

### 4.4 Keramische Filterelemente und deren Anwendung

- Dr.-Ing. Steffen Heidenreich  
Pall Filtersysteme GmbH  
Werk Schumacher  
Crailsheim

*Die Folien finden Sie ab Seite 394.*

#### 4.4.1. Einleitung

Die Anwendung poröser Keramik in der Filtration hat eine lange Geschichte. Bereits seit den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts kommen keramische Filterelemente in der industriellen Gas- und Flüssigkeitsfiltration zum Einsatz. Aufgrund ihrer Vorteile, vor allem der ausgezeichneten Temperatur- und chemischen Beständigkeit sowie der hervorragenden Filtrationsleistung, hat sich die Keramik bis heute ihren Platz in der Filtration erhalten.

#### 4.4.2. Keramische Filterelemente

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen keramischen Filterelementen, die sich in Aufbau, Struktur, Material und Geometrie unterscheiden. Filterkeramik kann aus Kornkeramik, Faserkeramik oder Verbundkeramik aufgebaut sein. Es gibt Filterelemente mit symmetrischer oder asymmetrischer Struktur. Als Material finden vorwiegend Aluminiumoxid, Siliziumcarbid, Silikate, Cordierit, Mullit und Schamotte Anwendung. Die Geometrie reicht von Zylindern, Kerzen, Tüllen, Platten, Kassetten, Scheiben bis hin zu Mono- und Mehrkanalröhren.

An Filtertypen, charakterisiert nach der jeweiligen Anwendung, finden sich Oberflächen-, Anschwemm- und Tiefenfilterelemente sowie Koaleszer und keramische Membranfilterelemente für die Querstromfiltration (Cross Flow Filtration).

Die Filtrationseigenschaften der Filterelemente hängen von der Feinheit des verwendeten Materials und der daraus gebildeten Struktur sowie vom verwendeten Material selbst ab. Mit speziell aufgebauten

Membranfilterelementen können in der Flüssigkeitsfiltration Filterfeinheiten im Nanofiltrationsbereich von kleiner 5 nm erzielt werden. Keramische Ultrafiltrations- (UF-) und Mikrofiltrationsmembranen (MF-Membranen) erreichen Filterfeinheiten von 0,005 bis 1,2  $\mu\text{m}$ . Mit entsprechend groberen Strukturen geht die Filterfeinheit in der Flüssigkeitsfiltration bis zu einigen 10  $\mu\text{m}$  hoch oder auch darüber. Im Gasbereich erstrecken sich die typischen Filterfeinheiten bis in den submikronen Bereich. Je nach Material variiert der Bereich der Temperaturbeständigkeit keramischer Filterelemente bis zu 1.000°C und darüber und die chemischen Beständigkeit im gesamten pH-Bereich von 0 bis 14. Jeder Anwendungsfall erfordert die geeignete Wahl aus den unterschiedlichen Filterelementen, die zur Verfügung stehen.

#### 4.4.3. Anwendungsgebiete

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Anwendungen gegeben, in denen keramische Filterelemente eingesetzt werden. Generell kann gesagt werden, dass keramische Filterelemente überall dort zum Einsatz kommen wo hohe Temperaturen und/oder chemisch aggressive Bedingungen herrschen. Auch die chemische Beständigkeit im Hinblick auf den Einsatz von Reinigungsmitteln und die erzielbare Lebensdauer der Filterelemente lässt die Wahl auf die Keramik fallen.

Ein Paradebeispiel für den Einsatz von keramischen Filterelementen in der Gasfiltration stellt die Heißgasfiltration dar. Schon seit Jahrzehnten werden hier sowohl kornkeramische als auch faserkeramische Filterelemente bevorzugt eingesetzt. Als Alternative kommen bei den hohen Temperaturen nur metallische Filtermedien in Frage. Da in den heißen Gasströmen oftmals schwefel- oder chlorhaltige Komponenten enthalten sind, ist die chemische Beständigkeit der entscheidende Vorteil der Keramik gegenüber den Metallfilterelementen.

