

## 5.5 Druckluftfilter

### 5.5.1 Grundbegriffe der Filtertechnik

Für die Beurteilung und das Betreiben von Filtern ist es notwendig, bestimmte Größen und Faktoren zu definieren und zu erklären.

#### 5.5.1.1 Filterabscheidegrad $\eta$ [%]

Der Filterabscheidegrad  $\eta$  gibt den Konzentrationsunterschied der Schmutzpartikel **vor** und **nach** dem Filter an. Er wird vielfach auch als Wirkungsgrad bezeichnet. Der Filterabscheidegrad  $\eta$  ist ein Maß für die Wirksamkeit des Filters. Dabei muß immer die minimale Korngröße [ $\mu\text{m}$ ] angegeben werden, die der Filter noch ausfiltern kann.

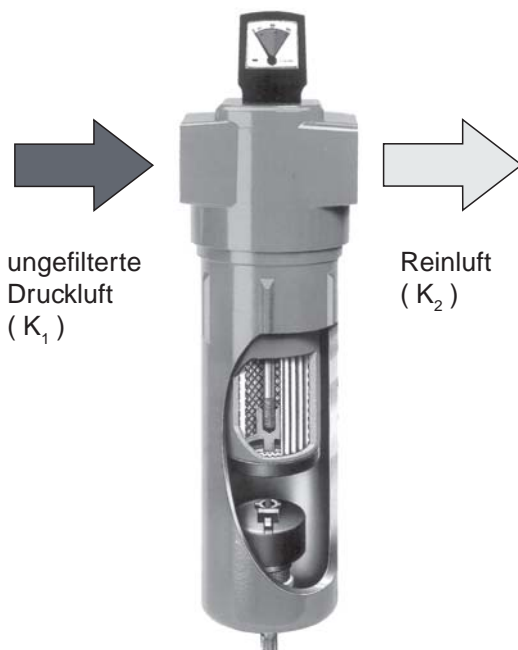


Bild 5.21 :  
BOGE Vorfilter, Baureihe V  
 $\eta = 99,99\%$  bezogen auf  $3\ \mu\text{m}$

$$\eta = 100 - \left[ \frac{K_1}{K_2} \times 100 \right]$$

$K_1$  = Konzentration der Schmutzpartikel **vor** dem Filter.

$K_2$  = Konzentration der Schmutzpartikel **nach** dem Filter.

$\eta$  = Filterabscheidegrad [%]

Die Konzentration wird meist in Gewichtsanteilen pro Volumeneinheit [ $\text{g}/\text{m}^3$ ] der Druckluft gemessen. Bei schwächeren Konzentrationen bestimmt man die Konzentration meist durch Auszählen der Teilchen pro Volumeneinheit [ $\text{Z}/\text{cm}^3$ ]. Besonders bei der Bestimmung des Abscheidegrades von Hochleistungsfiltern werden fast immer die Teilchen pro Volumeneinheit ermittelt. Um die Gewichtsanteile pro Volumeneinheit in ausreichender Genauigkeit zu ermitteln, wäre der Meßaufwand unverhältnismäßig hoch.

#### Beispiel

Druckluft ist vor der Filterung mit einer Partikelkonzentration von  $K_1 = 30\ \text{mg}/\text{m}^3$  belastet. Die Reinluft nach dem Filter hat noch eine Partikelkonzentration von  $K_2 = 0,003\ \text{mg}/\text{m}^3$  bei Partikelgrößen über  $3\ \mu\text{m}$ .

$$\eta = 100 - \left[ \frac{30}{0,003} \times 100 \right]$$

$$\eta = 99,99\%$$

Der Filter hat einen prozentualen Abscheidegrad von  $99,99\%$  bezogen auf  $3\ \mu\text{m}$ .

# Druckluftaufbereitung

## 5.5.1.2 Druckabfall $\Delta p$

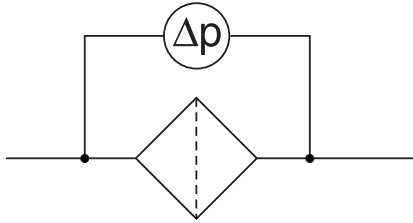


Bild 5.22 :  
Allgemeiner Filter mit  $\Delta p$  Meßgerät

Der Druckabfall  $\Delta p$  ist der strömungstechnisch bedingte Druckunterschied **vor** und **nach** dem Filter. Der Druckabfall  $\Delta p$  im Filter wächst durch Anlagern von Staub- und Schmutzpartikeln im Filterelement mit der Zeit an.

