockner sind darauf ausgelegt, die hohen Temperaturen zu nutzen, die beim Betrieb eines ölfreien Schraubenkompressors entstehen.

Trockner dieser Art werden als Trockner mit geringem Energieverbrauch vermarktet, da sie die während des Kompressorbetriebs entstehende Wärme zur Regeneration des Adsorptionsmittels verwenden. Leider wird die von der HOC-Technologie gelieferte Luftqualität (der Taupunkt) oft fehlinterpretiert. Zusätzlich wird in Gesprächen mit Anwendern oft nicht auf die mangelnde Fähigkeit von HOC-Trocknern eingegangen, einen konstanten Ausgangstaupunkt zu erzeugen.

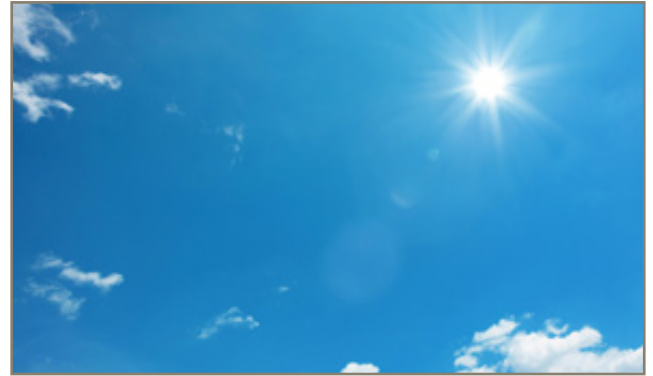
HOC-Trockner sehen nicht immer wie traditionelle Trockner aus. Die Bauweise eines HOC-Trockners basiert typischerweise auf einem Trockner in herkömmlicher Doppelsäulenausführung (mit zwei Hauptvarianten) oder noch häufiger auf einer „Trommel“ mit Adsorptionsmittel, die sich entweder dreht oder über rotierende Trocknungsabschnitte verfügt (typischerweise in drei Varianten erhältlich). Unabhängig von der Bauweise sollten immer die folgenden Punkte beachtet werden, bevor man sich für einen HOC-Trockner entscheidet.

HOC-Trockner und der Ausgangstaupunkt

Anders als traditionelle eigenständige Trockner sind HOC-Trockner in der Regel nicht für Umgebungsbedingungen bemessen. Ihre Adsorptionsbetten sind deutlich kleiner als bei einem Trockner mit konstantem Taupunkt (in der Werbung wird manchmal eine Größe von lediglich 5 bis 10 % von der eines entsprechenden traditionellen Trockners angegeben).



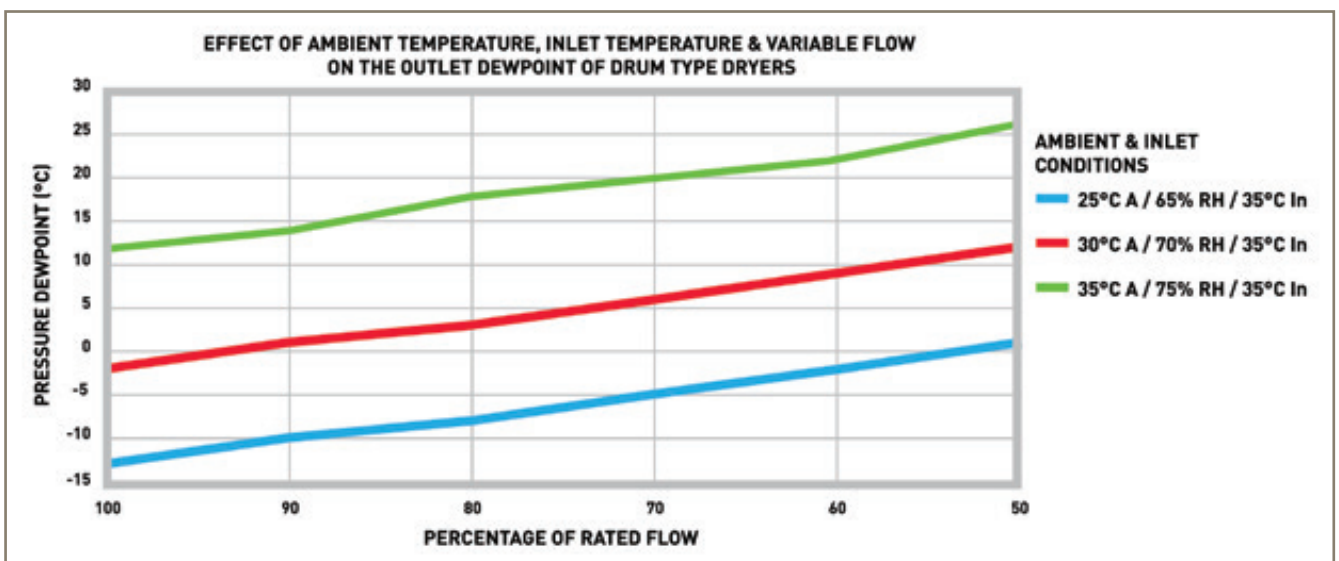
Die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit verändert sich bei Tag und bei Nacht sowie im Verlauf des Jahres. Bei einem Anstieg der Umgebungstemperatur erhöht sich auch die Temperatur der Druckluft beim Eintritt in den Trockner. Höhere Einlasstemperaturen führen zu einer höheren Wasserdampfbelastung. Wenn das Adsorptionsbett des Trockners nicht für die Wasserdampfbelastung im ungünstigsten Fall bemessen wurde, verfügt es über eine unzureichende Adsorptionskapazität und der Trockner kann keinen konstanten Ausgangstaupunkt aufrechterhalten.



HOC-Trockner erfordern außerdem den Betrieb des Kompressors mit der maximalen Förderleistung, um die Wärme zu erzeugen, die zur Regeneration des Adsorptionsmittels benötigt wird. Die Kompressorlast variiert konstant (insbesondere bei energiesparenden Kompressoren mit Drehzahlregelung). Ohne die maximale Wärme für die Regeneration wird das Adsorptionsmittel während der Regeneration nicht vollständig getrocknet. Wenn das Adsorptionsmittel nicht vollständig regeneriert wird, leidet darunter der Ausgangstaupunkt.

Veränderungen der Umgebungstemperatur wirken sich auch auf die Fähigkeit des Regenerationskühlers aus, die Druckluft nach der Regeneration und vor der Trocknung zu kühlen. Wenn diese Luft gesättigt ist, führt dies zu einer zusätzlichen Wasserdampfbelastung des Adsorptionsmittels, was erneut den Ausgangstaupunkt verändert.

