

Druckluftaufbereitung

Die Qualität der Druckluft ohne Aufbereitung ist heute für die meisten Anwendungen nicht mehr ausreichend und würde zu einer Qualitätsminderung der mit der Druckluft in Verbindung kommenden Produkte führen. Es kann zu Störungen an Produktionsanlagen bis hin zum Produktionsausfall oder der Unbrauchbarkeit von Produkten führen, sprich eine deutliche und mitunter kritische Minderung der Produktqualität. Die Anwendung der Druckluft entscheidet über die geforderte Druckluftqualität.

Klasse	Maximale Anzahl von Teilchen/m ³ Teilchen Grösse d (µm)			Drucktaupunkt (°C)	Rest-Ölgehalt (mg/m ³)
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1	1 < d ≤ 5		
0	spezifiziert gemäss Anwendung und besser als Klasse 1				
1	100	1	0	≤ -70	0,01
2	100.000	1.000	10	≤ -40	0,1
3	–	10.000	500	≤ -20	1
4	–	–	1.000	≤ +3	5
5	–	–	20.000	≤ +7	–

Tab. 1: Qualitätsklassen nach DIN-Norm ISO 8573-1:2001

Die maximalen Belastungen mit Partikeln, Wasser und Öl wird in der DIN-Norm ISO 8573-1 (Ausgabe 2001) in Qualitätsklassen eingeteilt. Die Hersteller von Druckluftverbrauchern können so benötigte Qualität definieren.

Drucklufttrocknung

Die unterschiedlichen Verfahren der Drucklufttrocknung können unter Berücksichtigung der erreichbaren Drucktaupunkte und der hierzu notwendigen Energie wie in Abb. 1 dargestellt unterteilt werden: Je nach System wird der Energiebedarf als Druckluft oder als elektrische Energie aufgenommen.

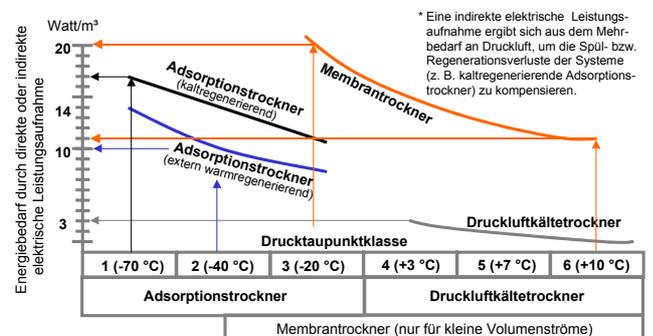


Abb. 1: Verfahren der Lufttrocknung

Kältetrockner

Kälte-Drucklufttrockner sind heute in Druckluftnetzen Stand der Technik und ebenso wichtig wie der Druckluftherzeuger selbst. Zudem ist er für die Vielzahl der Anwendungsfälle das wirtschaftlichste Verfahren.

Physikalische Grundlage:

Mit sinkender Temperatur verringert sich die Fähigkeit der Druckluft, Wasser mit sich zu führen. Bei fallender Temperatur kondensiert Wasserdampf zu Wasser. Der Kälte-Drucklufttrockner entzieht der Druckluft den mitgeführten Wasserdampf. Hierbei wird die Druckluft in einem Wärmeaustauschersystem gekühlt. Wasser- und Öldampf werden durch Kondensation, Öl durch Koagulation und Koalition entzogen. Ableitssysteme führen das Kondensat ab.

