

Einführung in die Verfahrenstechnik und Naturstofftechnik 1-1

Mechanische Verfahrenstechnik

Folien zur Vorlesung

NUR ZUM PERSÖNLICHEN GEBRAUCH!

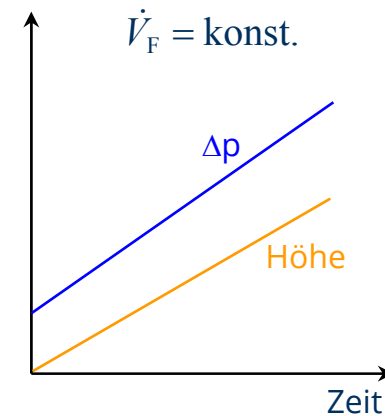
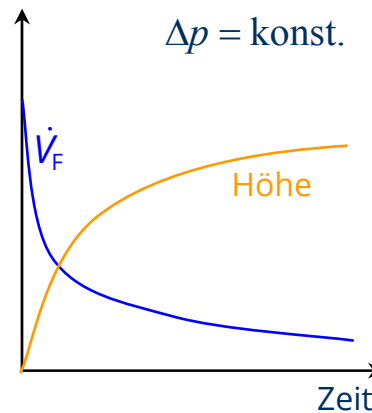
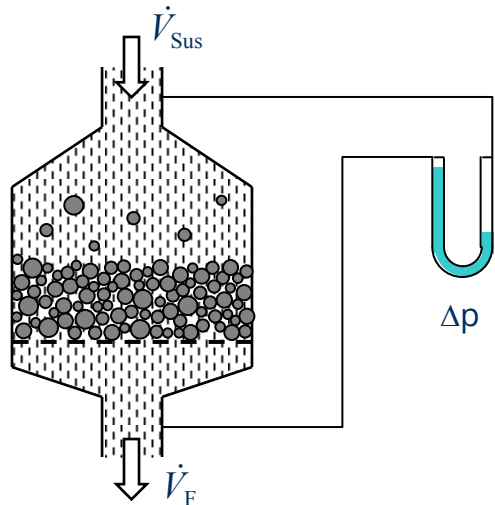
PD Dr.-Ing. habil. Frank Babick, 1. Oktober 2020

5. Filtration

– Kuchenfiltration –

Betriebsweisen der Kuchenfiltration

- reine Kuchenfiltration
 - Anfangsphase: Abscheidung der Partikel an Oberfläche des Filtermittels
 - Kuchenwachstum: Abscheidung der Partikel an Kuchenoberfläche
 - Ende: Stopp der Suspensionszufuhr und Abnahme des Filterkuchens
- prinzipielle Betriebsmodi
 - konstante Druckdifferenz
 - konstanter Filtratvolumenstrom



Allgemeine Filtergleichung der Kuchenfiltration

- Druckverlust des Filters
 - resultiert aus Strömungswiderstand des Filtermittels und des Filterkuchens
 - Ansatz nach Darcy: $\Delta p = (R_K + R_M) \cdot \eta_F \cdot \frac{\dot{V}_F}{A}$
- Widerstand des Filterkuchens
 - höhenabhängig $R_K = r_K \cdot h_K$ $r_K =$ höhenpezif. FK-Widerstand
 - Wobei $h_K = K_S \cdot \frac{V_F}{A}$ $K_S = \frac{c_{V,0} - c_{V,F}}{1 - c_{V,0} - \varepsilon_K}$ $K_S =$ Kuchenbildungskonstante
- allgemeine Filtergleichung:

$$\Delta p = \left(r_K \cdot K_S \cdot \frac{V_F}{A} + R_M \right) \cdot \eta_F \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{dV_F}{dt}$$
- spezielle Lösungen
 - konstanter Betriebsdruck $\Delta p \cdot t = \frac{r_K K_S \eta_F}{2A^2} \cdot V_F^2 + \frac{R_M \eta_F}{A} \cdot V_F$
 - konst. Filtratvolumenstrom: $\Delta p = r_K K_S \eta_F \cdot \left(\frac{\dot{V}_F}{A} \right)^2 \cdot t + R_M \eta_F \cdot \frac{\dot{V}_F}{A}$



Widerstand von Filtermittel und Filterkuchen

- Filtermittelwiderstand R_M :

- Leinwandgewebe: $R_M = 0.7 \dots 5 \text{ nm}^{-1}$
- Filterpapiere: $R_M = 7.6 \dots 500 \text{ nm}^{-1}$
- Nadelfilze: $R_M = 0.005 \dots 0.7 \text{ nm}^{-1}$
- Keramikfilter: $R_M = 0.2 \dots 1 \text{ nm}^{-1}$



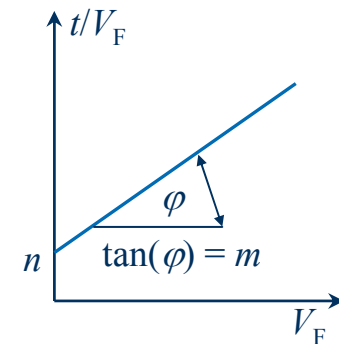
- spezif. Filterkuchenwiderstand r_K

- gut filtrierbar: $r_K < 10 \mu\text{m}^{-2}$ (sehr gut: $r_K < 1 \mu\text{m}^{-2}$)
- schlecht filtrierbar $r_K > 10 \mu\text{m}^{-2}$ (sehr schlecht: $r_K > 100 \mu\text{m}^{-2}$)

- experimentelle Bestimmung im Handfilterversuch

- kleine Filterplatte
- Ansaugen aus der Partikel mit $\Delta p = \text{konst.}$
- Messdaten: V_F vs. t