Die Fähigkeit des Adsorptionsmittels, Wasserdampf aufzunehmen, verschlechtert sich bei hohen Temperaturen deutlich. Bei HOC-Trocknern in Trommelausführung führt dies dazu, dass der heiße Regenerationsabschnitt sich ohne vorherige Kühlung in den Trocknungsabschnitt dreht. Aufgrund der hohen Regenerationstemperatur nimmt das Adsorptionsmittel nicht genügend Wasserdampf auf, bis es durch die einströmende Druckluft ausreichend gekühlt wird. Dies reduziert die verfügbare Menge an wirksamem Adsorptionsmittel und beeinträchtigt den Ausgangstaupunkt.



Ausgangstaupunkt von HOC-Trocknern

Die Kombination aus einem kleineren Adsorptionsbett, einer konstant schwankenden Kompressorlast und ineffizienter Kühlung führt zu einem sich konstant verändernden Taupunkt und somit zu einer Taupunktunterdrückung anstelle eines konstanten Taupunkts.

Warum einen Trockner mit einem konstanten Ausgangstaupunkt wählen?

Kritische Anwendungen in der Lebensmittel-, Getränke- und Pharmaindustrie, z. B. Anwendungen mit direktem Kontakt zwischen der Druckluft und Inhaltsstoffen, fertigen Produkten, Produktionsanlagen und Verpackungen, erfordern entweder Sterilität oder eine umfassende Kontrolle über das Wachstum von Mikroorganismen.

Es wurde festgestellt, dass Druckluft mit einem Taupunkt unter -26 °C das Wachstum von Mikroorganismen hemmt und daher ein garantierter minimaler Ausgangstaupunkt immer erforderlich ist. Auf diesem Grund empfehlen von der British Compressed Air Society (Food & Beverage Grade Compressed Air - Best Practice Guideline 102) & EHEDG veröffentlichte Dokumente einen Drucktaupunkt von $\leq -40\text{ °C}$.

Mit dem sich stetig verändernden Taupunkt eines Trockners mit Taupunktunterdrückung oder HOC-Trockners kann kein ausreichend geringer Taupunkt zur Unterdrückung des Wachstums von Mikroorganismen gewährleistet werden.



Wie finde ich heraus, ob ich einen Trockner mit konstantem Taupunkt oder mit Taupunktunterdrückung habe?

Leider geben Hersteller oft nicht an, ob es sich bei ihrem Produkt um Trockner mit konstantem Taupunkt oder mit Taupunktunterdrückung handelt. Es wird oft davon ausgegangen, dass der von einem Hersteller angegebene Taupunkt durchgängig erreicht wird, dies ist jedoch leider nicht immer der Fall.

Eine einfache Lösung ist zu prüfen, ob der Trocknerhersteller eine Taupunktklassifizierung gemäß der Norm ISO 8573-1 für Wasser angibt. Die ISO 8573-1 ist die internationale Norm für Druckluftreinheit (Qualität) und umfasst 6 Taupunktklassifizierungen in Bereichen von -70 °C bis +10 °C.

ISO 8573-1:2010-Klassifizierung für Wasser	Drucktaupunkt	Taupunktbereich
Klasse 1	≤ -70 °C DTP	-80 °C bis -70 °C
Klasse 2	≤ -40 °C DTP	-69 °C bis -40 °C
Klasse 3	≤ -20 °C DTP	-39 °C bis -20 °C
Klasse 4	≤ +3 °C DTP	-19 °C bis +3 °C
Klasse 5	≤ +7 °C DTP	+4 °C bis +7 °C
Klasse 6	≤ +10 °C DTP	+8 °C bis +10 °C

Damit ein Hersteller angeben kann, dass ein Trockner eine Klassifizierung nach ISO 8573-1 bietet, muss der Trockner den Taupunkt innerhalb des Bereichs einer Klassifizierung konstant erzeugen.

Für einen Trockner mit konstantem Ausgangstaupunkt wird in der Regel eine Klassifizierung nach ISO 8573-1 angegeben, weil der Taupunkt klar in einen definierten Bereich fallen kann. Bei einem Trockner mit Taupunktunterdrückung oder HOC-Trockner kann hingegen meist keine Klassifizierung nach ISO 8573-1 angegeben werden, da der Ausgangstaupunkt zu stark variiert.

Überprüfen des Taupunkts

Um zu überprüfen, ob ein Trockner den vereinbarten Ausgangstaupunkt bietet, können Anwender einen Trockner mit einem Taupunkthygrometer installieren oder ein dem Trockner nachgeschaltetes separates Hygrometer verwenden.

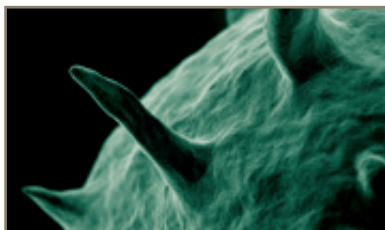
Es geht nicht um Öl

Öl in einem Druckluftsystem ist für den Anwender nicht das größte Problem. Druckluftsysteme enthalten mindestens 10 Verunreinigungen, die eine Behandlung erfordern und aus verschiedenen Quellen stammen (nicht nur aus dem Kompressor).



Durch den Kompressor verursachte Verunreinigungen

- Wasseraerosole
- Kondensiertes flüssiges Wasser
- Flüssiges Öl und Ölaerosole
- Ölnebel



Mikroorganismen

Die Umgebungsluft kann bis zu 100 Millionen Mikroorganismen pro Kubikmeter enthalten. Aufgrund ihrer geringen Größe gelangen Bakterien, Viren, Pilze und Sporen durch die Ansaugfilter und in das Druckluftsystem. Die warme, feuchte

Umgebung innerhalb des Luftbehälters und der Verteilungsleitungen bietet eine ideale Umgebung für deren schnelles Wachstum. Mikroorganismen können sich in Kompressorkondensat stark vermehren, sodass bei der Ableitung von Kondensat Vorsicht geboten ist.



Wasserdampf

Wasser gelangt in Form von Dampf (oder Gas) in das Druckluftsystem. Die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu binden, variiert je nach Druck und Temperatur. Je höher die Temperatur, desto mehr Wasserdampf kann

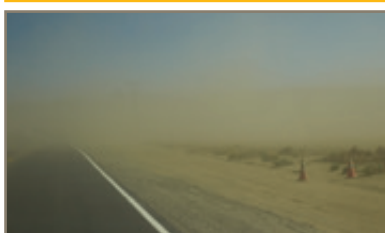
die Luft binden; je höher der Druck, desto mehr Wasserdampf wird herausgedrückt. Wenn Umgebungsluft verdichtet wird, steigt die Temperatur der Luft an, die nun mehr Wasserdampf halten kann.