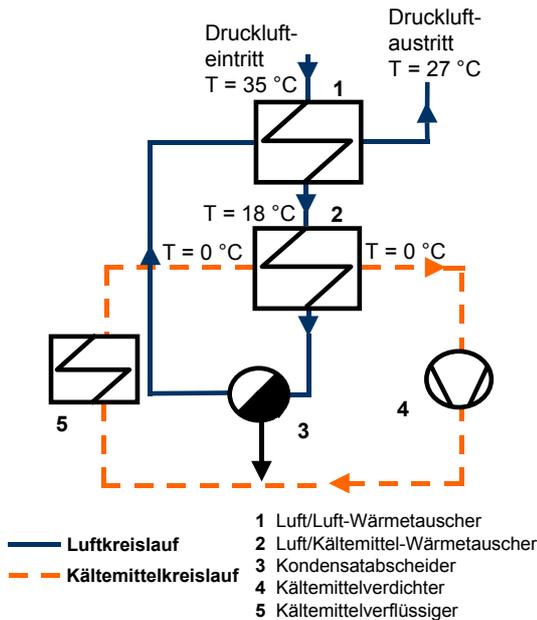


Abb. 2: Funktionsweise der Kältetrockner

Die wirtschaftliche Kälte-Drucklufttrocknung ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird durch die bereits gekühlte, austretende Druckluft die warme einströmende Druckluft im Luft-/Luft-Wärmetauscher gekühlt. Hier fallen bereits ca. 70 % des anfallenden Wasserdampfes aus. In der zweiten Phase durchströmt die Druckluft einen Kältemittel-/Luft-Wärmetauscher. Hier findet die Abkühlung auf dem geforderten Drucktaupunkt statt. Der Kondensatabscheider ist dem Wärmetauschersystem nachgeschaltet. Hier findet die Separation des Kondensates von der Druckluft statt.

Integrierte Wärmetauschersysteme, die Luft-/Luft-Wärmetauscher, Kältemittel-/Luft-Wärmetauscher und Kondensatabscheider in einer Baukomponente integrieren, sind durch niedrigere Differenzdrücke gegenüber Einzelverrohrung energieeffizienter.

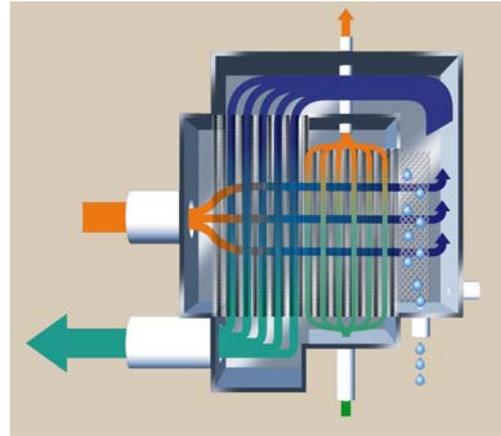


Abb. 3: Wärmetauscher mit integriertem Kondensatabscheider (Demister)

Adsorptionstrockner

Adsorptionstrockner entziehen der Druckluft die mitgeführte Feuchtigkeit durch das Trockenmittel. Während im ersten Behälter die Adsorption stattfindet, erfolgt zeitgleich im zweiten Behälter die Regeneration. Es werden Drucktaupunkte zwischen -20 und -70 °C mit Standardprodukten erreicht. Für die Regeneration stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Abhängig von der Regenerationsart erfolgt die Einteilung in kalt- und warmregenerierte Adsorptionstrockner.

Kaltregeneration

Zur Regeneration dieser Adsorptionstrockner wird ein Teil der bereits getrockneten Druckluft auf atmosphärischem Druck entspannt.

- + Einfache Technik
- + geringe Investitionskosten
- Druckluftverbrauch
- hohe Betriebskosten.

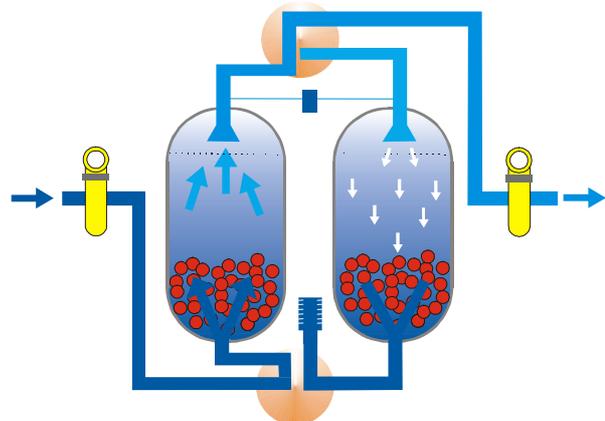


Abb. 4: Kaltregeneration

Warmregeneration

Die Regeneration erfolgt mit erwärmter Umgebungsluft oder erwärmter Luft aus dem System.