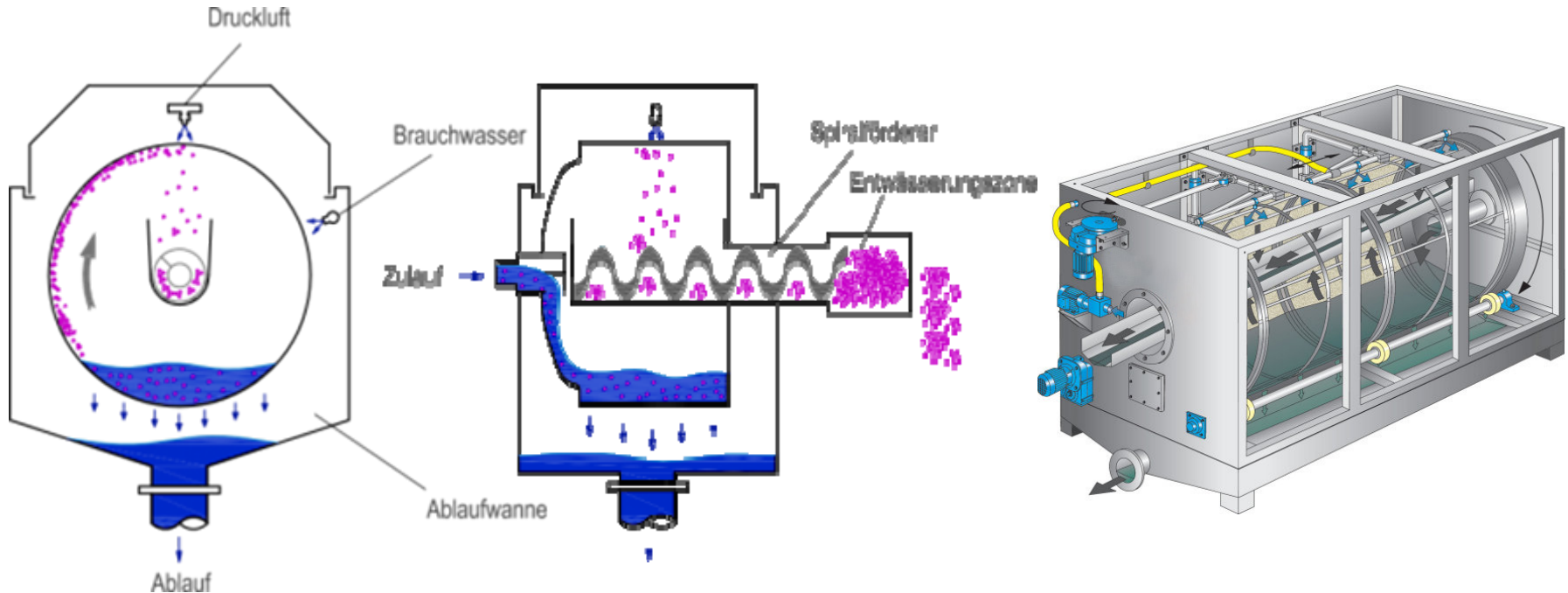
- Filtergerade
$$\frac{t}{V_F} = \frac{r_K \cdot K_S \cdot \eta_F}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V_F + \frac{R_M \cdot \eta_F}{A \cdot \Delta p} \quad y = m \cdot x + n$$



Technische Umsetzung der Kuchenfiltration

- **Schwerkraftfiltration** (Durchströmung infolge des hydrostatischen Druckes)
 - + sehr geringer Energiebedarf, Filtrat- und Suspensionsseite an Atmosphäre
 - kleine Druckdifferenzen (1 m WS \cong 0,1 bar), beschränkt auf grobkörnige Suspensionen
- **Druckfiltration** (Überdruck auf Suspensionsseite)
 - + große Druckdifferenzen (10 ... 16 bar) \rightarrow hoher Filtratdurchsatz / einzige Möglichkeit für schwer filtrierbare Systeme
 - hohe Beanspruchung der Apparateile (wie Dichtungen), Pumpe auf Suspensionsseite
 - Filterkuchen im Druckbereich \rightarrow i.d.R. nur diskontinuierlicher Betrieb
 - o Komprimierung des FK \rightarrow geringere Restfeuchte, aber auch: höheres r_K und ggf. Produktschädigung
- **Vakuumfiltration** (Überdruck auf Suspensionsseite)
 - + FK bleibt frei zugänglich \rightarrow kontinuierlicher Betrieb möglich, vereinfachte Nachbehandlung (Waschen etc.)
 - geringe Druckdifferenzen (< 1 bar), ungeeignet für hohe r_K
 - außer Vakuumpumpe werden noch Filtratabscheider und Filtratpumpe benötigt
 - o keine Komprimierung des FK \rightarrow produktschonend, aber auch: hohe Restfeuchte
- **Kombination: Saug-Druck-Filtration**

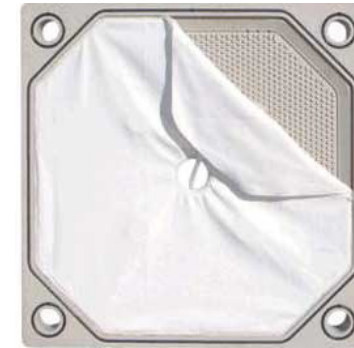
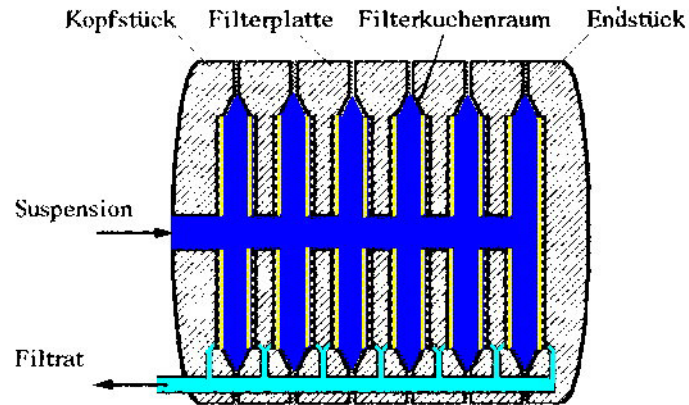
Schwerkraft-Trommelfilter



Fa. ABZ-Zierler GmbH & Co KG, Bad Ischl (Broschüre zur MDF Serie 1500, Stand: 05/2016)

Modulare Filterpressen

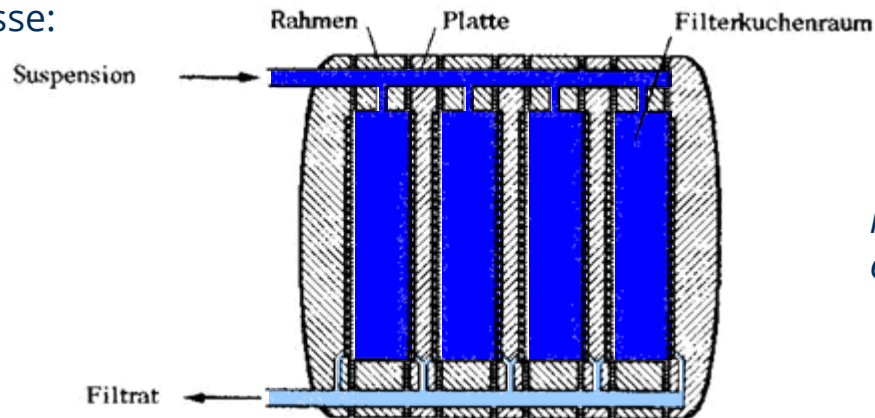
Kammerfilterpresse:



Filterplatte

(<https://www.beidouu.com/wp-content/uploads/2019/10/filter-cloth.jpg>)