- $\Delta p_0$  ist der Druckabfall für neue Filterelemente. Er liegt je nach Filterart zwischen 0,02 und 0,2 bar.
- Der wirtschaftlich vertretbare Grenzwert für den Druckabfall  $\Delta p$  liegt bei ca. 0,6 bar.

Um den Druckabfall im Filter festzustellen wird in die meisten Filter ein Druck-Differenzmeßgerät eingebaut.

Überschreitet der Druckabfall  $\Delta p$  den Grenzwert ist eine Reinigung des Filters oder ein Austausch des Filterelements notwendig.

## 5.5.1.3 Betriebsdruck

Der maximale Volumenstrom eines Filters bezieht sich immer auf den Normdruck  $p_{\bar{u}} = 7$  bar. Bei verändertem Druck ändert sich die maximale Durchflußmenge des Filters. Die Änderung der Durchflußmenge läßt sich mit Hilfe der entsprechenden Umrechnungsfaktoren  $f$  leicht ermitteln.

Druck [ bar <sub>ü</sub> ]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faktor f	0,25	0,38	0,5	0,65	0,75	0,88	1	1,13	1,25	1,38	1,5	1,63	1,75	1,88	2

### Beispiel

Ein BOGE-Vorfilter V50 mit einer nominalen Leistung von 300 m<sup>3</sup>/h beim Normdruck  $p_{\bar{u}} = 7$  bar soll bei  $p_{\bar{u}} = 10$  bar betrieben werden.

$$L_7 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p_{\bar{u}} = 10 \text{ bar} \quad \Rightarrow \quad f = 1,38$$

$$\begin{aligned} L_{10} &= L_7 \times f \\ L_{10} &= 300 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,38 \\ L_{10} &= 414 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$L_{10} = \text{effektive Leistung bei } p_{\bar{u}} = 10 \text{ bar} \quad [ \text{m}^3/\text{h} ]$$

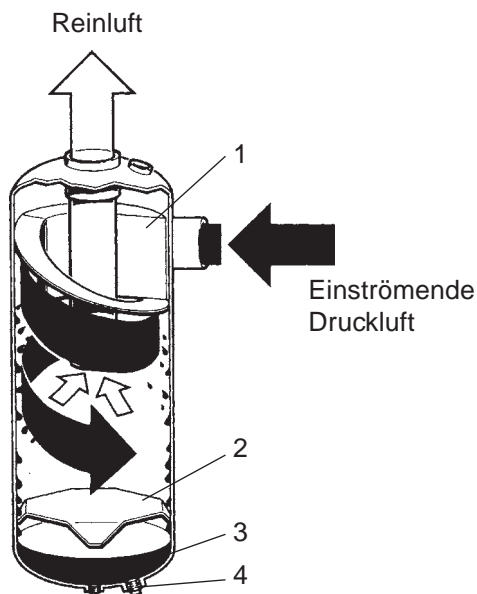
$$L_7 = \text{effektive Leistung bei } p_{\bar{u}} = 7 \text{ bar} \quad [ \text{m}^3/\text{h} ]$$

$$f = \text{Umrechnungsfaktor für } p_{\bar{u}} = 10 \text{ bar}$$

Der Filter hat bei einem Druck von  $p_{\bar{u}} = 10$  bar eine effektive Leistung von nominal 414 m<sup>3</sup>/h.

## 5.5.2 Zyklonabscheider

Druckdifferenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheidegrad [ % ]	Partikelgröße [ $\mu\text{m}$ ]	Restölgehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,05 bar	95 %	> 50 $\mu\text{m}$	unbeeinflusst



- 1 = Wirbeleinsatz
- 2 = Prallscheibe
- 3 = Sammelraum
- 4 = Kondensatablaß

Bild 5.23 :  
Zyklonabscheider

Die Druckluft enthält nach dem Austritt aus dem Kompressor neben dem Wasser in Form von Wasserdampf auch Wasserkondensattröpfchen. Diese Wassertröpfchen entstehen während des Verdichtungs Vorganges durch das Absinken der Speicherkapazität der Luft bei Volumenverkleinerung.