Gebläseregeneration:

In der Heizphase fördert ein Gebläse Umgebungsluft durch die Heizung. Die erwärmte Luft transportiert die Feuchtigkeit aus dem Trockenmittelbett. Zur Kühlung wird Umgebungsluft und Druckluft verwendet.

- + Geringere Betriebskosten durch Heizen mit Dampf oder elektrischer Energie
- Druckluftverbrauch in der Kühlphase.

Warmregeneration ohne Druckluftverbrauch:

Durch Modifikation im Aufbau und Verfahrensweise wird das Trockenmittelbett mit Umgebungsluft gekühlt. Diese Adsorptionstrockner unterscheidet man in Gebläse-, Saugkühlungs- oder Vakuumregenerationsanlagen.

- + Geringere Betriebskosten durch Heizen mit elektrischer Energie oder Dampf
- + kein Druckluftverbrauch in der Kühlphase
- höhere Investitionskosten
- bei hoher Feuchtigkeit in der Umgebungsluft bedingt einsetzbar.

Kompressorwärme-Regeneration:

Beim Einsatz ölfrei verdichtender Kompressoren in Kombination mit Adsorptionstrockner wird die bei der Kompression entstehende Wärme gezielt für die Regeneration des Adsorptionstrockners genutzt. Drucktaupunkte von -30 °C und besser sind bei geeigneten Kompressoren sichergestellt.

- + Nutzt die Verdichtungswärme zur Regeneration
- + kein Druckluftverbrauch
- nur mit ölfreien Kompressoren.

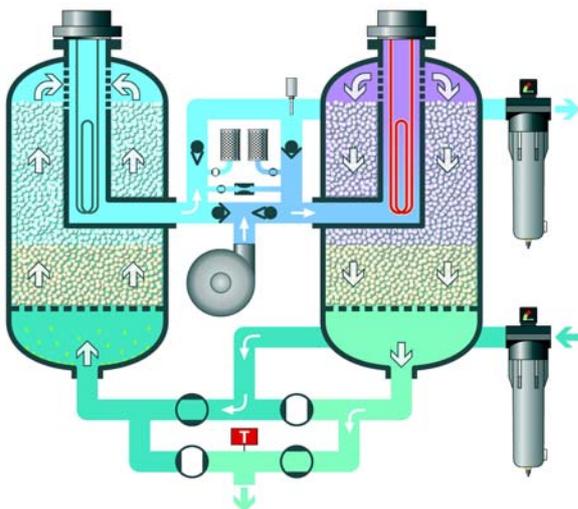


Abb. 5: Warmregeneration

Steuerung

Alle kalt- oder warm-regenerierten Adsorptionstrockner sind mit einer zeitabhängigen Steuerung ausgerüstet. Je nach Steuerungsumfang als herstellerspezifische Variante oder SPS. Eine optionale Ergänzung ist die beladungsabhängige Steuerung. Am Trockneraustritt registriert ein Sensor die Änderung des Drucktaupunktes. Er passt den Zyklus des Trockners automatisch an die Lastsituation an. Die beladungsabhängige Steuerung kompensiert mögliche Teillastsituationen und reduziert Betriebskosten.

- + Minimale Betriebskosten auch im Teillastbetrieb
- + kontinuierliche Taupunktmessung zur Qualitätskontrolle.

Membrantrockner

Der Membrantrockner ist eine Ergänzung und Alternative zu den angestammten Kälte- und Adsorptionstrocknern. Vor allem als Endstellentrockner bei kleinsten Druckluftmengen, nicht kontinuierlichem Betrieb oder Anwendungen ohne elektrische Energie hat sich der Membrantrockner bewährt.

Herzstück dieser Membrantrockner sind Polymer-Hohlfasermembranen, die Wasserdampf leicht hindurch diffundieren lassen.

Filtration

Sie wird eingesetzt, um Verunreinigungen aus der Druckluft hochgradig zu entfernen.