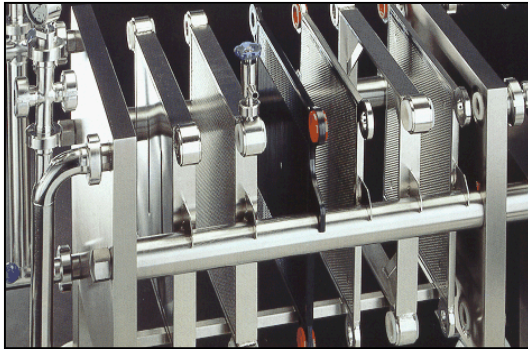
Rahmenfilterpresse:



modularer Aufbau ermöglicht einfache Anpassung der Filterfläche

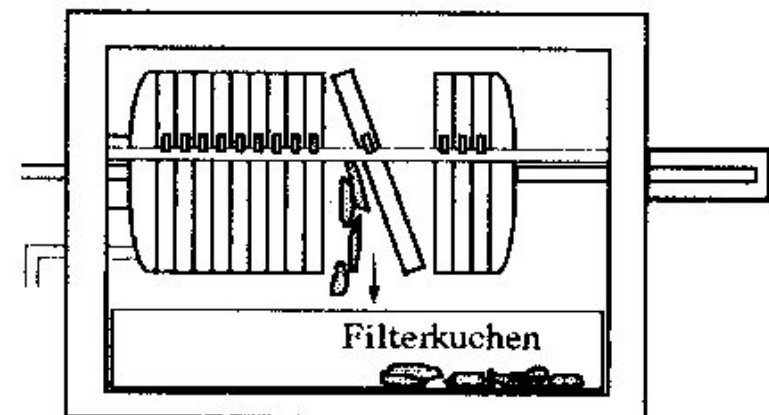
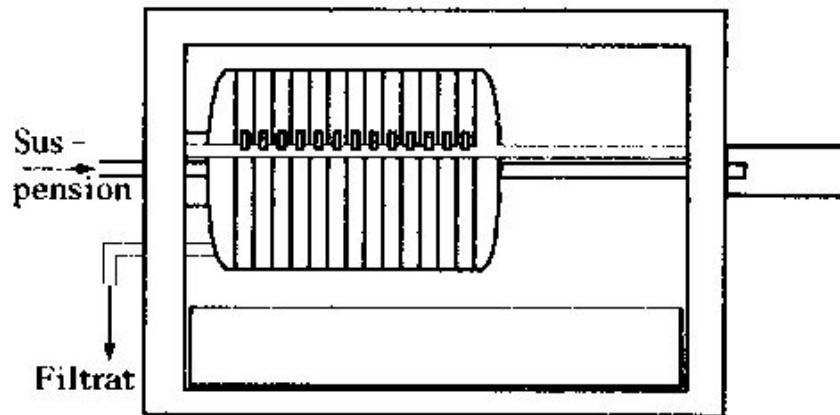
M. Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik 2*, Springer, Berlin, **1994**; S. 134 f.

Kammerfilterpresse



Betrieb

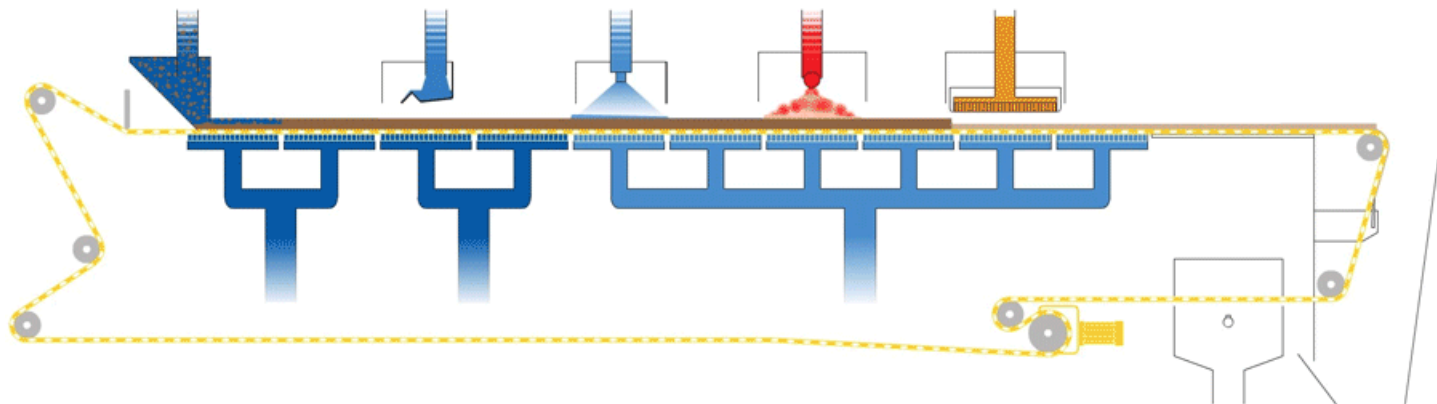
Entleeren



<https://www.strassburger-filter.de/produkte/kammerfilterpresse> (2020)

Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik 2*, Springer, Berlin, 1994, S. 135