Dieses Wasser setzt sich normalerweise im Speicherbehälter ab, da sich die Druckluft beruhigt. Von dort wird das Kondensat abgeleitet.

### Funktionsprinzip

Der Zyklonabscheider arbeitet nach dem Massenträgheitsprinzip. Er besteht aus einem Wirbeleinsatz und einem Auffangbehälter. Der Wirbeleinsatz ist so gestaltet, daß er die Druckluft in eine Drehbewegung versetzt. Feste und flüssige Bestandteile der Luft werden durch ihre eigene Massenträgheit nach außen gegen die Behälterinnenwand geschleudert. Dadurch scheiden schwere Schmutzteilchen und Wassertröpfchen aus. Die ausgeschiedenen Fremdstoffe fließen an einer Prallscheibe vorbei in den Sammelbehälter. Die Prallscheibe verhindert auch, daß der Luftstrom die abgeschiedene Flüssigkeit wieder mitreißt.

Aus dem Sammelraum kann das Kondensat automatisch oder von Hand abgelassen und fachgerecht entsorgt oder wiederaufbereitet werden.

### Eigenschaften

- Nahezu vollständiges Abscheiden von Wassertröpfchen.
- Ausfiltern von schweren Staub- und Schmutzpartikeln.
- Das Abscheidevermögen der Zyklonabscheider hängt von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft ab. Je höher die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto höher der Abscheidegrad. Allerdings steigt mit der Strömungsgeschwindigkeit auch der Druckverlust im Abscheider.

### Anwendungsgebiete

- Kein Druckluftbehälter im Rohrleitungsnetz.
- Große Entfernungen zwischen Kompressor und Behälter. Wenn der Druckluftbehälter weit vom Druckluftherzeuger entfernt ist, dann ist die Installation eines Zyklonabscheiders direkt hinter dem Druckluftherzeuger sinnvoll. Er verhindert einen unnötigen „Wassertransport“ in der Rohrleitung.
- Steigleitungen zwischen Druckluftbehälter und Kompressor. Die Leitung zwischen Kompressor und Druckluftbehälter geht senkrecht nach oben. Bei Kompressorstillstand fließt Kondenswasser zurück in den Kompressor. In diesem Fall ist die Installation eines Zyklonabscheiders direkt nach dem Kompressor sinnvoll.

## 5.5.3 Vorfilter

Druckdifferenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheidungsgrad [ % ]	Partikelgröße [ $\mu\text{m}$ ]	Restölgehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,03 bar	99,99 %	> 3 $\mu\text{m}$	unbeeinflusst

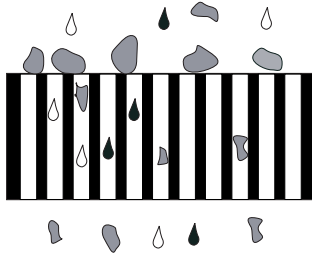


Bild 5.24 :  
Filtrationsmechanismus der Oberflächenfilter



Bild 5.25 :  
BOGE Vorfilter, Baureihe V

Vorfilter filtern feste Verunreinigungen bis zu einer Partikelgröße von ca. 3  $\mu\text{m}$  aus der Druckluft während sie Öl und Feuchte nur in sehr geringem Maß ausfiltern. Vorfilter entlasten bei sehr staubhaltiger Luft Hochleistungsfilter und Trockner. Sind die Anforderungen an die Qualität der Druckluft gering, kann auf feinere Filter verzichtet werden.

### Funktionsprinzip

Vorfilter arbeiten nach dem Prinzip der Oberflächenfiltration. Sie haben eine reine Siebwirkung. Die Porengröße gibt dabei die Partikelgröße an, die gerade noch ausgefiltert werden kann. Die Verunreinigungen bleiben nur an der äußeren Oberfläche der Filterelemente zurück. Gebräuchliche Materialien für Filterelemente sind:

- Sinterbronze.
- Hochmolekulares Polyäthylen.
- Sinterkeramik.
- Bronze oder Messingdraht ( grobe Filtration ).
- gefaltete Zellulose-Papiereinsätze.