Ölnebel

Fahrzeugabgase und ineffiziente industrielle Prozesse führen zur Verunreinigung der Umgebungsluft mit Ölnebel. Die typischen Konzentrationen in der Umgebungsluft mögen gering erscheinen (0,05 bis 0,5 mg pro Kubikmeter). Die in Druckluft gemessenen Werte fallen jedoch nach der Verdichtung, bei der die Verunreinigungen

konzentriert werden, deutlich höher aus. In einem Druckluftsystem kann Ölnebel Inhaltsstoffe verunreinigen sowie einen öligen Geruch auf fertigen Produkten und Verpackungen hinterlassen. Durch die Kühlung kann Ölnebel außerdem zu flüssigem Öl kondensieren und Ölaerosole bilden.



Atmosphärische Partikel

Die Umgebungsluft in industriellen und städtischen Umgebungen enthält in der Regel 140 bis 150 Millionen Schmutzpartikel pro Kubikmeter. 80 % dieser Partikel sind

kleiner als 2 µm und damit zu klein, um vom Luftansaugsfilter des Kompressors aufgefangen zu werden, sodass sie ungehindert in das Druckluftsystem gelangen.

Umgebungsluft enthält zahlreiche unsichtbare Verunreinigungen, die ebenfalls in den Lufteinlass des Kompressors eingesaugt werden. Sobald sie sich im Druckluftsystem befinden, verändern viele der Schadstoffe aus der Umgebungsluft ihre Phase, was zur Bildung von weiteren Verunreinigungen führt.

Verunreinigungen, die durch den Druckluftbehälter und die Verteilerleitungen eingeleitet werden

- Rost
- Abrieb

Summe der Verunreinigungen, die in das Druckluft-Verteilersystem gelangen

- Mikroorganismen
- Wasserdampf
- Atmosphärische Partikel
- Ölnebel (Kohlenwasserstoffe & FOV)
- Wasseraerosole
- Kondensiertes flüssiges Wasser
- Flüssiges Öl
- Ölaerosole
- Rost
- Abrieb

Verunreinigungsquelle Nr. 4 Die Verteilerleitungen



Flüssiges Wasser und Wasseraerosole

Nach der Verdichtungsphase wird die Luft durch einen Nachkühler auf eine nutzbare Temperatur abgekühlt. Diese Abkühlung verringert die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu binden, sodass ein Teil des Wasserdampfs zu flüssigem Wasser kondensiert. Das Vorhandensein von Flüssigkeit führt auch zur Bildung von Aerosolen.

Nachkühler umfassen in der Regel einen Wasserabscheider, um die Menge an Flüssigkeit, die in das System gelangt, zu reduzieren (sie scheiden die kondensierte

Flüssigkeit nicht zu 100 % ab und wirken sich nicht auf Aerosole aus).

Die Luft, die den Nachkühler verlässt und in der Druckluftsystem gelangt, ist nun zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt. Jede weitere Kühlung der Druckluft führt dazu, dass mehr Wasserdampf zu flüssigem Wasser kondensiert und mehr Aerosole entstehen.

Kondensation tritt in verschiedenen Phasen im ganzen System auf, während die Luft durch den Luftbehälter, die Verteilerleitungen und die Ausdehnung der Luft in Ventilen, Zylindern und Produktionsanlagen weiter gekühlt wird.



Flüssiges Öl und Ölnebel

Wie Wasser wird mit der Umgebungsluft angesaugter Ölnebel im Nachkühler abgekühlt und kondensiert, was zur Bildung von Öl und Ölaerosolen führt (auch bei ölfreien Kompressoren), die in das nachgeschaltete System mitgeschleppt werden.

Bei den meisten Luftkompressoren wird in der Verdichtungsphase Öl zum Abdichten,

Schmieren und Kühlen eingesetzt. Obwohl das Öl während der Verdichtung in direktem Kontakt mit der Luft ist, gelangt dank der Effizienz moderner, in den Kompressor integrierten Luft-/Ölabscheider nur ein geringfügiger Teil des Schmieröls als Flüssigkeit, als Aerosol (bei einem gut gewarteten Schraubenverdichter typischerweise maximal 5 mg/m³) oder als Ölnebel in das Druckluftsystem.



Rost und Abrieb

Rost und Abrieb stehen in direktem Zusammenhang mit Wasser im Druckluftsystem und finden sich in der Regel in Luftbehältern und Verteilerleitungen. Mit der Zeit lösen sich Rost und Abrieb und verursachen Schäden oder eine Blockierung von Produktionsanlagen,

wodurch auch das Endprodukt und Prozesse verschmutzt werden können. Rost und Abrieb treten oft verstärkt nach der Installation von Trocknern in älteren Leitungssystemen auf, die zuvor mit unzureichenden oder ohne Aufbereitungsanlagen betrieben wurden.

Reduzierung von Verunreinigungen

Um ein Druckluftsystem sicher und kosteneffektiv zu betreiben, müssen Verunreinigungen entfernt oder auf einen akzeptablen Umfang reduziert werden.

Minderwertige Druckluftqualität und die unzureichende Kontrolle von Verunreinigungen können für ein Unternehmen zu zahlreichen Problemen führen, von denen viele nicht sofort mit verunreinigter Druckluft in Verbindung gebracht werden.

Produkt

- Kontaminierte Rohstoffe
- Kontaminierte Produkte
- Kontaminierte Verpackung
- Produktausschuss

Endverbraucher

- Potenzielles Unwohlsein/schwere Erkrankungen von Verbrauchern
- Unzufriedene Kunden

Hersteller

- Schädigung der Marke
- Klagen
- Finanzielle Verluste
- Potenzielle Haftstrafen (in bestimmten Branchen)

Herstellungsprozesse

- Ineffiziente Produktionsprozesse
- Reduzierte Produktionseffizienz
- Höhere Produktionskosten
- Nichtbestehen von Qualitätsaudits (in bestimmten Branchen)

Druckluftsystem

- Wachstum, Einnistung und Verteilung von mikrobiologischen Verunreinigungen
- Korrosion in Behältern und im Luftverteilersystem
- Kontaminierte/beschädigte Produktionsanlagen
- Blockierte oder eingefrorene Ventile und Zylinder
- Frühzeitiger ungeplanter Wechsel des Trockenmittels bei Adsorptionstrocknern
- Hohe Betriebs- und Wartungskosten

Verunreinigungskontrolle

Die Gewährleistung einer wirksamen Kontrolle von Druckluftverunreinigungen erfordert eine Reihe von Aufbereitungstechnologien. Viele Druckluftanwender zeigen sich von der Feststellung überrascht, dass es in einem Druckluftsystem zehn Hauptarten von Verunreinigungen gibt. Es wird oft davon ausgegangen, dass nur drei Verunreinigungen vorhanden sind (Schmutz/Wasser/Öl). Da diese Verunreinigungen jedoch in verschiedenen Phasen auftreten können, erfordern sie zur effizienten Reduzierung spezifische Aufbereitungstechnologien.