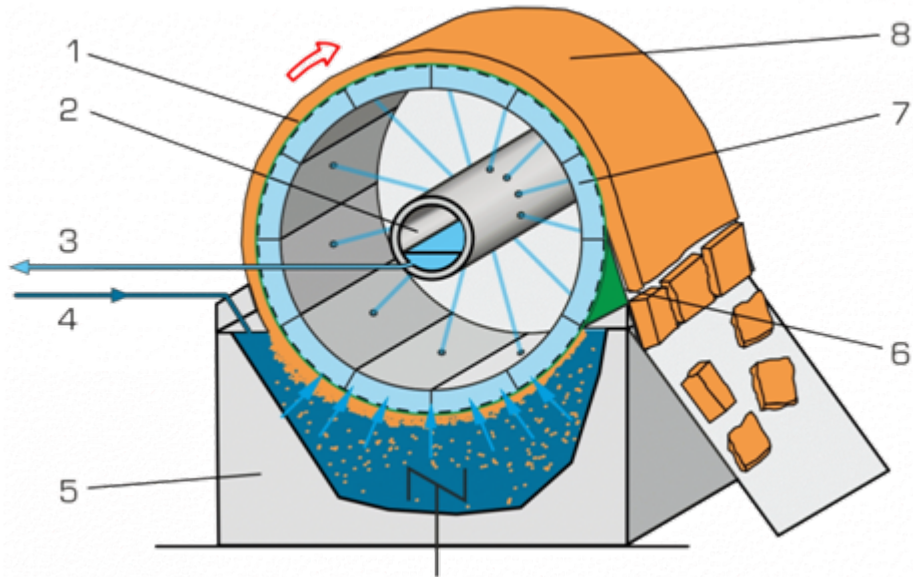
Bandfilter



© BHS-Sonthofen

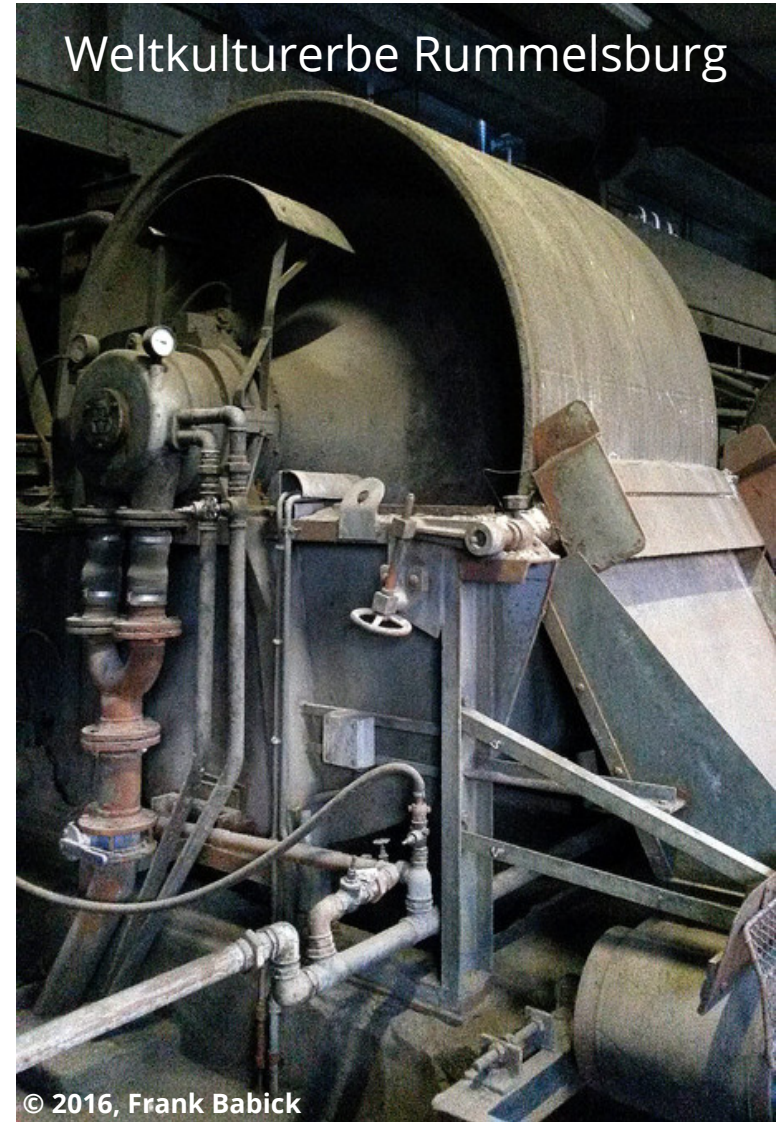
Tarleton & Wakeman: *Solid/Liquid Separation*. Butterwoth-Heinemann, **2007**; chapt. 7, pp. 329-382
© BHS Sonthofen, <https://www.bhs-filtration.com/products/continuing-indexing-vacuum-belt-filter/>

Vakuumentrommelzellenfilter

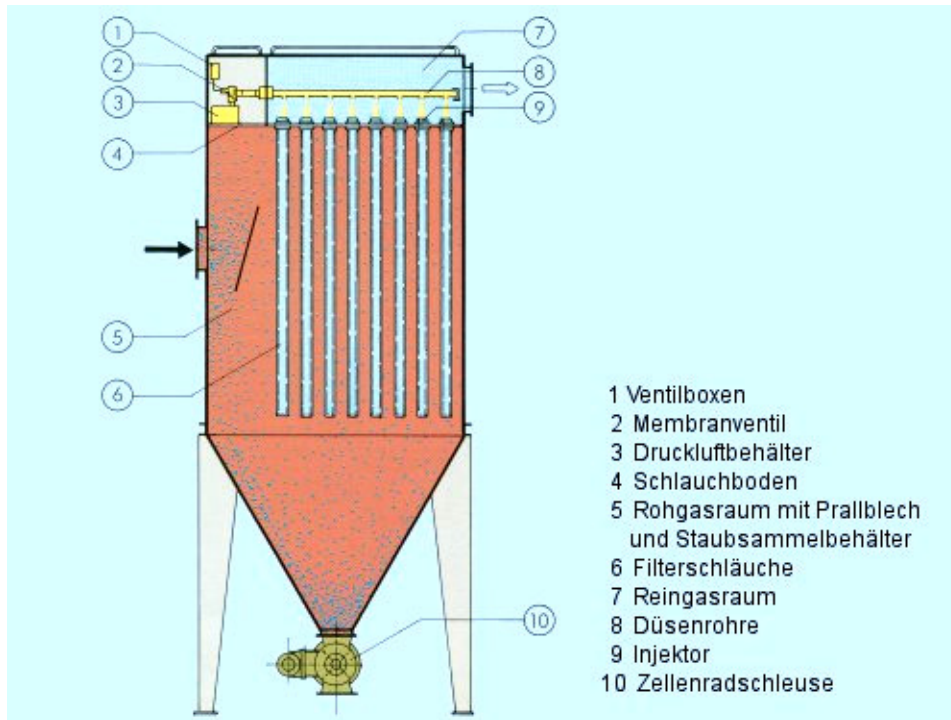


- 1 perforierte Trommel mit Filtertuch
- 2 Hohlwelle
- 3 Vakuum (Filtrat)
- 4 Suspensionszulauf
- 5 Suspensionsbehälter
- 6 Filterkuchenabnahme
- 7 Zelle
- 8 Filterkuchen

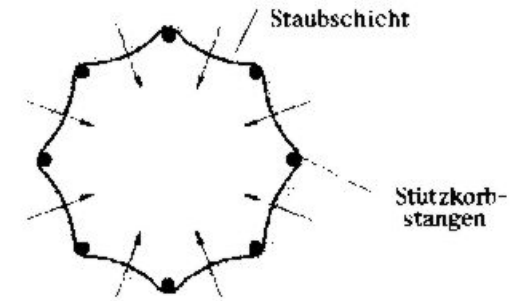
www.gunt.de/images/datasheet/27/CE-283-Trommelzellenfilter-fullview-gunt-27-zeichnung_einheit_2.png



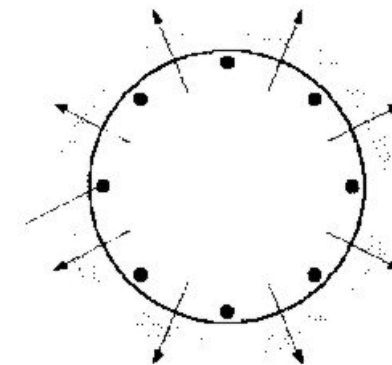
Schlauchfilter zur Entstaubung



Filtration



Abreinigung



Walter GmbH (2007)