Das Filterelement wird von **außen** nach **innen** durchströmt. Eine umgekehrte Strömungsrichtung würde die abgeschiedenen Partikel im Inneren des Filterelements aufbauen. Die ansteigende Feststoffansammlung würde die wirksame Filterfläche zusetzen.

### Eigenschaften

- Regenerierbar.  
Da die Partikelabscheidung der Vorfilter nur auf der Oberfläche des Filterelements stattfindet, ist das Reinigen der Filterelemente möglich.

## 5.5.4 Microfilter

Druckdifferenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheidegrad [ % ]	Partikelgröße [ $\mu\text{m}$ ]	Restölgehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,1 bar	99,9999 %	> 0,01 $\mu\text{m}$	> 0,01

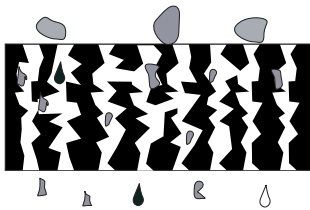


Bild 5.26 :  
Filtrationsmechanismus der Tiefenfilter

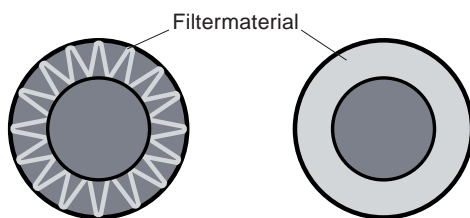


Bild 5.27 :  
Plissiertes und gewickeltes Filtermaterial



Bild 5.28 :  
BOGE-Microfilter, Baureihe F

Microfilter kommen zum Einsatz, wenn hohe Ansprüche an die Qualität der Druckluft gestellt werden. Sie liefern technisch ölfreie Druckluft. Microfilter reduzieren den Restöl-Gehalt der Druckluft auf  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Sie filtern Schmutzpartikel mit einem Abscheidegrad von 99,9999 % bezogen auf  $0,01 \mu\text{m}$  aus.

### Funktionsprinzip

Microfilter, auch Koalenz- oder Hochleistungsfilter genannt, sind Tiefenfilter. Sie filtern die Wasser- und Öl-Kondensatphase in Form von feinen und feinsten Tröpfchen aus der Druckluft.

Der Tiefenfilter ist ein Faservlies, das aus einem Gewirr von feinsten Einzelfasern besteht. Die Fasern sind zufällig miteinander verschlungen und bilden so eine poröse Struktur. Zwischen den Fasern bildet sich ein labyrinthisches System aus Gängen und Öffnungen. Dieses System weist Strömungskanäle auf, die teilweise weitaus größer sind als die auszuscheidenden Partikel. Die Partikelabscheidung erfolgt während des gesamten Weges, den die Druckluft durch das Filterelement zurücklegt.

Die Microfilter arbeiten mit plissiertem Filtermaterial. Dadurch vergrößert sich die effektive Filterfläche im Vergleich zu gewickelten Filtern um ca.  $\frac{1}{3}$ . Der Druckabfall  $\Delta p$  wird ebenfalls erheblich reduziert. Daraus entstehen Vorteile :

- Erhöhte Durchflußleistung.
- Geringerer Energieverlust.
- Längere Standzeiten.

Ein Tiefenfilter wird von **innen** nach **außen** durchströmt. Die Flüssigkeitsphase aus Öl und Wasser lagert sich beim Durchströmen des Filters am Faservlies an. Die Luftströmung treibt dann das Kondensat und die größer werdenden Tropfen weiter durch den Filter nach außen. Ein Teil des Kondensat verläßt durch diesen Effekt das Filterelement wieder. Der Schwerkraft folgend sammelt sich das Kondensat im Sammelraum des Filters.

Die Standzeiten des Filtern nehmen zu, denn das ausgefilterte Kondensat belastet das Element bei dieser Strömungsrichtung nicht mehr.