Weitere Anwendungsgebiete von keramischen Filterelementen in der Gasfiltration sind unter anderem die Filtration von Prozessgasen, wie zum Beispiel die Filtration von Wasserdampf und anderen Dämpfen sowie von Sauerstoff- und Wasserstoffströmen. Auch in der Mischgasfiltration zur Herstellung von Salpetersäure kommen keramische Filterelemente zum Einsatz. Die Rückgewinnung von Katalysatoren in Herstellprozessen von chemischen Produkten, die Filtration bei der Faulgasgewinnung und die Filtration von Druckluft sind darüber hinaus Anwendungsgebiete von keramischen Filterelementen. Auch als Koaleszer zur Abscheidung von Aerosolen aus Gasströmen werden kera-

mische Filterelemente bei höheren Gastemperaturen oder aggressiven Gasmedien erfolgreich eingesetzt.

In der Flüssigkeitsfiltration werden keramische Filterelemente ebenfalls in vielen unterschiedlichen Prozessen eingesetzt. Hauptkriterium sind vor allem chemische Beständigkeit und Reinigbarkeit für die Wahl von keramischen Filterelementen. Anwendungsgebiete sind unter anderem die Filtration von den verschiedensten Chemikalien als auch von Prozesswässern, Abwässern und Wasser. Weiter werden keramische Filterelemente zur Abtrennung und Rückgewinnung von Katalysatoren aus Herstellprozessen flüssiger chemischer Produkte verwendet. Weitere Hauptanwendungsgebiete keramischer Filterelemente sind der Einsatz als keramische Membranfilterelemente sowie der Einsatz als Anschwemmfilter zur Solefeinfiltration in der Chlor-Alkali-Elektrolyse, die beide nachfolgend noch genauer beschrieben werden.

#### **4.4.4. Beispiele keramischer Filterelementen**

Anhand von ausgewählten Filterelementen, die in ihrer Struktur und ihren Filtereigenschaften sowie in ihren Anwendungsgebieten genauer beschrieben werden, soll ein Eindruck von den Unterschieden verschiedener Filterelementtypen vermittelt werden.

##### **4.4.4.1. Heißgasfilterelement DIA-SCHUMALITH®**

Die Heißgasfilterelemente DIA-SCHUMALITH der Pall Corporation bestehen aus einem grobporösen Siliziumcarbid-Trägerkörper, der mit einer feinfiltrierenden Membran aus Mullit auf der Anströmseite fest versintert ist. Zur Verfügung stehen unterschiedliche Membranen, die je nach Anwendungsfall und geforderter Abscheideleistung passend ausgewählt werden. Die Kombination von Trägerkörper und Membran gewährleistet einen geringeren Differenzdruck bei hoher Filterfeinheit und sehr gutem Abreinigungsverhalten. Das Abreinigungsverhalten ist insbesondere im Hinblick auf die Langzeitstabilität der Filterelemente für einen dauerhaften und zuverlässigen Betrieb von hoher Wichtigkeit. Die mittlere Porengröße des Trägerkörpers beträgt 50 µm. Die Membran ist in einer Dicke von 150 bis 200 µm aufgetragen. Die Filterelemente sind als Zylinder oder Tülle erhältlich. Bevorzugt werden sie als Tülle mit Längen zwischen 1,5 und 2,5 m eingesetzt. Der Außendurchmesser der Elemente beträgt standardmäßig 60 mm und der Innendurchmesser 40 mm. DIA-SCHUMALITH Filterelemente werden