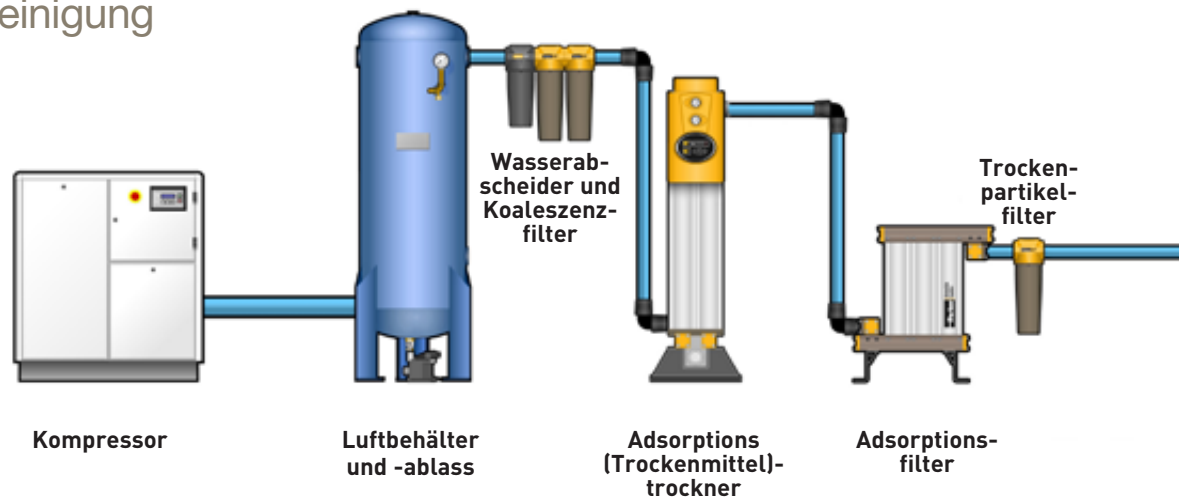
In der folgenden Tabelle sind Filtrations- und Trocknungstechnologien nach Aufbereitungssystemen und den Verunreinigungen aufgeführt, die sie reduzieren.

Aufbereitungstechnologien	Verunreinigungen								
	Atmosphärische Partikel	Rost und Abrieb	Mikroorganismen	Flüssiges Wasser	Wasser-aerosol	Wasser-dampf	Flüssiges Öl	Öl aerosol	Öl nebel
Wasserabscheider				●			●		
Koaleszenzfilter	●	●	●		●			●	
Adsorptionsfilter									●
Dryer						●			
Trockenpartikelfilter	●	●	●						
Sterilfilter*			●						



Eine Lösung für jede Verunreinigung

Kompressorraum



Wasserabscheider

Obwohl sie als Wasserabscheider bezeichnet werden, reduzieren Sie den Gehalt an allen Flüssigkeiten am Installationspunkt. Flüssigkeit in einem Druckluftsystem ist in der Regel eine Mischung aus Öl und Wasser (auch bei Verwendung eines ölfreien Kompressors).

Wasserabscheider sind in der Regel die erste Aufbereitungskomponente nach einem Nachkühler oder Luftbehälter für feuchte Luft und sollten verwendet werden, um Koaleszenzfilter vor Kontamination durch Flüssigkeiten zu schützen. Sie reduzieren nur den Gehalt an Flüssigkeiten und wirken sich nicht auf Wasser oder Öl in einer Aerosol- oder Dampf-/Nebelphase aus.

Koaleszenzfilter

Bei der Konzeption von Aufbereitungsanlagen sind Koaleszenzfilter für den kosteneffektiven Betrieb eines Druckluftsystems unabhängig vom installierten Kompressortyp unverzichtbar.

Ein Aufbereitungssystem besteht in der Regel aus zwei nacheinander installierten Koaleszenzfiltern zur Abscheidung von Wasser- und Ölaerosolen, atmosphärischen Partikeln, Mikroorganismen, Rost und Abrieb.

Drucklufttrockner

Bei Wasserdampf handelt es sich um Wasser in gasförmigem Zustand, das Wasserabscheider und Koaleszenzfilter genauso einfach wie die Druckluft durchströmt. Wasserdampf wird daher mithilfe

eines Trockners aus der Druckluft entfernt. Der Wirkungsgrad bei der Dampfabscheidung eines Trockners (seine Leistung) wird als Drucktaupunkt oder DTP bezeichnet.

- Als Taupunkt wird die Temperatur bezeichnet, bei der es zur Kondensation kommt.
- Als Drucktaupunkt oder DTP wird der Taupunkt von Luft über atmosphärischem Druck bezeichnet.
- Der Taupunkt wird als Temperaturwert ausgedrückt (entspricht jedoch nicht der tatsächlichen Lufttemperatur).
- Druckluft mit einem Drucktaupunkt von -20 °C müsste auf eine Temperatur unter -20 °C fallen, damit der enthaltene Wasserdampf zu einer Flüssigkeit kondensiert.
- Ein Drucktaupunkt von -40 °C wird für alle Lebensmittel-, Getränke- und pharmazeutischen Anwendungen empfohlen, bei denen Luft in direkten oder indirekten Kontakt mit Produktionsanlagen, Inhaltsstoffen, Verpackungen oder fertigen Produkten kommt, da ein Drucktaupunkt unter -26 °C nicht nur die Korrosion stoppt, sondern auch das Wachstum von Mikroorganismen hemmt.

Adsorptionstrockner

Adsorptionstrockner entfernen Wasserdampf in Druckluft, indem die Luft über ein regeneratives Trockenmittel geführt wird, das die Feuchtigkeit aus der Luft zieht. Diese Trocknungsmethode ist äußerst effizient. Der typische Drucktaupunkt bei Adsorptionstrocknern beträgt -40 °C und beugt nicht nur Korrosion vor, sondern hemmt vor allem auch das Wachstum von Mikroorganismen.