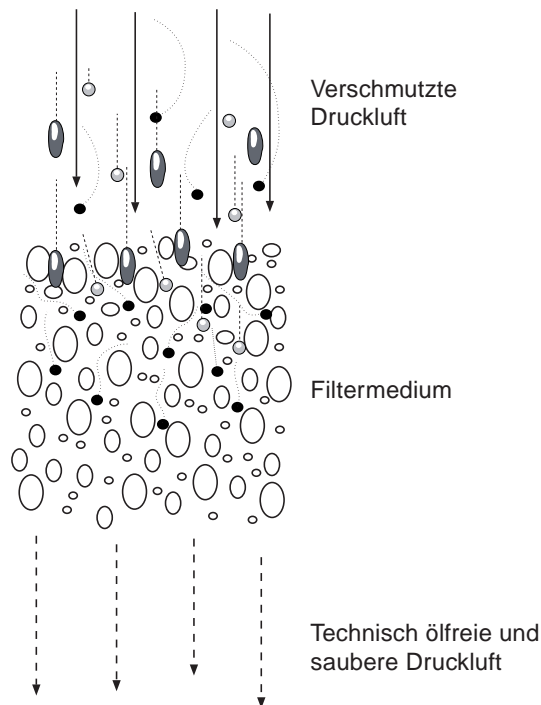


Bild 5.29  
Mechanismen der Tiefenfiltration

## Filtermechanismen

Um das Abscheiden feinsten Teilchen zu erreichen, wirken drei entscheidende Mechanismen zusammen.

- Direkte Berührung.  
Größere Teilchen und Tropfen treffen direkt auf Fasern des Filtermaterials und werden gebunden.
- Aufprall.  
Teilchen und Tropfen treffen auf die willkürlich gelagerten Fasern des Filtermaterials. Dort prallen sie ab, werden aus der Strömungsbahn geleitet und von der nächsten Faser absorbiert.
- Diffusion.  
Kleine und kleinste Partikel koalieren im Strömungsfeld und schließen sich aufgrund der Brown'schen Molekularbewegung zu immer größer werdenden Partikeln zusammen. Diese Partikel scheiden dann aus.

Am weitesten verbreitet in der Hochleistungsfiltertechnik ist Borsilikatfasermaterial in Form von Glasfaserschichten. Es dient als Material für den Tiefenfilter. Darüber hinaus findet man :

- Metallfasern.
- Kunststofffasern.

## Eigenschaften

- Abscheidung von Öl in der Flüssigphase.  
Man findet Kohlenwasserstoffe in zwei Aggregatzuständen in der Druckluft: - gasförmig als Öldampf.  
- flüssig in Form von Tropfen.  
Die Öltropfen filtert ein Hochleistungsfilter zu nahezu 100 % aus. Der Öldampf kann nicht ausgefiltert werden.
- Niedrige Betriebstemperaturen.  
Der Abscheidegrad des Filters sinkt mit steigender Betriebstemperatur. Ein Teil der Öltropfen verdampft und durchdringt den Filter. Bei einem Temperaturanstieg von +20° auf +30° C strömt bereits die 5 - fache Ölmenge durch den Filter.
- Recyclebar.  
Die zum Einsatz kommenden Materialien sind nach umweltpolitischen Gesichtspunkten ausgewählt.

## 5.5.5 Aktivkohlefilter

Druckdifferenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheidungsgrad [ % ]	Partikelgröße [ $\mu\text{m}$ ]	Restölgehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,02 bar	99,9999	0,01	> 0,005



Bild 5.30 :  
BOGE-Filterkombination, Baureihe AF  
Ein Aktivkohlefilter mit vorgeschaltetem Microfilter

Nach dem Einsatz von Hochleistungsfiltern und Trocknern enthält die technisch ölfreie Druckluft immer noch Kohlenwasserstoffe, sowie diverse Geruchs- und Geschmacksstoffe.

Es gibt zahlreiche Druckluftanwendungen, bei denen diese Rückstände zu Produktionsstörungen, Qualitätsbeeinträchtigungen und Geruchsbelästigungen führen würden.