im Bereich der Heißgasfiltration insbesondere aufgrund ihrer hervorragenden Temperaturwechselbeständigkeit bevorzugt eingesetzt. Infolge einer kontinuierlichen Verbesserung und Weiterentwicklung der Filterelemente besitzen diese eine sehr hohe mechanische Festigkeit, die auch bei Temperaturen oberhalb von 800 °C noch hervorragend ist. Durch den homogenen Aufbau der feinfltrierenden Membran können Partikeln mit Größen herab bis zu 0,3 µm effizient abgeschieden werden. Es können Reingaskonzentrationen von typischerweise kleiner 1 mg/m<sup>3</sup> erzielt werden. Durch die Membran wird eine Oberflächenfiltration erreicht. Im Gegensatz zu der Tiefenfiltration, bei der die Partikeln in die Filterstruktur eindringen und in den Poren eingelagert werden, werden die Partikeln bei der Oberflächenfiltration als Filterkuchen auf der Anströmseite der Filterelemente abgeschieden. Ist ein entsprechender Druckverlust durch den kontinuierlich anwachsenden Filterkuchen erreicht, wird dieser von den Filterelementen abgereinigt und der Filtrationszyklus beginnt von neuem. In der Gasfiltration erfolgt die Abreinigung durch einen Druckimpuls entgegen der Filtrationsrichtung. Abreinigbare Oberflächenfilter werden in kontinuierlich ablaufenden Prozessen mit höheren Partikelkonzentrationen eingesetzt.

DIA-SCHUMALITH Filterelemente haben sich weltweit seit vielen Jahren in verschiedenen Heißgasfiltrationsanwendungen erfolgreich im Einsatz bewährt.

#### **4.4.4.2. CARBO™ Filterelement**

CARBO Filterelemente bestehen aus hochwertigem Kohlenstoff. Je nach Typ sind die CARBO Filterelemente aus unterschiedlichen Kornfraktionen aufgebaut. Diese sind über Kohlenstoffbrücken miteinander verbunden, die durch die Verkokung von Teer erzeugt wurden. Aufgrund des bindemittelfreien Kohlenstoffgefüges besitzt das Filtermedium eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit. CARBO Filterelemente decken ein breites Anwendungsspektrum ab. Die feinporigen Typen mit sehr glatter Oberfläche sind besonders für die Feinstfiltration mit Rückreinigung geeignet. Die gröberen Typen haben eine leicht raue Oberfläche, an der Filterhilfsmittel gut haften. Sie werden bevorzugt zur Anschwemmfiltration mit Cellulose eingesetzt. Die Vielfalt der CARBO Typen ermöglicht es, für zahlreiche Filtrationsaufgaben das optimale Filtermedium zu wählen.

Ein Anwendungsschwerpunkt für CARBO Filterelemente als Anschwemmfilter ist die Polierfiltration der Sole in der Chloralkali-Elektrolyse. Die vollautomatischen rückspülbaren Anschwemmfilter mit CARBO Elementen werden unmittelbar vor dem Ionenaustauscher und der Membranzelle betrieben. Neben der guten Haftung des Filterhilfsmittels auf den Filterelementen gewährleisten die CARBO Elemente zudem eine gleichmäßige Durchströmung der Elemente und damit einen gleichmäßigen Aufbau der Anschwemmschicht über der gesamten Länge der Filterelemente. Durch die starre Struktur der Keramikfilter ist eine Formänderung der Anschwemmschicht bei steigendem Differenzdruck während des Filtrationszyklus und damit eine Rissbildung der Schicht ausgeschlossen. Partikeln größer  $0,3 \mu\text{m}$  werden bis zu einer Konzentration von kleiner  $0,5 \text{ ppm}$  in der Sole abgeschieden. CARBO Filterelemente sind weltweit in über 300 Anschwemmfilteranlagen zur Solefeinfiltration erfolgreich im Einsatz.