Es gibt viele Arten von Adsorptionstrocknern und obwohl sie alle dasselbe Prinzip zur Entfernung von Feuchtigkeit aus Druckluft verwenden, kommen eine Reihe verschiedener Methoden zur Regeneration des feuchten Adsorptionsmittels zum Einsatz. Für Lebensmittel- und Getränkeanwendungen ist bei der Auswahl eines Adsorptionstrockners sorgsam vorzugehen, da manche Regenerationsmethoden sich auf den Verunreinigungsgrad der Druckluft auswirken.

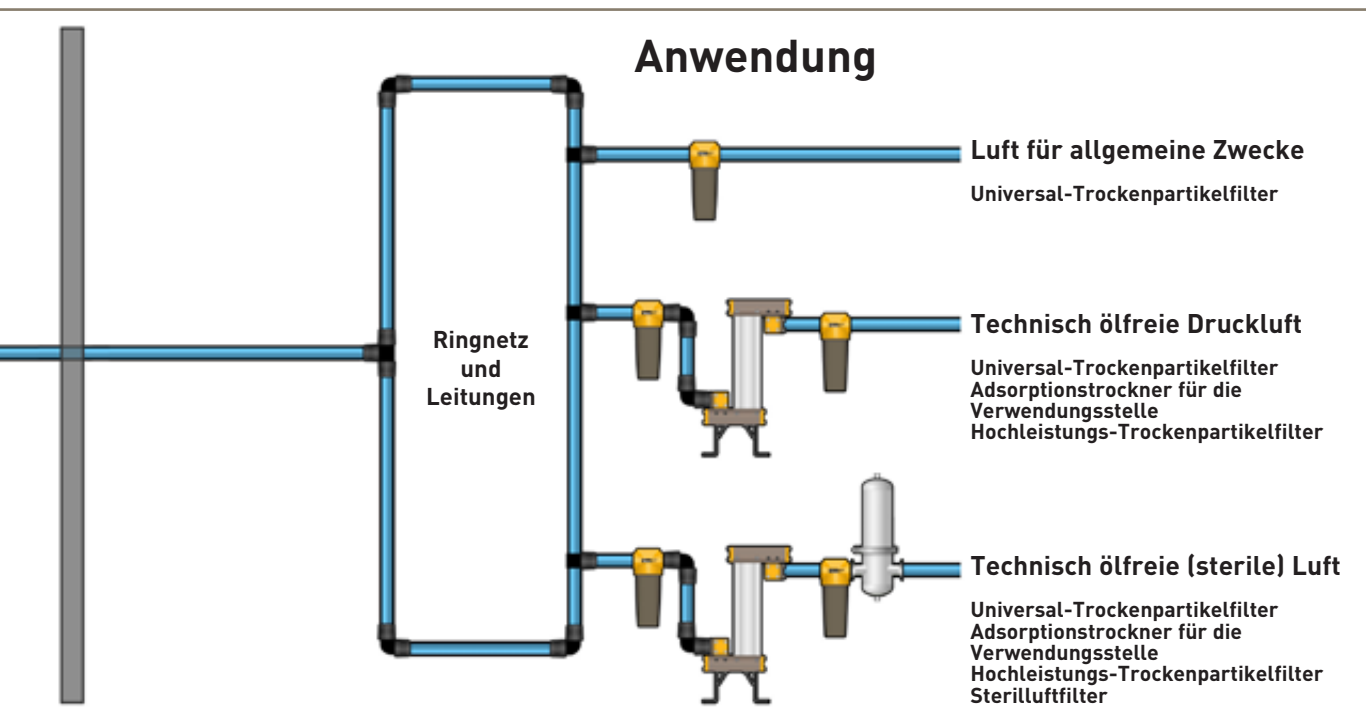
Kältetrockner (nicht abgebildet)

Kältetrockner kühlen die Druckluft weiter ab und kondensieren den Wasserdampf zu Flüssigkeit, die durch einen Wasserabscheider abgeschieden werden kann. Kältetrockner sind auf Drucktaupunkte über 0 Grad beschränkt, um ein Gefrieren der kondensierten Flüssigkeit zu vermeiden. Sie kommen meist in allgemeinen industriellen Anwendungen ohne Leitungen im Innenraum zum Einsatz.

Sie sollten nicht in Anlagen verwendet werden, in denen Leitungen in Bereichen mit Umgebungstemperaturen verlegt sind, z. B. Systeme mit externen Luftbehältern oder Rohren.

Adsorptionsfilter

Um „technisch ölfreie Druckluft“ sicherzustellen, kommen Adsorptionsfilter zum



Einsatz, die über ein großes Aktivkohlebett zur effektiven Abscheidung von Ölnebel verfügen.

Die Kombination aus Koaleszenzfiltern und Adsorptionsfiltern liefert Druckluft gemäß den höchsten Luftqualitätsklassen der ISO 8573-1, der internationalen Norm für Druckluftqualität.

Trockenpartikelfilter

Trockenpartikelfilter bieten eine ebenso wirksame Partikelabscheidung wie entsprechende Koaleszenzfilter. Hochleistungs-Trockenpartikelfilter beruhen auf mechanischer Filtrationstechnik und können Partikel bis zu einer Größe von 0,01 µm bei einer Abscheidungseffizienz von bis zu 99,9999 % entfernen. In Verbindung mit einem Drucktaupunkt von -40 °C zur Hemmung und Kontrolle des Wachstums von Mikroorganismen können sie für eine deutliche Reduzierung von mikrobiologischen Verunreinigungen sorgen.

Sterilfilter

Durch einen Siebabscheidungs- oder Membranfilter werden Feststoffpartikel und Mikroorganismen vollständig (zu 100 %) entfernt. Sie werden oft als Sterilluftfilter bezeichnet, da sie sterilisierte Druckluft produzieren. Die Filtergehäuse werden aus Edelstahl hergestellt, um eine Dampfsterilisation des Filtergehäuses und -elements vor Ort zu ermöglichen. Es ist zu beachten, dass die Rohrleitung zwischen dem Sterilfilter und der Anwendung ebenfalls regelmäßig gereinigt und sterilisiert werden muss.

Wichtige Hinweise:

Da Adsorptionstrockner und Kältetrockner nur für die Reduzierung von Wasserdampf und nicht von Wasser in flüssiger oder Aerosolform vorgesehen sind, muss für eine effiziente Funktion zusätzlich ein Koaleszenzfilter eingesetzt werden.