Zu diesen Verunreinigungen zählen hauptsächlich der Ölnebel von ölgeschmierten bzw. öleinspritzgekühlten Kompressoren sowie Feststoffverunreinigungen und Kohlenwasserstoffe aus der Umgebungsluft, die dann in der Druckluft in konzentrierter Form enthalten sind. Zur Gewährleistung der heute benötigten Druckluftqualität ist eine Aufbereitung zwingend erforderlich.

Durch ein gestiegenes Umweltbewusstsein sowie verstärkte Massnahmen zum Schutze der Gesundheit am Arbeitsplatz werden heute aber auch Anforderungen an die Emissionswerte der nach einem Verbraucher expandierten Druckluft gestellt, speziell im Bezug auf Ölnebel, der z. B. direkt aus einem Druckluftzylinder oder einer Blasedüse an die Umgebungsluft abgegeben wird.

Filter verbrauchen aber auch Energie. Obwohl einem Filter keine eigene Energie zugeführt wird, wird dennoch Energie durch den vom Filter verursachten Druckabfall (Differenzdruck) verbraucht, die von dem vorgeschalteten Kompressor aufzubringen ist. Dabei gilt folgende Regel:

Je höher der Filtrationsgrad, d. h. je besser die Reinheit der gefilterten Luft, desto höher der Differenzdruck, d. h. desto mehr Energie muss der vorgeschaltete Kompressor aufbringen.

Filter sind also notwendig, kosten aber auch Energie und somit Geld. Wichtig ist es daher, je nach Anwendung die richtige Aufbereitungsqualität zu wählen. Hilfestellung gibt hier die ISO 8573-1 oder der Hersteller selbst.

Es macht also durchaus Sinn, sich Gedanken darüber zu machen, welcher Grad an Druckluftreinheit wirklich erforderlich ist, um so individuell den oder die Filter mit dem niedrigst möglichen Differenzdruck für seine Anwendungen zu wählen. Welche Einsparpotenziale damit verbunden sind, zeigt Abb. 6. Dort ist aufgezeigt, welche Energiekosten vom Kompressor verursacht werden, um den durch einen Filter verursachten Druckabfall auszugleichen. Die Kosten hierfür können mehrere tausend Euro pro Jahr betragen und überschreiten die Anschaffungs- bzw. Austauschkosten des Elementes bei weitem. Durch die Wahl des richtigen Filters mit dem niedrigst möglichen Differenzdruck können folglich enorme Einsparungen erzielt werden.

Ebenso bedeutend ist der rechtzeitige Austausch von mit Schmutz beladenen und somit im Differenzdruck gestiegenen Filterelementen. Wie in Abb. 7 ersichtlich ist, steigt der Differenzdruck eines neuen Filterelementes zunächst sehr langsam an. Je länger das Element in Betrieb ist, desto schneller steigt der Differenzdruck. Bei einem Nichtwechsel übersteigen die Kosten zur Deckung des zusätzlichen Differenzdruckes den Preis eines Austauschelementes mitunter um ein Vielfaches. In der Regel:

Elementewechsel einmal pro Jahr, spätestens bei einem Differenzdruck von 350 mbar.

Ausgenommen von dieser Regel sind Aktivkohlefilterelemente. Dort gilt die Regel:

Standzeit der Elemente max. 1.500 Betriebsstunden bzw. 3 Monate, abhängig von der Eintrittstemperatur und dem Ölgehalt mitunter sogar deutlich geringer.