#### 4.4.4.3. Keramisches Membranfilterelement SCHUMASIV®

Die keramischen Membranfilterelemente SCHUMASIV von Pall bestehen aus einem Trägerkörper aus reinem  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , der chemisch stabilen Form von Aluminiumoxid. Die Membranen sind, je nach Porengröße, aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  oder  $\text{TiO}_2$  aufgebaut. Durch die fein abgestuften Membranen und die definierten Herstellbedingungen können SCHUMASIV Membranfilterelemente mit Porengrößen hergestellt werden, die den gesamten Bereich der Mikro- und Ultrafiltration von  $1,2$  bis  $0,005 \mu\text{m}$  abdecken. Die röhrenförmigen ein- und mehrkanaligen Filterelemente eignen sich für Querstromfiltrationsanwendungen, bei denen abrasive oder chemisch aggressive Bedingungen herrschen. Der Bereich der pH-Beständigkeit erstreckt sich von 1 bis 14. Die Filterelemente zeichnen sich insbesondere durch ihre hohe Trennschärfe aus. Die hohe Temperaturbeständigkeit im Vergleich zu Polymermembranen öffnet weitere, interessante Anwendungsmöglichkeiten. Es gibt die Filterelemente mit Kanaldurchmessern von 3 bis 8 mm. Neuere Entwicklungen zielten darauf ab, die Packungsdichte der Kanäle und damit die Filtrationsflächendichte zu erhöhen. Es wurden Elemente mit einer um 50 % erhöhten Filterfläche bei gleichem Elementaußendurchmesser entwickelt. Beispielsweise wurden neue Elemente mit einem Außendurchmesser von 41 mm und 60 Einzelkanälen (Kanaldurchmesser 3,3 mm) entwickelt. Die Elemente sind mit

einer Länge von bis zu 1,2 m verfügbar und besitzen pro Element eine Filtrationsfläche von 0,62 m<sup>2</sup>.

SCHUMASIV Membranfilterelemente werden seit Jahren erfolgreich in den verschiedensten Prozessen zur Öl/Wasser-Trennung verwendet. Beispiele hierfür sind unter anderem die Aufarbeitung von Kompressor-kondensaten und Kühlschmierstoffen, die Reinigung von Wasch-wässern und Abwässern sowie die Standzeitverlängerung von Reini-gungs- und Entfettungsbädern. Weitere Anwendungsschwerpunkte sind in der Wasseraufbereitung, bei der Filtration von Emaille, Farben und Lacken, im Recycling von Katalysatoren sowie der Filtration von Säuren und Laugen zu finden. Darüber hinaus existieren Anwendun-gen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie sowie in der Pharma-industrie.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 24) finden sich auf den folgenden Seiten.

DIA-SCHUMALITH, CARBO und SCHUMASIV sind Schutzmarken der Pall Corporation oder der Pall Filtersystems GmbH.

® kennzeichnet eine in Deutschland registrierte Schutzmarke.

# **Keramische Filterelemente und deren Anwendung**

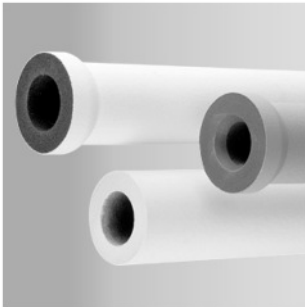
Dr.-Ing. Steffen Heidenreich  
Pall Filtersystems GmbH Werk Schumacher  
Crailsheim







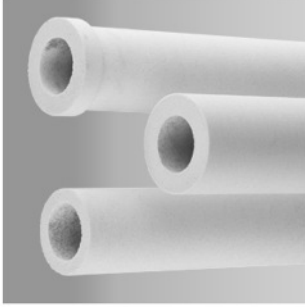
## Filterelemente aus Keramik



DIA-SCHUMALITH®



CARBO™



KERMODUR®

### *Oberflächenfilter*

- DIA-SCHUMALITH®

### *AnschwemmfILTER*

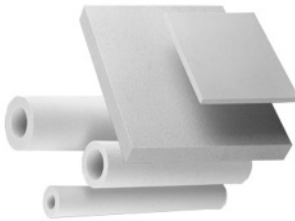
- CARBO™
- SCHUMATHERM®

### *Tiefenfilter*

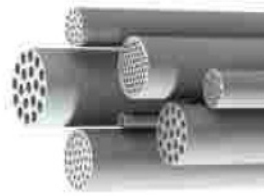
- AEROLITH®
- SCHUMATHERM®
- SCHUMALITH®
- KERMODUR®

DIA-SCHUMALITH, CARBO, SCHUMATHERM, AEROLITH, SCHUMALITH und KERMODUR sind Schutzmarken der Pall Corporation oder der Pall Filtersystems GmbH.  
® kennzeichnet eine in Deutschland registrierte Schutzmarke.