Lieferanten von ölfreien Kompressoren behaupten oft, dass es sich bei einem der Koaleszenzfilter um einen Partikelfilter und bei dem anderen um einen Ölabscheidefilter handelt, sodass der zweite Filter bei Anlagen mit ölfreien Kompressoren nicht benötigt wird. Das trifft jedoch nicht zu.

In Wirklichkeit entfernen beide Filter exakt dieselben Verunreinigungen. Der erste dient als „Universalfilter“, der den zweiten „Hochleistungsfilter“ vor größerer Verschmutzung schützt.

Einen der Filter in dem Glauben wegzulassen, dass es sich um einen Ölabscheidefilter handelt, führt zu unzureichender Druckluftqualität durch Mitreißen von Verunreinigungen, hohen Betriebskosten infolge von Druckverlusten im Filter und häufigeren Wechseln des Filterelements. Vor allem erleiden durch den Wegfall eines Filters die Leistungsgarantien.

Die Doppelkoaleszenzfilter-Technik stellt die unterbrechungs-freie Versorgung mit hochwertiger Druckluft sicher und bietet im Vergleich mit einem einzelnen Hochleistungsfilter als zusätzliche Vorteile geringe Betriebskosten und minimalen Instandhaltungsaufwand.

Kältetrockner werden für Lebensmittel- und Getränkeanwendungen, in denen Druckluft in direkten (oder indirekten) Kontakt mit Inhaltsstoffen, Produktionsanlagen, Fertigprodukten oder Verpackungen kommt, nicht empfohlen, da die erzeugten Druckpunkte nicht ausreichen, um mikrobiologisches Wachstum zu hemmen.

Kältetrockner sind in der Regel mit angegebenen Taupunkten von +3 °C, +7 °C oder +10 °C erhältlich. Bei der Auswahl dieses Trocknertyps ist jedoch Vorsicht geboten, da der angegebene Taupunkt anders als bei Adsorptionstrocknern nicht konstant eingehalten wird. Integrierte Taupunktmessgeräte sind meist einfache Temperaturmessgeräte und geben keinen echten Drucktaupunkt an, der oft im Bereich von 8 °C bis 15 °C liegt.

FAQs und Was-wäre-wenn-Szenarien

Verwendet der Luftkompressor Öl in der oder den Verdichterstufe(n)?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Nein

Verwendet der Luftkompressor Öl zur Schmierung von Lagern/Getrieben?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Ja

Kann der Kompressor mit lebensmitteltauglichem Schmieröl betrieben werden?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Nein

Kann der Kompressor durch Öl aus der Kurbelgehäuse-Entlüftung kontaminiert werden?	
Ölgeschmiert	Nicht zutreffend
Ölfrei	Ja

Ist der Kompressor mit einem Luft-/Ölabscheider ausgestattet?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Nein

Wenn der Luft/Öl-Abscheider ausfällt, kann Öl in das nachgeschaltete System mitgeschleppt werden?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Nicht zutreffend

Verfügt der Kompressor über Dichtungen, die verhindern, dass die Druckluft mit Schmieröl verunreinigt wird?	
Ölgeschmiert	Nicht zutreffend
Ölfrei	Ja

Wenn die Dichtungen versagen, kann Öl in das nachgeschaltete System mitgeschleppt werden?	
Ölgeschmiert	Nicht zutreffend
Ölfrei	Ja

Wenn ein Ausfall das Eindringen von flüssigem Öl in das nachgeschaltete System ermöglicht, an welchem Punkt ist die erste Maßnahme durchzuführen, die verhindert, dass die Kontaminierung Prozesse/Produkte/Verpackungen erreicht?	
Ölgeschmiert	Luftbehälter + Kondensatableiter
Ölfrei	Luftbehälter + Kondensatableiter

FAQs und Was-wäre-wenn-Szenarien

Umfasst die Installation typischerweise eine zusätzliche nachgeschaltete Aufbereitung?	
Ölgeschmiert	Ja
ölfrei	Nein

Welche zusätzliche nachgeschaltete Aufbereitung gibt es?	
Ölgeschmiert	Wasserabscheider Universalkoaleszenzfilter Hochleistungs-Koaleszenzfilter Adsorptionstrockner Trockenpartikelfilter Ölnebel-Abscheidefilter
ölfrei	Nicht zutreffend

Wenn aufgrund eines Ausfalls freies Öl aus dem Kompressor austritt, welche Verunreinigungen reduzieren die nach dem Luftbehälter installierten Aufbereitungskomponenten?	
Ölgeschmiert	Wasserabscheider = flüssiges Wasser und flüssiges Öl Universalkoaleszenzfilter = Ölaerosole bis zu 0,5 mg/m ³ Hochleistungs-Koaleszenzfilter = Ölaerosole bis zu 0,01 mg/m ³ Adsorptionstrockner = stoppt Aerosole/flüssiges Öl, muss jedoch danach gewartet werden Trockenpartikelfilter = koalesziert ebenfalls flüssiges Öl, sofern noch vorhanden Ölnebel-Abscheidefilter = Ölnebel ≤ 0,003 mg/m ³
ölfrei	Keine, die Verunreinigung gelangen in das nachgeschaltete System

Sind ausreichende Aufbereitungskomponenten vorgesehen, um den Ölnebel in der Umgebungsluft abzuscheiden, der in den Kompressoreinlass eingesaugt und während der Verdichtung konzentriert wird?	
Ölgeschmiert	Ja
ölfrei	Nein

Liefert die typische Installation „technisch ölfreie Druckluft“ an der Verwendungsstelle?	
Ölgeschmiert	Ja, mit den aufgeführten zusätzlichen Aufbereitungskomponenten (≤ 0,003 mg/m ³ Öl gemäß ISO 8573-1 Klasse 0 für den Gesamtölgehalt)
ölfrei	Nein

Beinhaltet die Kompressoreinheit einen integrierten Trockner zur Reduzierung von Wasserdampf oder ist der Trockner extern spezifiziert?	
Ölgeschmiert	Extern
ölfrei	Integriert

FAQs und Was-wäre-wenn-Szenarien

Handelt es sich um einen Trockner mit konstantem Taupunkt oder mit Taupunktunterdrückung?	
Ölgeschmiert	Konstant (typischerweise ≤ -40 °C DTP mit Option für ≤ -70 °C DTP oder ≤ -20 °C DTP)
Ölfrei	Unterdrückung, starke Veränderungen des Taupunkts abhängig von der Kompressorlast und Veränderungen der Umgebungstemperatur/relativen Luftfeuchtigkeit