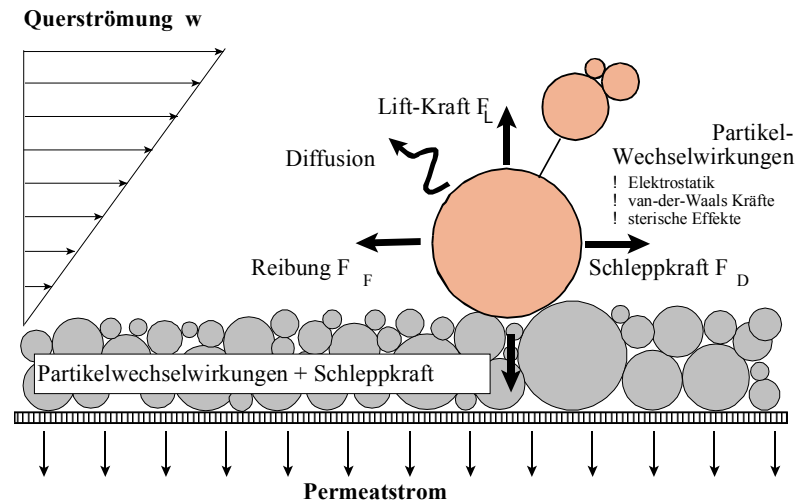
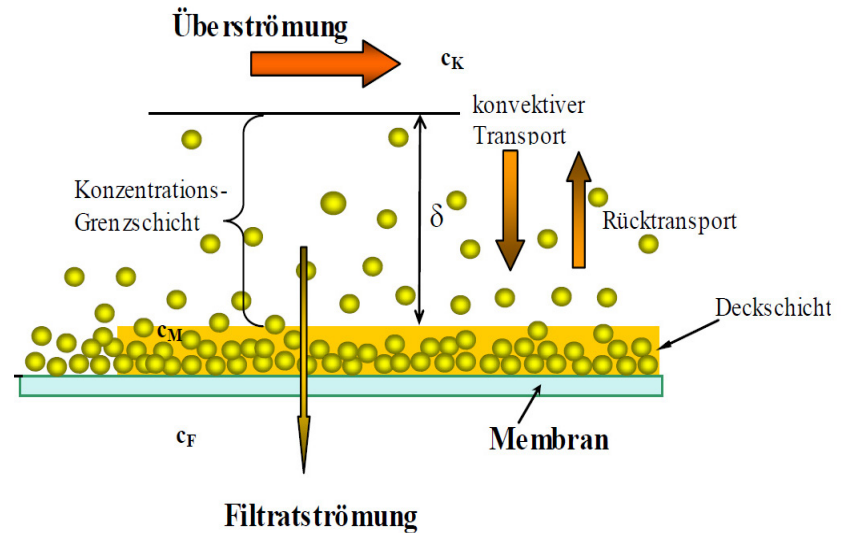
M. Stieß, *Mechanische Verfahrenstechnik 2*. Springer, 1994; S. 27

5. Filtration

– *Querstromfiltration* –

Prinzip der Querstromfiltration

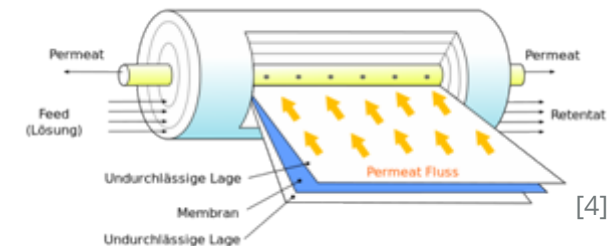
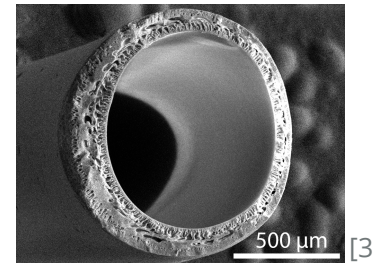
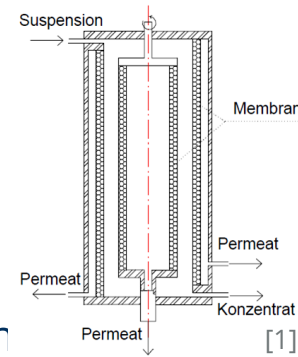
- **Grundidee:**
tangentielle Überströmung des FM
→ Scherkräfte auf abgelagerte Partikel
→ minimaler Deckschichtwiderstand
→ Filtratdurchsatz ist membranbestimmt
- **Praxis:**
 - Deckschichtbildung ist unvermeidbar
 - schließlich: stationäre Deckschicht
 - Filtratdurchsatz ist auch abhängig von der Deckschicht
- **Mikroprozesse:**
 - laminare Strömung an Membran
 - Durchströmung von Membran und Deckschicht
 - Partikeltransport in die, weg von der und parallel zur Deckschicht
(größenabhängig)





Technische Realisierung der Querstromfiltration

- Strömung im Scherspalt
 - z.B. rotierender Zylinder
- rotierende Filtermittel in ruhender Suspension
 - Keramikmembranen
 - auf einer oder mehreren Hohlwellen
- Strömung durch Hohlfasermembranen
 - Polymermembranen (\varnothing ab 0,2 mm)
 - Keramikmembranen (\varnothing ab 1 mm)
- Strömung durch Wickelmodule
 - gerollte Polymermembranen