## Filterelemente aus Keramik



**AEROLITH®**



**SCHUMASIV®**



**BRANDOL®**

### **Koaleszer**

- AEROLITH®

### **Cross Flow Filter**

- SCHUMASIV®

### **Belüfter**

- BRANDOL®
- AEROLITH®
- SCHUMATHERM®

SCHUMASIV und BRANDOL sind Schutzmarken der Pall Corporation oder der Pall Filtersystems GmbH.

® Kennzeichnet eine in Deutschland registrierte Schutzmarke.

## Woraus sind die Filterelemente gemacht?



- Aluminiumoxid
- Siliziumcarbid
- Siliziumdioxid
- Schamotte
- Mullit
- technisch reiner Kohlenstoff
- Aktivkohle



## **Vorteile keramischer Filterelemente**

- **Filtration bei hohen Temperaturen**
- **Filtration bei hohen Drücken**
- **Filtration unter chemisch aggressiven Bedingungen**
- **Sehr hohe Abscheideleistung ( $<< 1 \text{ g/Nm}^3$ ) auch bei feinen Stäuben**
- **Hohe Lebensdauer**
- **Sehr gute Reinigbarkeit**

## Filtereigenschaften

*hängen vom verwendeten Material ab.*

Temperaturbeständigkeit: bis 1.000 °C

Filterationsfeinheit:

In Flüssigkeiten:      0.005 – 1.2 µm  
                                    0.5 - 50 µm ( $\beta_{5000}$ )  
                                    0.3 - 12 µm ( $\beta_{5000}$ )

In Gasen:

pH-Bereich:              pH 0 - 14  
                                    pH 1 – 14  
                                    pH 0 - 10  
                                    pH 0 - 9

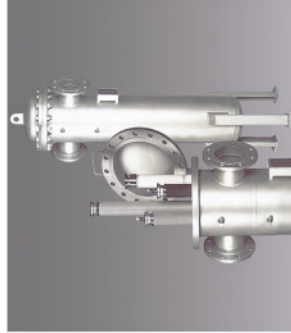
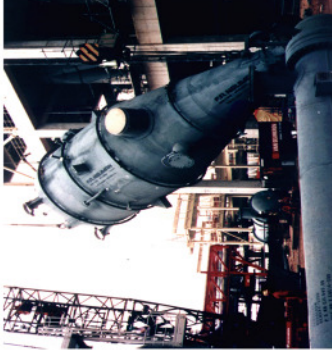
Geometrie:

Zylinder, Kerzen, Tüllen,  
Platten, Scheiben  
Einkanal-, Mehrkanalelemente

## Anwendungsgebiete

### Gasfiltration:

- Heißgas (Ab-, Synthese-, Chlorgas)
- Mischgas
- Katalysatorrückgewinnung
- Dampf / Sauerstoff / Wasserstoff
- Aerosol-Abscheidung
- Faulgasfiltration
- Druckluft



## Anwendungsgebiete



### Flüssigkeitsfiltration:

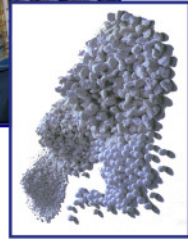
- Wasser, Abwasser, Prozeßwasser
- Kondensat
- Sole (Chlor-Alkali-Elektrolyse)
- Chemikalien
- Katalysatorrückgewinnung
- Getränke
- Öl/Wasser-Trennung



## **Anwendungsgebiete**

### **Wasser- und Abwasserbehandlung:**

- **Feinblasige Abwasserbelüftung**
- **MF/UF-Membranen zur Filtration von Wasser und Abwasser**
- **Keramische Trägermaterialien für chemische Katalysatoren und biologische Wirkstoffe**
- **Trinkwasserbehandlung**