Wird der erzeugte Taupunkt durch Veränderungen der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit beeinflusst?	
Ölgeschmiert	Nein
Ölfrei	Ja, durch Veränderungen der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit

Reicht der erzeugte Taupunkt aus, um das Wachstum von Mikroorganismen zu hemmen (< -26 °C DTP)?	
Ölgeschmiert	Ja
Ölfrei	Nein

Erfordert der Trockner den Betrieb Kompressors für die Regeneration?	
Ölgeschmiert	Nein, die Trocknerregeneration ist vom Kompressorbetrieb unabhängig
Ölfrei	Ja, oder der Taupunkt wird beeinflusst

Sonstige zu berücksichtigende gasförmige Verunreinigungen

Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid entsteht als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und ist ebenfalls in der Umgebungsluft vorhanden, die in den Kompressor eingesaugt wird. Das Öl in einem ölgeschmierten Kompressor bietet den zusätzlichen Vorteil, dass es durch den Lufterlass des Kompressors angesaugtes Schwefeldioxid (SO₂) neutralisieren kann.

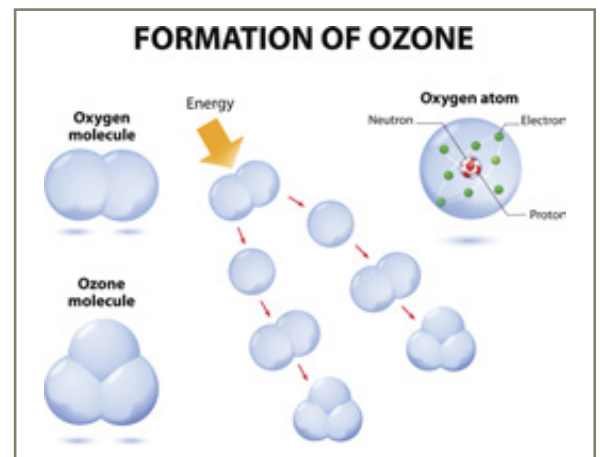
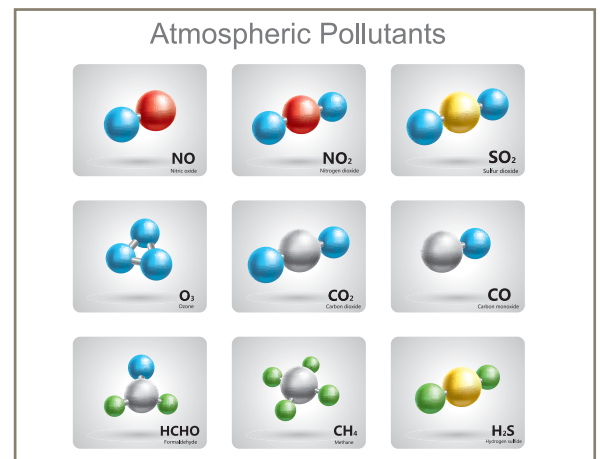
In einem ölfreien Kompressor gibt es kein Öl, um schädliche Dämpfe wie SO₂ zu neutralisieren. Da der Zwischenkühler und der Nachkühler in einem ölfreien Kompressor Wasserdampf zu flüssigem Wasser kondensieren, reagiert das SO₂ in der Luft mit dem kondensierten Wasserdampf zu Schwefelsäure (wie saurer Regen). Messungen in Druckluftsystemen zeigen, dass das resultierende Kondensat einen pH-Wert zwischen 3 und 6 hat, der nachgeschaltete Luftbehälter, Leitungen und Aufbereitungskomponenten aggressiver als Kondensat aus einem ölgeschmierten Kompressor angreift.

Ozon

Ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden muss, ist Ozon. Ölfreie Schraubenkompressoren verwenden Öl zur Schmierung von Lagern und Getrieben, spritzen jedoch kein Öl zur Kühlung in die Verdichterstufe ein. Das bedeutet, dass die Temperatur während der Verdichtung extrem hoch wird (und über die sichere Betriebstemperatur vieler Materialien ansteigt). Daher erfolgt die Verdichtung anders als bei einem ölgeschmierten Kompressor, der sie in einer Stufe durchführt, in zwei Stufen. Zwischen der ersten und der zweiten Verdichterstufe wird ein Zwischenkühler platziert, um zur Reduzierung der Temperatur beizutragen, wobei die Temperatur der Druckluft dennoch im Bereich von 180 °C bis 200 °C liegen kann (bei ölgeschmierten Schraubenkompressoren beträgt die Temperatur der Druckluft in der Regel um die 80 °C).

Der Verdichtungsprozess und die damit verbundenen hohen Temperaturen, Sauerstoff und die vorhandenen FOV können zur Bildung von Ozon führen, das vorzugsweise und selbstverzehrend bestimmte organische funktionelle Gruppen angreift. Ohne Öl im Gasstrom, wie bei dem ölfreien Kompressor, kann das Ozon nur schwer reagieren und seine Konzentration verringern. Daher können die Ozongehalte in der Druckluft, die von einem ölfreien Kompressor abgegeben wird, deutlich höher als in einem ölgeschmierten System bleiben. Das Ozon gelangt daher in die nachgeschalteten Leitungen des Kompressors, wo es oft Dichtungen, Ventile und Aufbereitungskomponenten beschädigt.

Die zur Reduzierung des Ölnebels verwendeten Aktivkohle-Adsorptionsfilter mit großem Adsorptionsbett haben den Vorteil, nicht nur den Ölnebelgehalt in der Druckluft zu reduzieren, sondern auch den Ozongehalt.