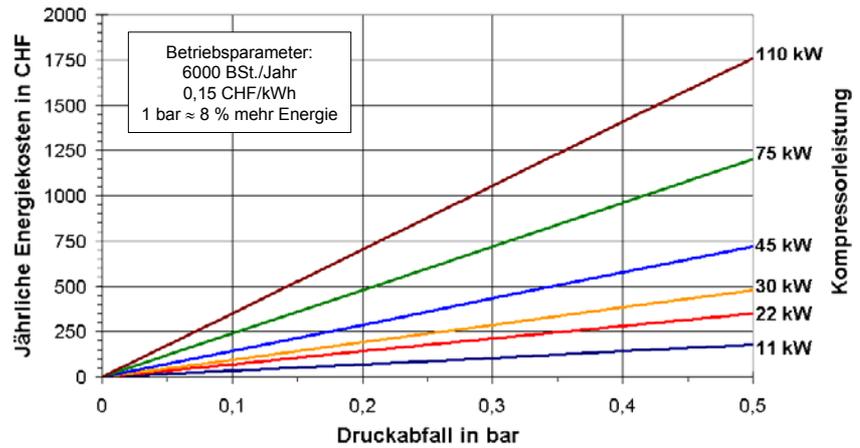


Abb. 6: Energiekosten durch Druckabfall

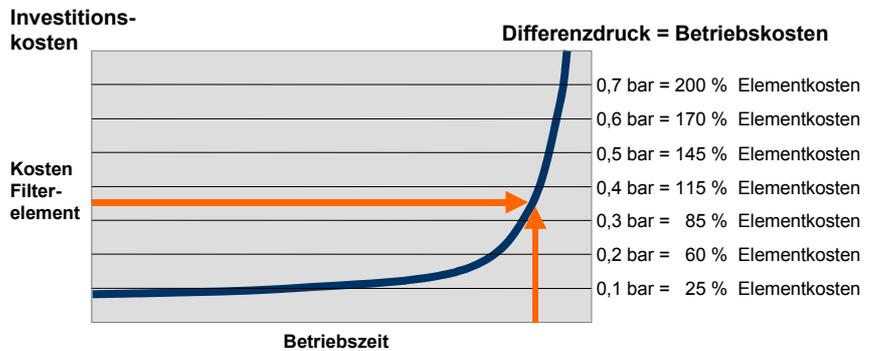


Abb. 7: Typischer Differenzdruckverlauf; Energiekosten in Verhältnis zu Filterelementkosten

Bleibt zuletzt der Punkt der Betriebssicherheit eines Filters. Dieses Kriterium hängt primär von der Qualität der eingesetzten Werkstoffe, der Qualität der Herstellung und den konstruktiven Eigenschaften des Filters ab. Hier ist individuell der Aufbau der Filter zu bewerten. Zusammenfassend die Kriterien für einen Filter:

- Filtrationsleistung**
- + Betriebssicherheit**
- + Differenzdruck**
- = Gesamtbetriebskosten**

Die Summe dieser drei Kriterien bestimmt dann die Gesamtbetriebskosten des Filters, Ausfallkosten durch unzureichende Filtrationsleistung bzw. durch ein Versagen des Filters bereits eingeschlossen.

Vorabscheidung

Der erste Aufbereitungsschritt in einem Druckluftsystem ist die Abscheidung von freiem Kondensat in der Druckluft. An dem Kompressoraustritt wird hierzu ein Zyklonabscheider oder ein Druckbehälter verwendet. Der **Druckbehälter** ist hier das einfachste System. Durch die Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit und eine Abkühlung der Druckluft an der grossen Behälteroberfläche sammelt sich das Kondensat am unteren Behälterboden und kann abgeleitet werden. Der **Zyklonabscheider** nutzt mit seinem Wirbeleinsatz die Massenträgheit zur Abscheidung. Beide Systeme verbessern die Leistungsfähigkeit der Druckluftaufbereitung, da erhebliche Mengen Kondensat hier abgeleitet werden. Beide Komponenten ersetzen keine Drucklufttrocknung, da nach diesen Abscheidern die Druckluft mit 100 % Wasserdampf gesättigt ist und durch jede weitere Abkühlung wieder freies Wasser ausfällt.

Kondensattechnik

Ein zwangsläufig anfallendes Nebenprodukt bei jeder Druckluftherzeugung ist Kondensat. Dieses Kondensat entsteht durch die in der angesaugten Luft enthaltene Luftfeuchtigkeit. Bei der Verdichtung und damit verbundenen Temperaturerhöhung liegt diese Feuchtigkeit zunächst als Dampfphase vor. Da nach der Verdichtung nur noch ein Bruchteil des ursprünglichen Volumens vorhanden ist, kommt es zur Übersättigung der Luft. Bei Abkühlung fällt die Luftfeuchtigkeit als

Kondenswasser aus. Dieses Kondensat enthält ausser Wasser und Öl weiterhin alle durch den Verdichter angesaugten Bestandteile der Umgebungsluft. Diese werden aufkonzentriert und führen zur Kontamination des Kondensates.