## DIA-SCHUMALITH® Heißgasfilterelement



### Typ:

Rückreinigbares  
Oberflächenfilterelement

### Trägerkörper:

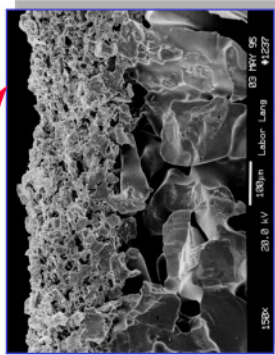
Siliciumcarbidkörner (SiC)

### Membran:

Kornmembran aus Mullit  
(DIA 05, DIA 10)

Membran ist mit dem Träger fest  
versintert

Membrandicke: 150-200  $\mu\text{m}$



## DIA-SCHUMALITH® Filtertüllen



### Abmessungen:

- Außendurchmesser:  
60 mm
- Innendurchmesser:  
40 mm
- Länge:  
500 - 2500 mm

1,25 m, 1,5 m, 2 m und 2,5 m lange Filtertüllen

## DIA-SCHUMALITH® Heißgasfilterelement



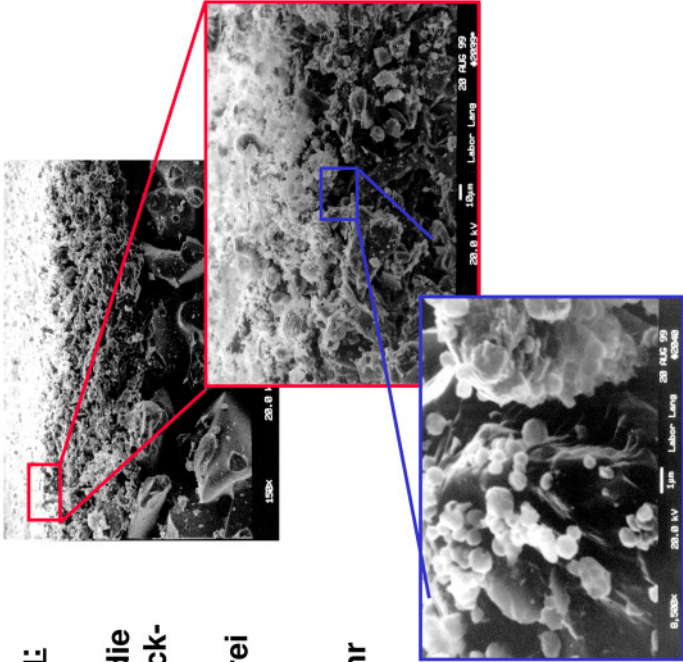
### Chemische Eigenschaften

- Hochtemperaturbeständig
- Beständig in oxidierender und reduzierender Atmosphäre
- Beständig gegen aggressive Gaskomponenten

### Physikalische Eigenschaften

- Exzellente Filtrationsfeinheit ( $\geq 0.5 \mu\text{m}$  Partikelgröße)
- Ausgezeichnete Reinigungsaktivität ( $\leq 1 \text{ mg} / \text{Nm}^3$  Reingaspartikelkonzentration)
- Hervorragende Temperaturwechselbeständigkeit
- Sehr gute mechanische Eigenschaften ( $> 50 \text{ bar}$  Berstdruck)

## DIA-SCHUMALITH® Heißgasfilterelement



### Partikelabscheideleistung:

- Partikel werden durch die Membran effektiv zurückgehalten
- Die Trägerstruktur ist frei von Partikeln
- Exzellente Partikelabscheidung auch bei sehr feinen Stäuben



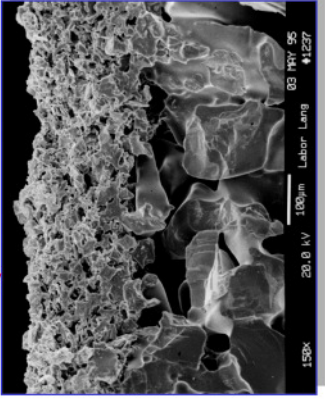
REM Bild eines gebrauchten  
DIA-SCHUMALITH 10-20

