

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

Lernziele zu Kapitel 5

- Wissen:
 - Welche Filtrationsprinzipien werden unterschieden?
 - Für welche Trennaufgaben werden sie in der Praxis genutzt?
 - Nennen Sie 3 typische Filtrationsapparate!
- Fähigkeiten:
 - Berechnung des Druckverlustes für eine durchströmte Schüttung
 - Ermittlung der Filtrationsparameter aus dem Handfilterversuch
 - Berechnung des mittleren Filtratdurchsatzes bei der Kuchenfiltration

5. Filtration

– *Einführung* –

Filtration in Technik und Alltag

- Filtration
 - = diverse Verfahren zur Abtrennung (meist fester) Partikel aus flüssigen oder gasförmigen Medien
 - **Grundprinzip:** Abscheidung der Partikel beim Durchströmen eines Filtermediums – an dessen oder Oberfläche oder in seinem Inneren
 - **relevante Mikroprozesse:** abhängig von Partikelsystem, Filtermedium und apparative Umsetzung
 - **Voraussetzung:** Druckdifferenz über dem Filtermedium

- Beispiele:
 - Raumluftfilter
 - Wasserfilter
 - Zigarettenfilter
 - Aquariumfilter
 - Rauchgasfilter
 - ...



Filtration – Beispiele



Aquariumfilter [1]



Taschenfilter zur Entstaubung [2]



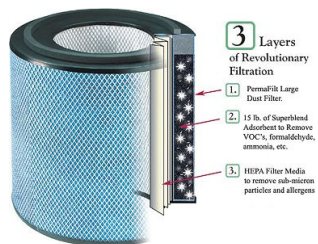
Weinfiltration [3]



Sandfilter für Industrieabwässer [4]



Kiesfilter für Swimmingpools [5]



HEPA-Luftfilter [6]



Zigarettenfilter [7]



Trommelfilter für Erzschlämme [8]

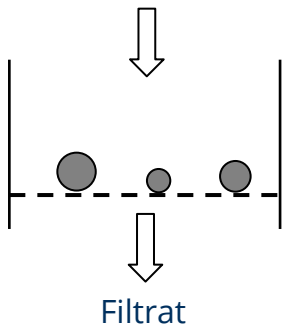


Bierfiltration [9]

Filtrationsprinzipien

Oberflächenfiltration

Siebfiltration



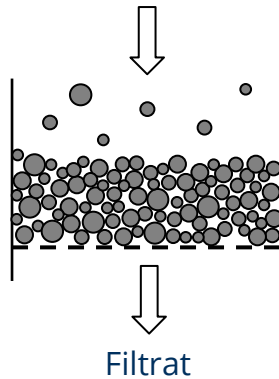
einzelne Partikel auf dem FM

FM: $d_{\text{Pore}} < d_{\text{Partikel}}$
(Siebe, Rechen)

grobe, sperrige Partikel/Objekte

Vorreinigung

Kuchenfiltration (stat. OF-Filtrat.)



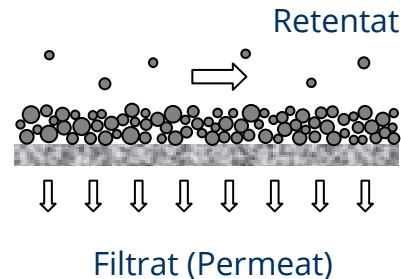
stetig wachsender Filterkuchen

FM: $d_{\text{Pore}} \leq d_{\text{Partikel}}$
(Filtertextilien, Papiere, Filze, Keramiken)

grobdispers ($> 1 \mu\text{m}$),
mittlere & hohe φ_V

Kristallisationsprodukte,
Nassmahlung, Abwässer

Querstromfiltr. (dynam. OF-Filtrat.)