Folgen des Kondensates auf die Druckluftanlage:

Kondensat, egal ob ölhaltig oder ölfrei, führt zu starken Korrosionsschäden im Leitungsnetz sowie bei den nachgeschalteten Prozessen. Während ölfreie Kondensate aufgrund des pH-Wertes mehr säureartig wirken, führen ölhaltige Kondensate mehr zum Verharzen und Verkleben. Die geforderte Luftqualität, auch bei geringer Klasse, kann nicht mehr erreicht werden.

Wo fällt das Kondensat an?

Kondensat fällt immer dann an, wenn die Temperatur in der Druckluft den Drucktaupunkt unterschreitet. Das geschieht in Nachkühlern, Kesseln, Zyklonabscheidern, Filtern, Trocknern sowie in den Leitungsnetzen. Die grössten Mengen Kondensat werden am Punkt des grössten Temperaturgefälles nach der Verdichtung abgegeben.

Kondensatableitung

Aufgrund der hohen Kosten durch Folgeschäden muss der Kondensatableitung in der Druckluft ein sehr hoher Stellenwert zugeordnet werden. Bei der Kondensatableitung sind drei Verfahren üblich:

Schwimmersteuerung:

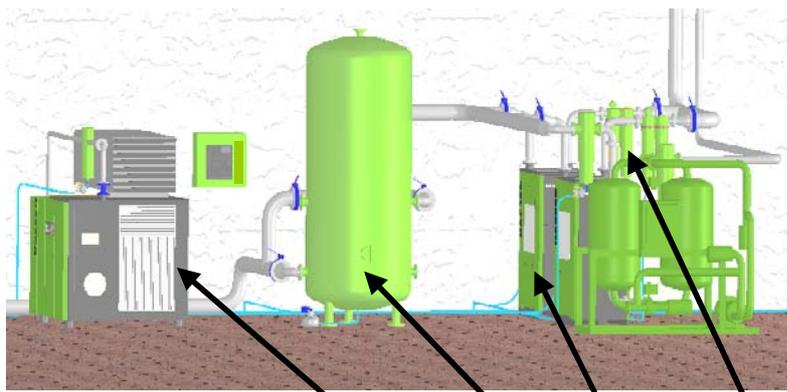
Das Kondensat wird in einem Sammelbehälter aufgefangen. Je nach Kondensatanfall öffnet ein Schwimmermechanismus ein Ventil.

- + Geringe Investition
- hohe Schmutzempfindlichkeit
- keine Überwachungsmöglichkeiten.

Zeitgesteuerte Ventile:

Ein über eine Zeitsteuerung geschaltetes Ventil öffnet in einem festen Intervall.

- + grosse Öffnungsquerschnitte
- + auch in Hochdruckversion verfügbar
- Druckluftverlust
- hoher Energieaufwand
- keine Überwachungs- und Funktionskontrolle.



Kondensatanfall je 10 Normkubikmeter im	Zyklonabscheider Nachkühler	Kessel	Druckluft-Kältetrockner	Filter
Winter	25 g/m ³	3,5 g/m ³	3,5 g/m ³	--
Frühjahr/Herbst	28 g/m ³	6 g/m ³	9,5 g/m ³	2 g/m ³
Sommer	53 g/m ³	9,5 g/m ³	21,5 g/m ³	3 g/m ³

Abb. 8: Kondensatanfall nach Jahreszeiten



Abb. 9: Zeitgesteuertes Ventil

Elektronisch niveaugeregelte Ableiter:

Ein im Kondensatsammelraum befindlicher Sensor leitet bei Erreichung eines Sollwertes die Entleerung des Kondensatableiters ein.