FCC Katalysator Feinstaub,  
Mittlerer Durchmesser: 0.96 µm

**think Ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**DIA-SCHUMALITH® Heißgasfilterelement**

**DETAILS halten den Prozess am laufen**



The image shows a scanning electron microscope (SEM) image of a ceramic filter element cross-section. The image displays a porous, multi-layered structure. Technical data at the bottom of the SEM image includes: 1500X magnification, 20.0 kV voltage, 100µm scale bar, Labor Lang location, 03 MAY 96 date, and #12377 sample ID. A red circle highlights a specific detail in the SEM image, with a red arrow pointing to a similar detail in a close-up photograph of three white ceramic filter elements. Another red circle highlights a detail in a photograph of an industrial plant, with a red arrow pointing to a similar detail in the SEM image.

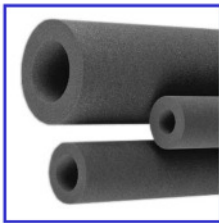
4.4 Keramische Filtersysteme - Folie 15

## **DIA-SCHUMALITH® Heißgasfilterelement**

### **Anwendungsbeispiele Heißgasfiltration:**

- Raffinerien (FCCU)
- Kohleverbrennung
- Kohlevergasung
- Biomasse Verbrennung, Vergasung und Pyrolyse
- Erzaufbereitung und Schmelzprozesse
- Verbrennung radioaktiver Abfälle
- Herstellung keramischer Pulver, Pigmente und Nanopartikel
- Thermorecycling
- Müllvergasung

## CARBO™ Filterelement



### CARBO™ Filterelemente

Bestehen aus technisch reinem Kohlenstoff (98 % C). Je nach Typ sind die CARBO Filterelemente aus unterschiedlichen Kornfraktionen aufgebaut.

|  |   |
|--|---|
| <b>Partikelfilter für Flüssigkeiten</b>    | Polierfiltration von aggressiven Flüssigkeiten Katalysator-Rückgewinnung aus Reaktionslösungen Entzickung von Natronlauge Partikelabscheidung aus Kondensat |
| <b>Stützkörper für Anschwemmfiltration</b> | Polierfiltration von Zellensole in der Chlor-Alkali-Industrie nach dem Membran- bzw. Diaphragma-Verfahren   |
| <b>Partikelfilter für Gase</b>             | Partikelabscheidung aus Wasserdampf Partikelabscheidung aus aggressiven Abgasen   |

## CARBO™ Filterelement

### Sole Filtration

Anschwemmfiltration

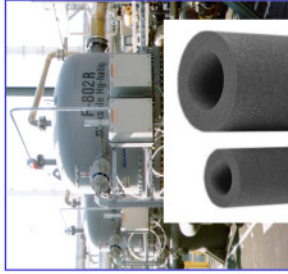


CARBO 40

*In mehr als 300 Anlagen  
weltweit im Einsatz*

### NaOH Filtration

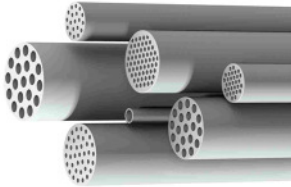
Filtration mit und ohne  
Anschwemmung



CARBO 20; 10; 5



## SCHUMASIV® Filterelement



### Typ:

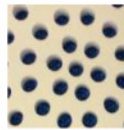
Keramische MF/UF Membran für die  
Cross Flow Filtration

### Trägerkörper:

$\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$

### Membran:

MF (1,2 - 0,2  $\mu\text{m}$ ):  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
UF (0,1 - 0,005  $\mu\text{m}$ ):  $\text{ZrO}_2$  /  $\text{TiO}_2$