Querstromfiltration – Filtrationsmaschinen

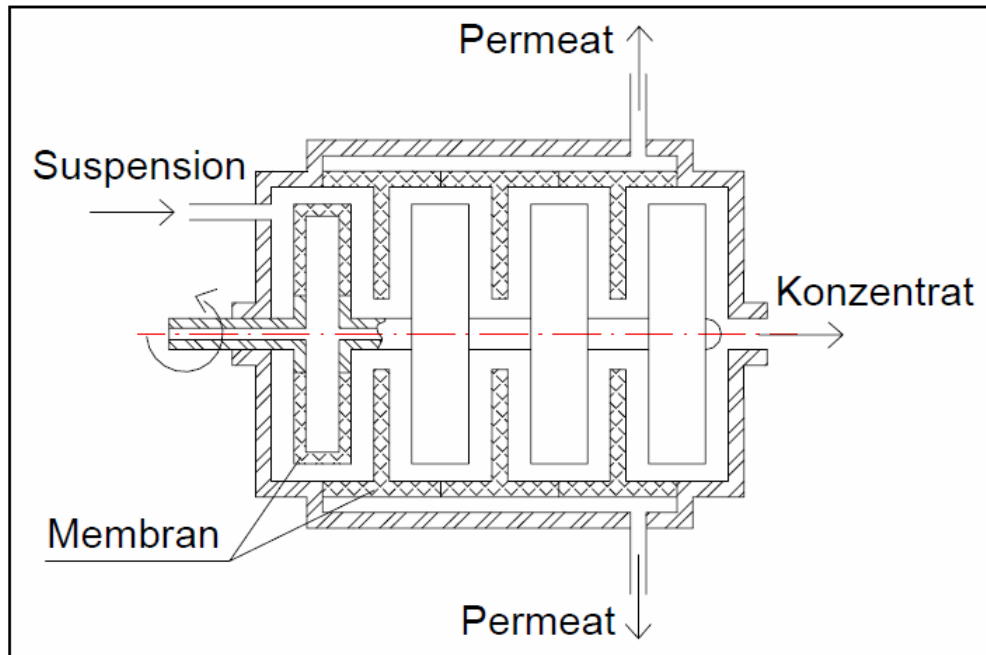
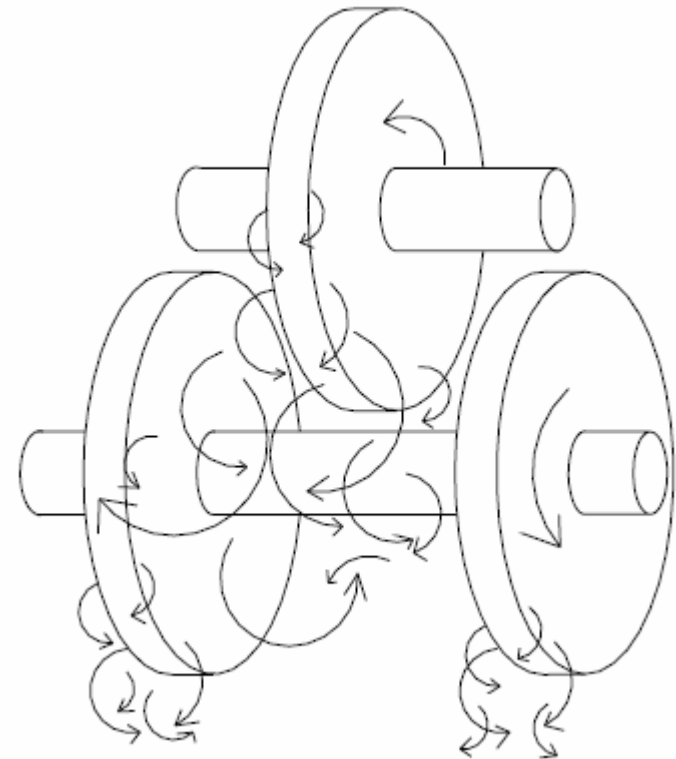
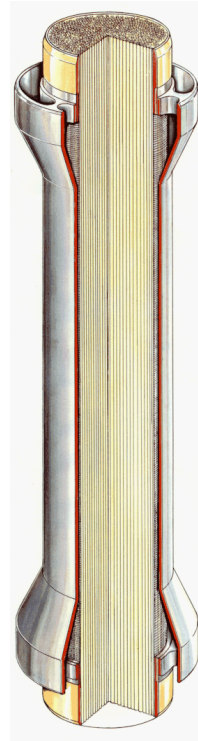
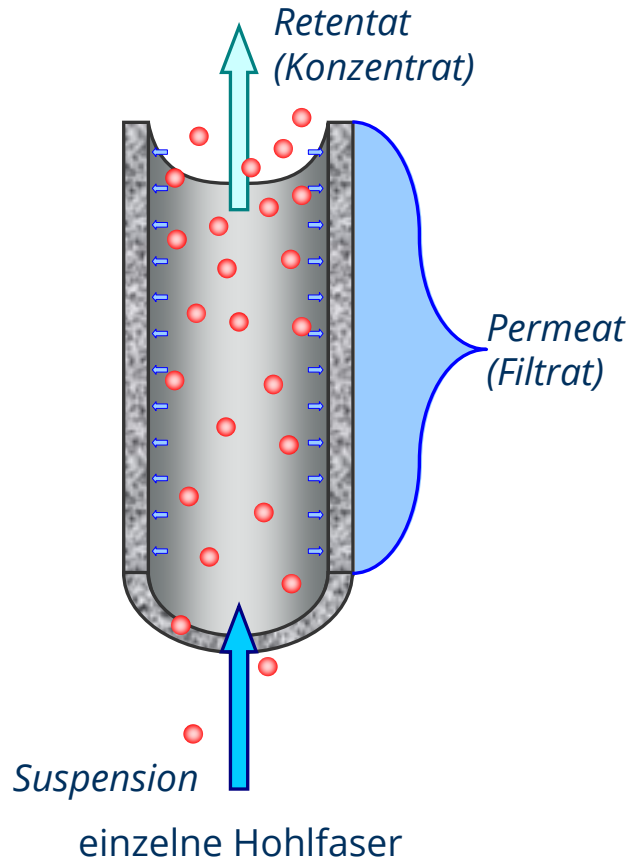


Bild 3: Scherspaltfilter mit radialem Spalt



J. Buschmann: *Multiple-shaft-disk-Separator*. Großer Beleg, TU Dresden, 2003; Bild 3 und Bild 23

Querstromfiltration – Membranmodule



Fa. Seitz, Produktbroschüren zur Querstromfiltration, 2009

5. Filtration

– Tiefenfiltration –

Mikroprozesse der Tiefenfiltration

Partikelrückhalt in Tiefenfiltern:

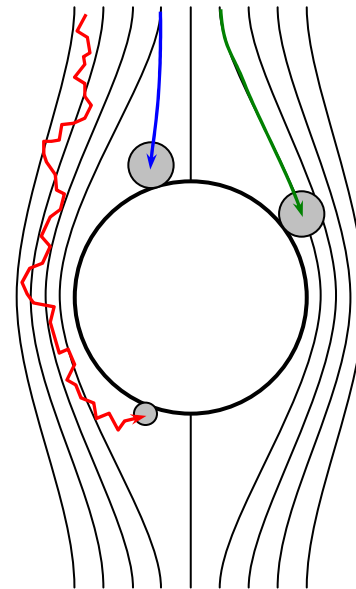
- Transport an innere Oberfläche + Haftung

Abscheidemechanismen:

- Impaktion (Trägheitsabscheidung)
- Interzeption (Sperrereffekt)
- Diffusion
- außerdem:
 - Sedimentation
 - Siebwirkung
 - elektrische Anziehung

Haftmechanismen:

- van-der-Waals-Kräfte
- chemische Affinität
- elektrostatische Anziehung



Abscheidung infolge von:

Impaktion

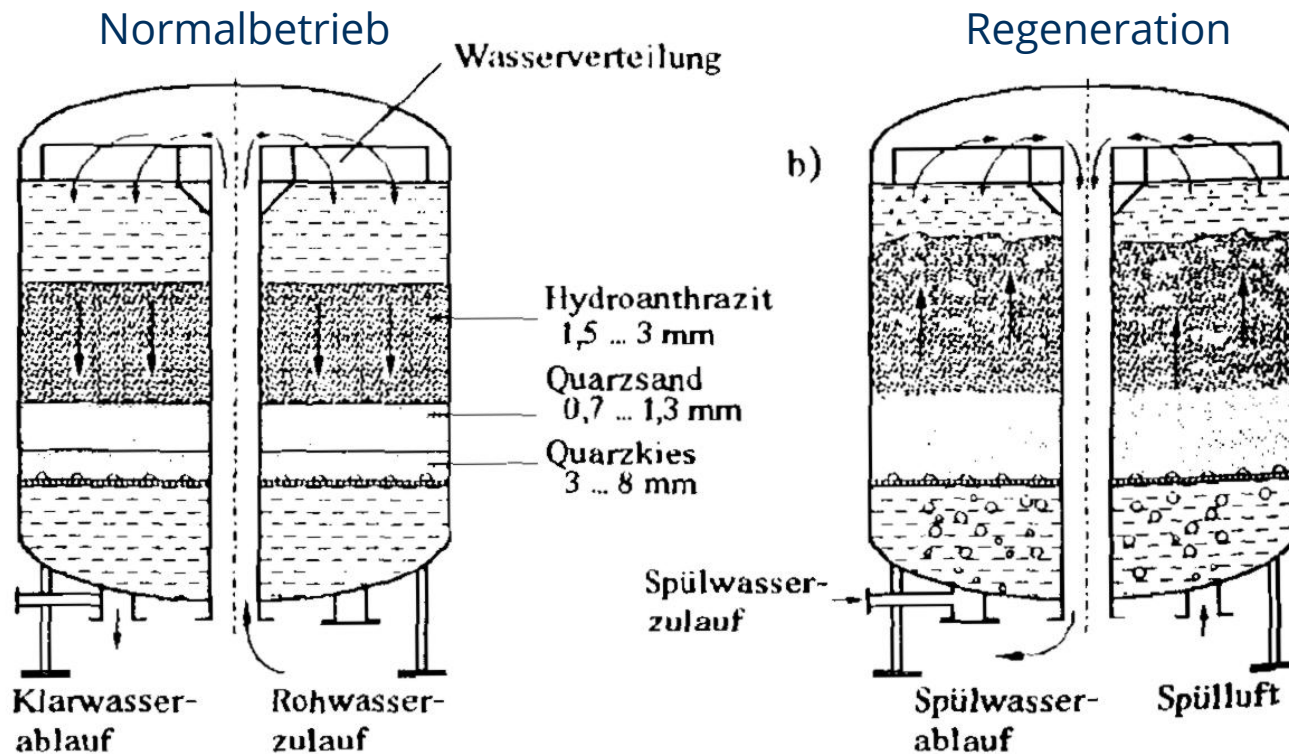
Interzeption

Brownscher Bewegung

Bauarten von Tiefenfiltern

- Schüttschichtfilter:
 - FM: grobkörnige Schüttung (*Sand, Kies, ...*)
 - *entweder*: basierend auf hydrostatischem Druck → Langsamfilter: 0,1 ... 0,5 m/h (*lange Laufzeiten, große Fläche, aber auch Kombination mit biolog. Prozessen*)
 - *oder*: mit Pumpe → Schnellfilter: ... 20 m/h (*kurze Laufzeiten, geringer Platzbedarf, Kombinatⁿ mit Adsorption & Ionenaustausch*)
 - Trinkwasseraufbereitung, Reinigung vorbehandelter Brauch- und Abwässer
 - Regeneration möglich
- Schichtenfilter:
 - FM: poröse Pappen (*Matrix aus Zellstoff oder Kunststofffasern, ggf. mit filtrations-/adsorptionsaktive Substanzen*); Dicke: 2,5 ... 5 mm
 - oftmals modulare Bauweise
 - Abtrennung feinsten Partikel, Mikroorganismen und adsorbierbarer Substanzen
 - Klärung von Getränken, flüssigen Lebensmitteln (z. B. Öle) und pharmazeutischen Lösungen
 - nach vollständiger Beladung Entsorgung der Filterschichten

Schüttschichtfilter



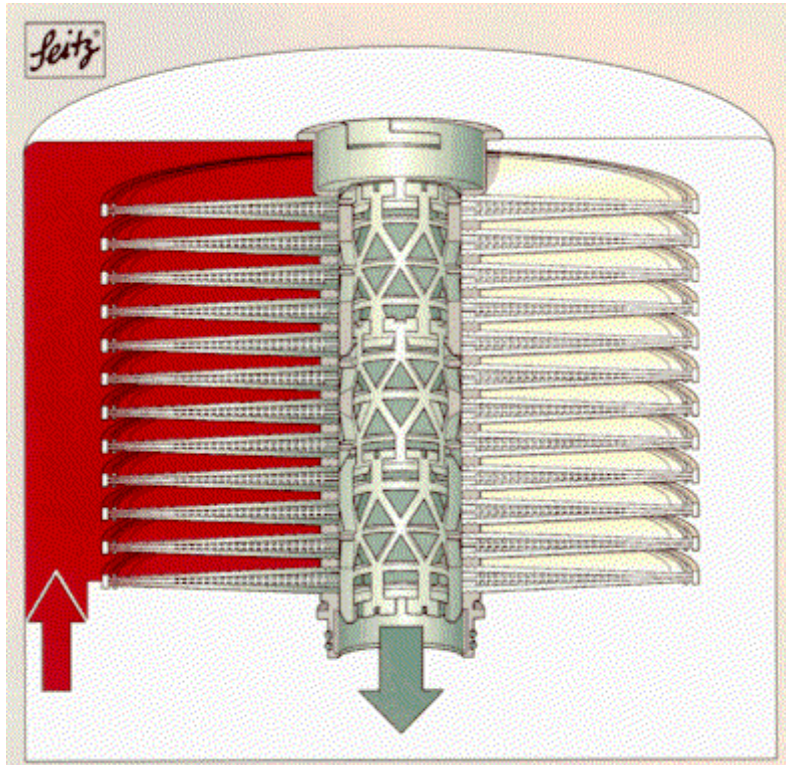
Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik 2*, Springer, Berlin, **1994**; S 142

Schüttschichtfilter



<https://www.environmental-expert.com/products/yardney-automatic-backwash-sand-media-filters-system-265531>

Schichtenfilter



Seitz, Firmenbroschüren.