Zusammenfassung

- Umgebungsluft kann sauber aussehen, ohne es zu sein
- Umgebungsluft ist nicht „ölfrei“
- Zusätzlich zu Wasserdampf enthält Umgebungsluft Kohlenwasserstoffe, flüchtige organische Verbindungen und andere gasförmige Verunreinigungen wie NO_x, SO_x, CO und CO₂.
(weitere Informationen zu Verunreinigungen und deren Quellen siehe Anhang 3)
- Umgebungsluft enthält Ölnebel mit typischen Gehalten von 0,05 g/m³ bis 0,5 mg/m³ (können je nach Standort höher sein)
- Dies entspricht den Luftqualitätsberichten der DEFRA und weiteren weltweiten Messungen
- Diese Verbindungen werden in den Kompressor eingesaugt
- Wenn die Umgebungsluft verdichtet wird, werden die Kohlenwasserstoffe, FOV und sonstigen Verunreinigungen konzentriert
- Da die Umgebungsluft nicht „ölfrei“ ist, können ölfreie Kompressoren ohne zusätzliche nachgeschaltete Filtration zur Reduzierung von flüssigem Öl, Ölaerosolen und Ölnebel keine „ölfreie“ Luft liefern
- Viele ölfreie Kompressoren verwenden dennoch Öl für die Schmierung von Lagern und Getrieben
- Dieses Öl kann durch beschädigte Dichtungen und Dämpfe, die im Betrieb aus der Kurbelgehäuse-Entlüftung austreten, ebenfalls in den Druckluftstrom gelangen
- In dem Glauben, dass ein ölfreier Kompressor ölfreie Druckluft liefert, auf Filtration zu verzichten, ist ein Fehler
- Einem ölfreien Kompressor müssen dieselben Aufbereitungskomponenten wie einem ölgeschmierten Kompressor nachgeschaltet werden
- Um präzise Prüfungen auf Öl in einem Druckluftsystem durchzuführen, sollten die Methodik und die Ausrüstung gemäß ISO 8573 Teil 2 (Ölaerosol) und Teil 5 (Ölnebel) verwendet werden
- Beim Einsatz von ölfreien Kompressoren kann Ozon entstehen
- Das Öl in einem ölgeschmierten Kompressor kann bestimmte gasförmige Verunreinigungen reduzieren und der Bildung von Ozon vorbeugen
- Das Kondensat aus einem ölfreien Kompressor kann aggressiver sein, z. B. kann Schwefeldioxid aus der Umgebungsluft, das sich mit dem Wasserdampf aus Kondensat vermischt, zur Bildung von Schwefelsäure führen

Parker weltweit

Europa, Naher Osten, Afrika

**AE – Vereinigte Arabische
Emirate, Dubai**
Tel: +971 4 8127100
parker.me@parker.com

AT – Österreich, St. Florian
Tel: +43 (0)7224 66201
parker.austria@parker.com

AZ – Aserbaidtschan, Baku
Tel: +994 50 2233 458
parker.azerbaijan@parker.com

**BE/NL/LU – Benelux,
Hendrik Ido Ambacht**
Tel: +31 (0)541 585 000
parker.nl@parker.com

BG – Bulgarien, Sofia
Tel: +359 2 980 1344
parker.bulgaria@parker.com

BY – Weißrussland, Minsk
Tel: +48 (0)22 573 24 00
parker.poland@parker.com

CH – Schweiz, Etoy,
Tel: +41 (0)21 821 87 00
parker.switzerland@parker.com

**CZ – Tschechische Republik,
Klecany**
Tel: +420 284 083 111
parker.czechrepublic@parker.com

DE – Deutschland, Kaarst
Tel: +49 (0)2131 4016 0
parker.germany@parker.com

DK – Dänemark, Ballerup
Tel: +45 43 56 04 00
parker.denmark@parker.com

ES – Spanien, Madrid
Tel: +34 902 330 001
parker.spain@parker.com

FI – Finnland, Vantaa
Tel: +358 (0)20 753 2500
parker.finland@parker.com

FR – Frankreich, Contamine s/Arve
Tel: +33 (0)4 50 25 80 25
parker.france@parker.com

GR – Griechenland, Piraeus
Tel: +30 210 933 6450
parker.greece@parker.com

HU – Ungarn, Budaörs
Tel: +36 23 885 470
parker.hungary@parker.com

IE – Irland, Dublin
Tel: +353 (0)1 466 6370
parker.ireland@parker.com

IL – Israel
Tel: +39 02 45 19 21
parker.israel@parker.com

IT – Italien, Corsico (MI)
Tel: +39 02 45 19 21
parker.italy@parker.com

KZ – Kasachstan, Almaty
Tel: +7 7273 561 000
parker.easteurope@parker.com

NO – Norwegen, Asker
Tel: +47 66 75 34 00
parker.norway@parker.com

PL – Polen, Warschau
Tel: +48 (0)22 573 24 00
parker.poland@parker.com

PT – Portugal
Tel: +351 22 999 7360
parker.portugal@parker.com

RO – Rumänien, Bukarest
Tel: +40 21 252 1382
parker.romania@parker.com

RU – Russland, Moskau
Tel: +7 495 645-2156
parker.russia@parker.com

SE – Schweden, Spånga
Tel: +46 (0)8 59 79 50 00
parker.sweden@parker.com

SK – Slowakei, Banská Bystrica
Tel: +421 484 162 252
parker.slovakia@parker.com

SL – Slowenien, Novo Mesto
Tel: +386 7 337 6650
parker.slovenia@parker.com

TR – Türkei, Istanbul
Tel: +90 216 4997081
parker.turkey@parker.com

UA – Ukraine, Kiev
Tel: +48 (0)22 573 24 00
parker.poland@parker.com

UK – Großbritannien, Warwick
Tel: +44 (0)1926 317 878
parker.uk@parker.com

**ZA – Republik Südafrika,
Kempton Park**
Tel: +27 (0)11 961 0700
parker.southafrica@parker.com

Nordamerika

CA – Kanada, Milton, Ontario
Tel: +1 905 693 3000

US – USA, Cleveland
Tel: +1 216 896 3000

Asien-Pazifik

AU – Australien, Castle Hill
Tel: +61 (0)2-9634 7777

CN – China, Schanghai
Tel: +86 21 2899 5000

HK – Hong Kong
Tel: +852 2428 8008

IN – Indien, Mumbai
Tel: +91 22 6513 7081-85

JP – Japan, Tokyo
Tel: +81 (0)3 6408 3901

KR – Korea, Seoul
Tel: +82 2 559 0400

MY – Malaysia, Shah Alam
Tel: +60 3 7849 0800

NZ – Neuseeland, Mt Wellington
Tel: +64 9 574 1744

SG – Singapur
Tel: +65 6887 6300

TH – Thailand, Bangkok
Tel: +662 186 7000

TW – Taiwan, Taipei
Tel: +886 2 2298 8987

Südamerika

AR – Argentinien, Buenos Aires
Tel: +54 3327 44 4129

BR – Brasilien, Sao Jose dos Campos
Tel: +55 800 727 5374

CL – Chile, Santiago
Tel: +56 2 623 1216

MX – Mexico, Toluca
Tel: +52 72 2275 4200

Europäisches Produktinformationszentrum
Kostenlose Rufnummer: 00 800 27 27 5374
(von AT, BE, CH, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
IE, IL, IS, IT, LU, MT, NL, NO, PL, PT, RU, SE,
SK, UK, ZA)