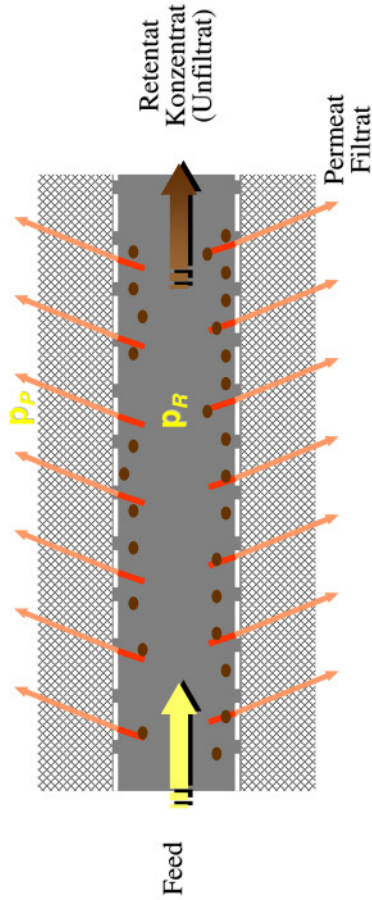


### Geometrie:

Runde und hexagonale  
Kanalgeometrie

## Cross Flow Filtration

# Funktionsprinzip



Das Filtrat geht durch die Membran im rechten Winkel zur Fließrichtung, daher die Bezeichnung "Cross Flow Filtration" (CFF). Die Partikel werden an der Membran zurückgehalten.

## SCHUMASIV® Filterelement



### Technische Daten von SCHUMASIV®

- Transmembrandruck: max. 15 bar
- pH-Bereich: 1 –14
- Permeatfluß mit Aqua dest.: ca. 1000 l/(h m<sup>2</sup> bar ) bei RT/0,6 µm Porengröße
- Reinigung: Keine Limitierung für Reinigungsmittel mit Ausnahme von HF

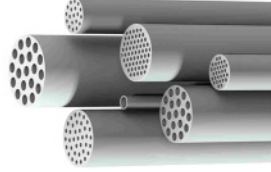


## **SCHUMASIV® Filterelement**

### **- die keramische Allround-Membran zur Öl-/Wasser-Trennung**

- Reinigung von mit emulgierten Ölen belasteten Abwässern
- Aufarbeitung von Kompressorkondensaten
- Aufarbeitung von Kühlschmiermitteln
- Standzeitverlängerung von Reinigungs- bzw. Entfettungsbädern
- Schleiföl/-wasser Recycling
- Reinigung von Waschlaugen und Waschwässern
- Entölung von Bilgenwasser
- Recycling von Riß-Prüfölen

..... u.v.m.....



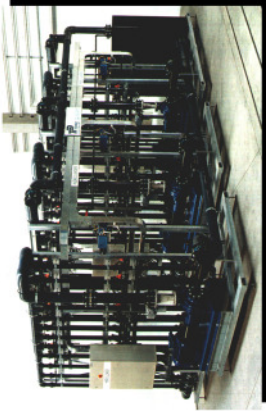
## SCHUMASIV® Filterelement



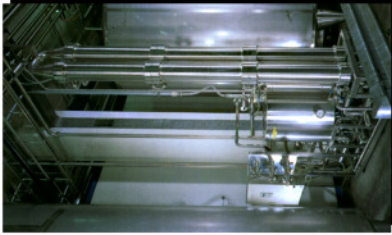
### weitere Anwendungen

#### Wasseraufbereitung:

- Biomassen-Trennung
- CSB -/BSB - Reduzierung
- Gülle Filtration
- Aufbereitung von Flaschenwaschwasser
- Reinigung von Waschlaugen und -wässern



## SCHUMASIV® Filterelement



### weitere typische Anwendungen

- Recycling von Katalysatoren, Emaille, Farben, Lacken, sowie Badpflege von Galvanik-, Elektrolyt- und Halbleiterbädern
  - Aufbereitung von Druckwalzenreinigern und Weichmachern, Photoresistlacken und Elektrolytbädern
- ➔ Darüber hinaus gibt es Anwendungen in der Lebensmittel-, Getränke- und Pharmaindustrie sowie in der Biotechnologie