Schichtenfilter



CHEManager online, 5/11/2018: Blutplasmafraktionierung mit Tiefenfiltration

Ablagerungen auf den Fasern eines Tiefenfilters

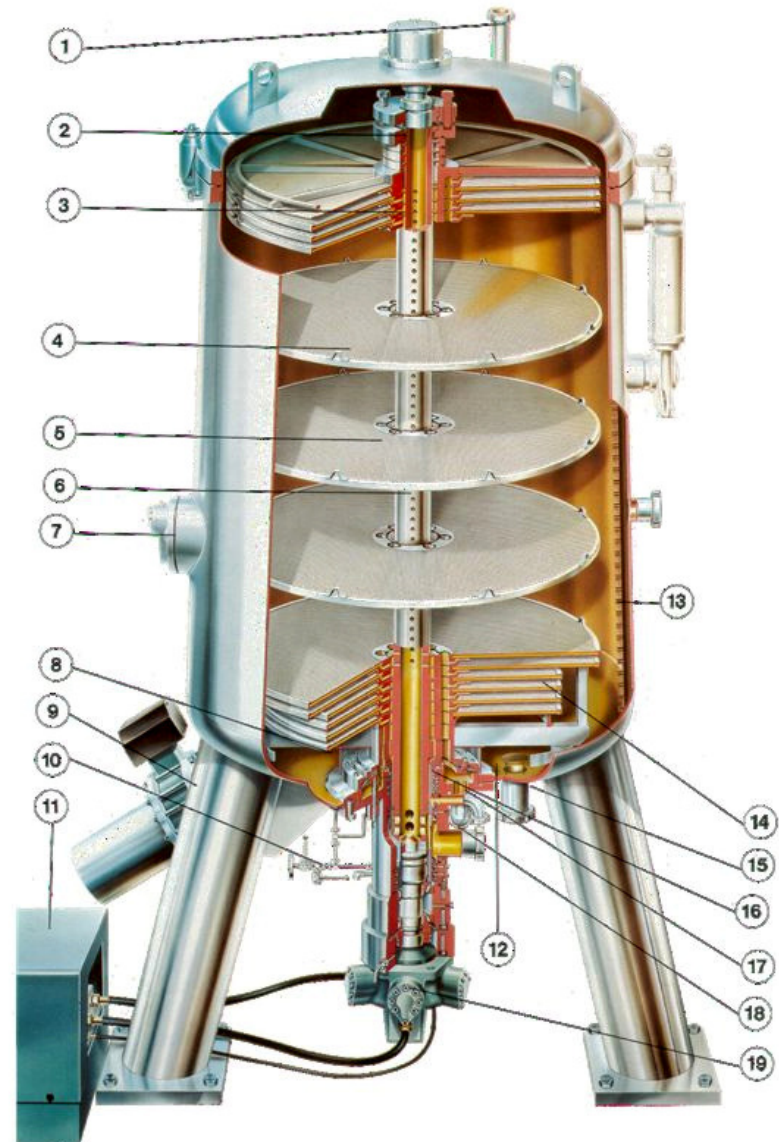


G. Bernhardt, Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden, 2000.
zitiert in: T. Kuntzsch, *Erfassung und Beeinflussung des ...*, Dissertation, TU Dresden, **2004**; S. 77

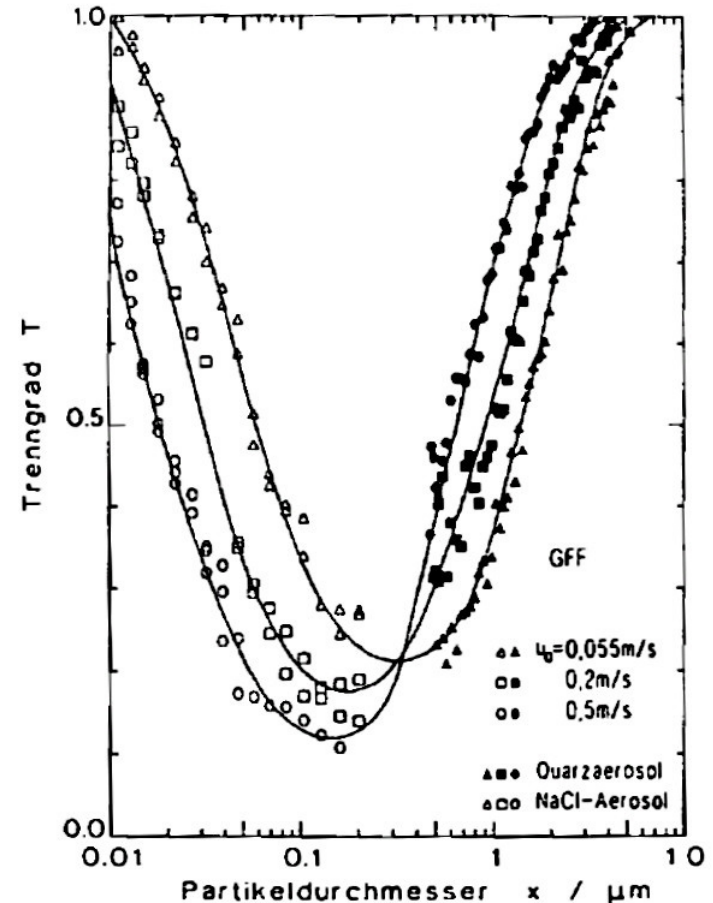
Anschwemmfiltration

1. Entlüftung
2. Anpressvorrichtung für Filterpaket
3. Einzeleinlaufverteiler und Distanzrohr
4. Abstützfüßchen
5. Filterelement
6. Filtratablaufwelle
7. Filterkessel mit Schauluke
8. Kieselguraustragevorrichtung
9. Kieselguraustragestutzen
10. Manschettenspülung/Leckage
11. Hydraulikaggregat
12. Zentraler Einlauf
13. Abdüsanlage
14. Restfiltrationselemente
15. Einlauf, Kessel füllen
16. Wellenabdichtung
17. Restfiltratauslauf
18. Hauptfiltratauslauf
19. Hydraulikmotor

- PRIMUS Kieselgurfilter



Gefüllter Taschenfilter zur Entstaubung



Autor: Volzfilters, CC BY-SA 3.0, upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Taschenfilter_Fein.jpg
M. Stieß, *Mechanische Verfahrenstechnik 2*. Springer, 1994; S. 20

5. Filtration

–Literaturhinweise –

Literatur zum Thema Filtration

- M. Kraume: *Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, **2020**; [doi:10.1007/978-3-662-60012-2_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-60012-2_9)
→ Kap. 9 (Filtration und Membrantrenntechniken)
- M. Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie 1*; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, **2009**; [doi:10.1007/978/3-540-32552-9](https://doi.org/10.1007/978/3-540-32552-9)
→ Abschn. 4.5 (Permeabilität poröser Schichten)
- M. Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik Bd. 2*. Springer, Berlin, **1997**;
[doi:10.1007/978-3-662-08599-8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-08599-8)
→ Absch. 8.4 (Nassfiltration) & 7.3 (Aerosolfilter)
- H. Schubert (Hrsg.): *Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Bd. 1 und 2*; Wiley-VCH, Weinheim, **2003**; [doi:10.1002/3527603352](https://doi.org/10.1002/3527603352)
→ Bd. 2 Abschn. 7.4.2 (Nassfiltration) & 7.5.2 (Aerosolfilter)
- M. Zogg: *Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik*. Teubner, Stuttgart, **1993**.
→ Abschn. 4.1
- J. F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst. *Particle Technology and Separation Processes*. In series: *Coulson and Richardson's Chemical Engineering, vol. 6*, 4th ed.; Butterworth-Heinemann, **2002**;
→ chap. 7, pp. 372-436.
- H. Gasper, D. Oechsle, E. Pongratz (Hrsg.): *Handbuch der industriellen Fest-/Flüssig-Filtration*, 2. Aufl.; Wiley-VCH, Weinheim, **2000**; [doi:10.1002/352760300X](https://doi.org/10.1002/352760300X)