Ein Aktivkohlefilter entfernt die Kohlenwasserstoffdämpfe aus der Druckluft. Der Restöl-Gehalt kann bis auf  $0,005 \text{ mg}/\text{m}^3$  reduziert werden. Die Druckluftqualität ist besser als nach DIN 3188 für Atemluft gefordert. Die auskondensierten Öltröpfchen scheidet bereits der vorgeschaltete Filter ( BOGE-Microfilter Baureihe F ) aus.

### Funktionsprinzip

Die Filterung der Druckluft durch Adsorption ist ein rein physikalischer Vorgang. Die Kohlenwasserstoffe werden durch Adhäsionskräfte ( unausgeglichene molekulare Anziehungskräfte ) an die Aktivkohle gebunden. Dabei kommt es zu keiner chemischen Verbindung.

Die getrocknete und vorgefilterte Druckluft wird durch ein plisieretes Aktivkohle-Filterelement geleitet. Das Erscheinungsbild dieses Filterelements gleicht dem des Microfilters. Wie dort wird die Druckluft von innen nach außen durch das Filterelement geleitet.

### Eigenschaften

- Vorfilterung.  
Einem Aktivkohle-Filter muß immer ein Hochleistungsfilter und ein Trockner vorgeschaltet sein. Verunreinigte Druckluft zerstört das Adsorbat und reduziert die Filterwirkung.
- Keine Regenerierung.  
Die Aktivkohlefüllung läßt sich nicht regenerieren. Je nach Sättigungsgrad muß sie ausgetauscht werden.
- Standzeiten.  
Das Filterelement eines Aktivkohlefilteres muß nach ca. 300 - 400 Betriebsstunden ersetzt werden.

### Anwendungsgebiete

- Nahrungsmittel- und Genußmittelindustrie.
- Pharmazeutische Industrie.
- Chemischen Industrie.
- Oberflächenbearbeitung.
- Medizintechnik.

## 5.5.6 Aktivkohle-Adsorber

Druckdifferenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheidegrad [ % ]	Partikelgröße [ $\mu m$ ]	Restölgehalt [ $mg/m^3$ ]
> 0,1 bar	–	–	> 0,003

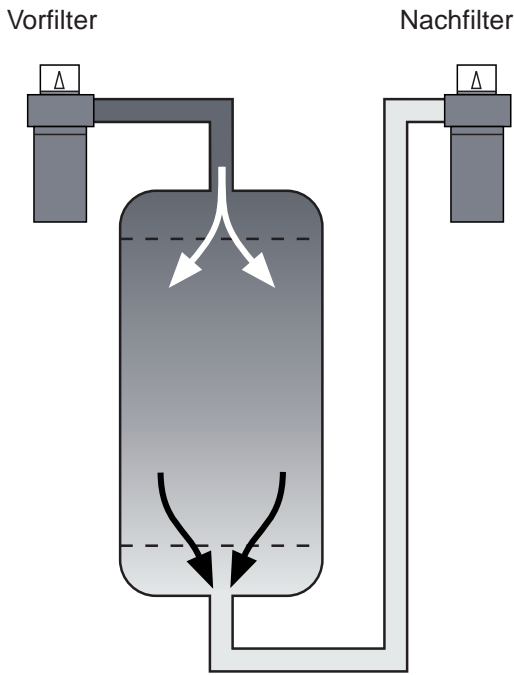


Bild 5.31 : Funktionsschema eines BOGE-Aktivkohle-Adsorbers Typ DC

Nach dem Einsatz von Hochleistungsfiltern und Trocknern enthält die technisch ölfreie Druckluft immer noch Kohlenwasserstoffe, sowie diverse Geruchs- und Geschmacksstoffe. Es gibt zahlreiche Druckluftanwendungen, bei denen diese Rückstände zu Produktionsstörungen, Qualitätsbeeinträchtigungen und Geruchsbelästigungen führen würden.

Ein Aktivkohle-Adsorber entfernt die Kohlenwasserstoffdämpfe aus der Druckluft. Der Restöl-Gehalt kann bis auf  $0,003 \text{ mg/m}^3$  reduziert werden. Die Druckluftqualität ist besser als nach DIN 3188 für Atemluft gefordert. Die auskondensierten Öltröpfchen scheidet bereits der vorgeschaltete Filter (BOGE-Microfilter Baureihe F) aus.