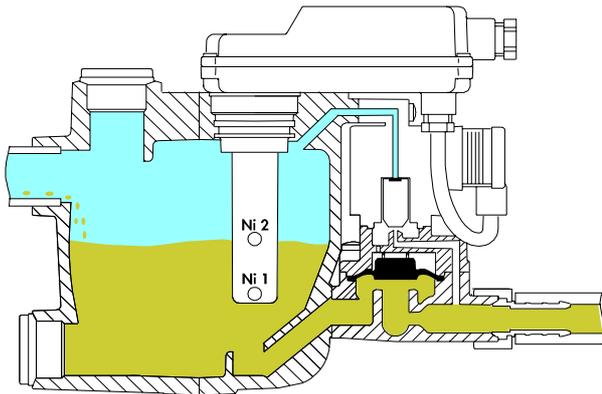


Abb. 10: Niveaugeregelter Ableiter

- + Energiesparen
- + keine Druckluftverluste
- + Störmeldungen und Alarmfunktionen.

Kondensataufbereitung

Kompressorenkondensat ist im Sinne des Gesetzgebers ein besonders überwachungsbedürftiger Abfall. Für die Aufbereitung der Kondensate stellt der Gesetzgeber zwei Möglichkeiten zur Wahl. Entweder die sachgerechte Entsorgung durch legitimierte Fachfirmen, oder eine Aufbereitung vor Ort mit geeigneter und zugelassener Kondensataufbereitungstechnik. Kondensate liegen entweder als disperses Öl-Wassergemisch oder stabile Emulsion vor. In der Praxis haben sich die folgenden Verfahren durchgesetzt.

Statische Öl-Wasser-Trennsysteme:

Bei diesem Verfahren wird das Kondensat in einem Trennbehälter einer definierten Verweilzeit ausgesetzt. Die leichteren Ölbestandteile steigen auf und setzen sich an der Oberfläche ab. Feine Restbestandteile und sonstige Substanzen werden in einer nachgeschalteten Aktivkohlestufe ausfiltriert. Dieses Verfahren ist immer dann ausreichend, wenn das Kondensat in disperser Form vorliegt.

- + Einfaches System
- + schnelle Amortisierung.

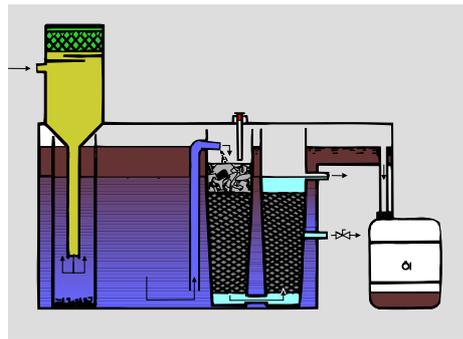


Abb. 11: Statisches Öl-Wasser-Trennsystem

Emulsion-Spaltanlagen auf Adsorptionsbasis:

Bei diesem Verfahren wird dem vorgereinigten Kondensat ein Reaktionstrennmittel auf Tonerdebasis zugefügt. Im Trennmittel enthaltene Elektrolyte brechen die Öl-Wasser-Bindung auf und spalten somit die Emulsion. Die Ölsubstanzen und sonstigen Bestandteile des Kondensates werden von der Tonerde adsorbiert und aus dem Wasser ausfiltriert. Nur der entstandene Reststoff wird der Entsorgung zugeführt.

Ultrafiltration:

Bei der Ultrafiltration wird das Kondensat im Kreislauf unter Druck durch eine Membrane mit definierter Porenweite filtriert. Dabei werden die Ölbestandteile zurückgehalten und aufkonzentriert, während das Wasser gereinigt wird. Das Wasser wird auch hier ohne eine weitere Filtration dem Abwassersystem zugeführt. Das Emulsionskonzentrat wird der Entsorgung zugeführt.

In jedem Fall muss beim Kauf von Geräten und Austauschteilen auf die bauaufsichtliche Zulassung geachtet werden, da ansonsten eine kostspielige Einzelabnahme der Geräte durch die örtlichen Behörden durchgeführt werden muss.

Fazit

Druckluftaufbereitung in Druckluftnetzen ist heute Stand der Technik. Die Grundanforderung an diese Aufbereitungstechnik ist die zuverlässige und hochgradige Beseitigung von prinzipbedingten Verunreinigungen und Feuchtigkeit aus der Druckluft. Diese Verunreinigung führt zu Qualitätsminderungen und Störungen bis hin zum Produktionsausfall oder der Unbrauchbarkeit von Produkten. Wie aufwendig diese Aufbereitung sein muss und welche Betriebskosten dafür aufzuwenden sind, kann durch einen Vergleich der am Markt befindlichen Produkte und die Auswahl der am besten für eine Anwendung geeigneten Systeme deutlich beeinflusst werden.