### Funktionsprinzip

Die Filterung der Druckluft durch Adsorption ist ein rein physikalischer Vorgang. Die Kohlenwasserstoffe werden durch Adhäsionskräfte ( unausgeglichene molekulare Anziehungskräfte ) an die Aktivkohle gebunden. Dabei kommt es zu keiner chemischen Verbindung.

Die getrocknete und gefilterte Druckluft wird durch einen Diffusor ins lose aufgeschüttete Aktivkohlebett geleitet. Der Diffusor verteilt die Druckluft gleichmäßig über das gesamte Aktivkohlebett. Das ermöglicht lange Kontaktzeiten und eine optimale Ausnutzung des Adsorptionsmittel. Nach dem Adsorberbett passiert die Druckluft einen Austrittskollektor und verläßt den Aktivkohle -Adsorber.

### Eigenschaften

- Vorfilterung.  
Einem Aktivkohle-Adsorber muß immer ein Hochleistungsfilter und ein Trockner vorgeschaltet sein. Verunreinigte Druckluft zerstört das Adsorbat und reduziert die Filterwirkung.
- Nachfilterung.  
Aus Sicherheitsgründen sollte dem Adsorber ein Hochleistungsfilter nachgeschaltet werden. Die Druckluft reißt feinste Kohlenstaubteilchen ( kleiner  $1 \mu m$  ) aus dem Aktivkohlebett mit.
- Keine Regenerierung.  
Die Aktivkohlefüllung läßt sich nicht regenerieren. Bei Sättigung muß die Aktivkohle ausgetauscht werden.
- Hohe Standzeiten.  
Die Aktivkohlefüllung muß erst nach 8000 - 10000 Betriebsstunden ersetzt werden.

### Anwendungsgebiete

- Wie Aktivkohlefilter.



## 5.5.7 Sterilfilter

Druck-differenz $\Delta p$ [ bar ]	Abscheide-grad [ % ]	Partikel-größe [ $\mu\text{m}$ ]	Restöl-gehalt [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
> 0,09 bar	99,9999	0,01	–



Bild 5.31 :  
BOGE-Sterilfilter, Baureihe ST

Lebende Organismen wie Bakterien, Bakteriophagen und Viren stellen in vielen Bereichen ein großes gesundheitliches Problem dar. Sterilfilter erzeugen 100 % sterile und keimfreie Druckluft.

### Funktionsprinzip

Der vorgereinigte Luftstrom wird von außen nach innen durch das Filterelement geleitet. Das Filterelement setzt sich aus zwei Filterstufen zusammen. Im Vorfilter werden Mikroorganismen bis zu einer Größe von  $1 \mu\text{m}$  festgehalten. Die zweite Filterstufe besteht aus einem chemisch und biologisch neutralen, dreidimensionalen Mikrofaservlies aus Borsilikat. Hier werden die restlichen Organismen ausgefiltert. Ein Edelstahlkäfig fixiert die Filterelemente.

Die Filter sind bis zu 100 mal zu reinigen und zu sterilisieren. Zu diesem Zweck werden sie gedämpft. Dabei strömt bis zu  $+200^\circ\text{C}$  heißer Dampf durch den Filter. Der Dampf kann von beiden Seiten durch den Filter geschickt werden. Eine Sterilisation durch andere Medien ist ebenfalls denkbar.

- Heißwasser
- Heiße Luft
- Gas ( ethylene Oxide, Formaldehyd )
- $\text{H}_2\text{O}_2$

### Eigenschaften

- Edelmateriale.  
Alle Metallbestandteile des Filters sind aus hochlegiertem Edelstahl. Edelstahl bietet Mikroorganismen keinen Nährboden und kann weder korrodieren noch verrotten.
- Resistent.  
Das Filtermedium ist inaktiv und beständig gegen Chemikalien und hohe Temperaturen. Bakterien können nicht an- oder durchwachsen.
- Kurze sterile Kontaktentfernungen.  
Ein Sterilfilter sollte direkt am Endverbraucher installiert werden.

### Anwendungsgebiete

- Nahrungsmittel- und Genußmittelindustrie.
- Pharmazeutische Industrie.
- Chemische Industrie.
- Verpackungsindustrie.
- Medizintechnik.