Im Bereich der Druckluftaufbereitung gilt es vor allem die optimale Qualität zu erreichen. Energie- und betriebskostenoptimal ist es, die Anforderung der Anwendung zu erfüllen. Über- und Unterschreitungen dieser Anforderung erfordern erhöhte Betriebs- oder Energiekosten. Abb. 12 und 13 geben einen Überblick, mit welcher Reihenfolge und Auswahl von Aufbereitungsprodukten entsprechende Druckluftqualität erreicht werden kann.

Das vorhandene Einsparpotenzial liegt dabei pro Teilkomponente bei bis zu mehreren Tausend Franken. Speziell durch den regelmässigen Wechsel der Filterelemente innerhalb der vorgeschriebenen Intervalle werden deutliche Einsparungen erzielt und somit die Betriebskosten minimiert.

Die ernsthafte Auseinandersetzung mit der installierten oder neu zu planenden Druckluftanlage ist eine Investition, die sich mitunter sehr schnell amortisiert hat.

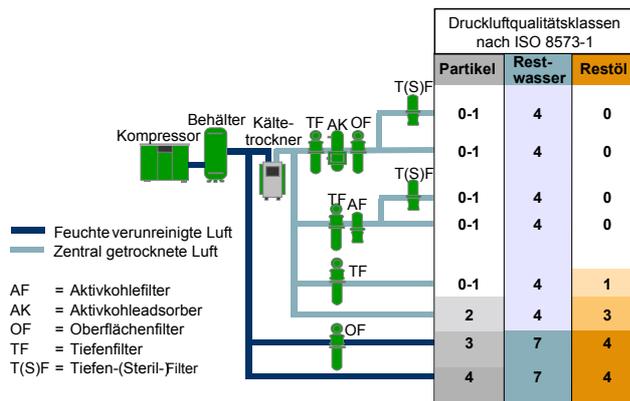


Abb. 12: Druckluftqualitäten bei Einsatz von Kältetrocknern

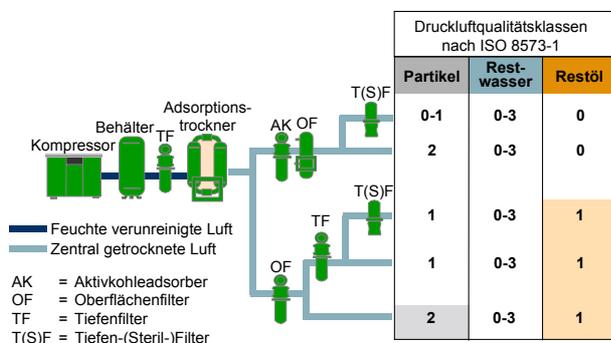


Abb. 13: Druckluftqualitäten bei Einsatz von Adsorptionstrocknern

Die Kampagne effiziente Druckluft Schweiz motiviert und unterstützt Betreiber von Druckluftanlagen in der Schweiz bei der Umsetzung von Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Druckluftversorgung. Die Kampagne wird vom Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung geleitet und von Bundesamt für Energie (BfE) und dem Stromsparfonds des Elektrizitätswerks Zürich (ewz) unterstützt. Sie ist eingebunden in das Programm EnergieSchweiz. Mitträger sind die folgenden Unternehmen aus der Druckluftbranche: Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Weitere Informationen finden Sie unter www.druckluft.ch

Dieses Infoblatt wurde im Rahmen der Kampagne „Druckluft effizient“ erstellt, die zwischen 2001 und 2004 in Deutschland durchgeführt wurde. Diese Kampagne wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena), dem Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, Gesamtprojektleitung) und dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) mit Unterstützung des Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) und Industrieunternehmen durchgeführt (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Juni 2006



effiziente Druckluft – eine Kampagne von EnergieSchweiz
www.druckluft.ch