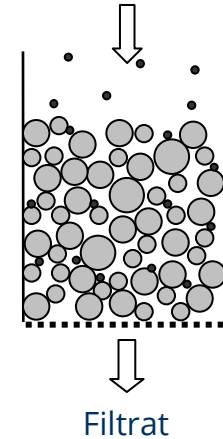
stationäre Deckschicht auf dem FM

FM: $d_{\text{Pore}} \leq d_{\text{Partikel}}$
(Polymer+ Keramikmembranen)

feindispers ($< 20 \mu\text{m}$)
kont. Betrieb

pharmaz. Lösungen,
Milch, Biosuspensionen

Tiefenfiltration



im Inneren des FM

FM: $d_{\text{Pore}} \gg d_{\text{Partikel}}$
(Schüttungen, Vliese, Filterpapiere)

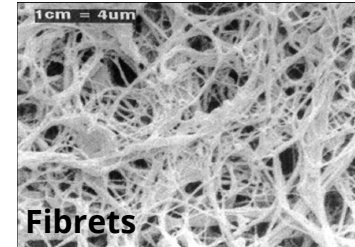
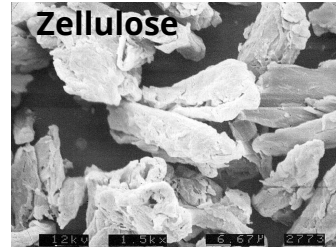
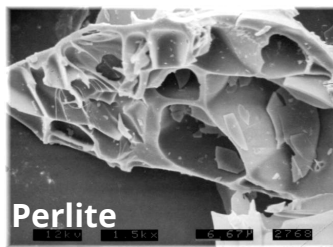
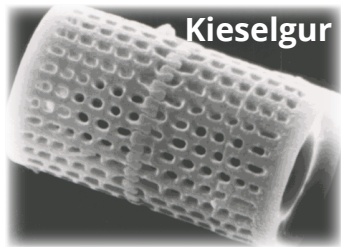
feindispers ($< 20 \mu\text{m}$)
niedrige φ_V

Trinkwasser (Uferfiltrat),
Lebensmittel



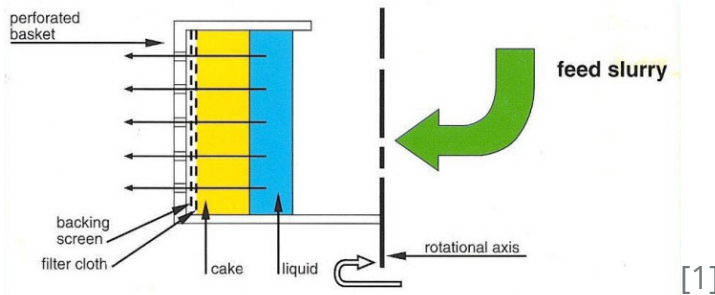
Abwandlungen der Filtrationsprinzipien

- Anschwemmfiltration
 - ab Teilchengrößen kleiner 20 µm sehr hohe Filterkuchenwiderstände
 - Lösung: Anschwemmschicht mit kleinen Poren aber hoher Porosität
 - Filterhilfsmittel: hochporöse Feststoffe (*Kieselgur, Filterperlite, Schlacken, Asche*)

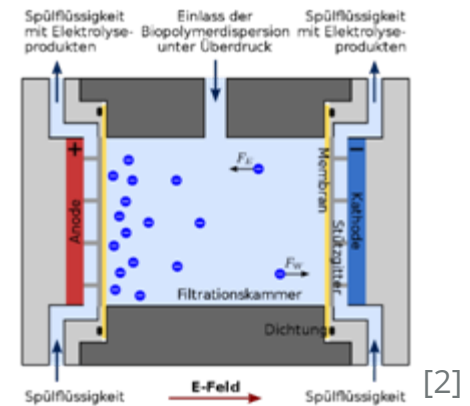


- Beispiel: Bierfiltration

- Filterzentrifugen



- Elektrofiltration



5. Filtration

– Berechnungsgrundlagen –

Filtration – ein Strömungsproblem

- Filtration erfordert Durchströmung des Filtermittels, im Fall der Oberflächenfiltration jedoch auch Durchströmung einer Partikelschicht
- ➔ Durchströmung poröser Medien
 - Frage: Zusammenhang zwischen Druckverlust und Volumenstrom
 - ähnliche Problemstellungen:
 - *Versickern von Oberflächenwasser in Böden*
 - *Gasphasenreaktionen in katalytischen Schüttungen*
 - *Konvektionstrocknung von feuchten Holzspänen*
 - *Extraktion von Aromastoffen aus verdichteten espressopulver*
 - Einflussgrößen
 - Parameter des fluiden Mediums: Viskosität η_F , Dichte ρ_F
 - Parameter des porösen Mediums: Höhe h , Porosität ε , Porengröße d_{pore} , Mikrostruktur
- Begriff „*flächenspezifischer Volumenstrom*“ v_F der kontinuierlichen Phase
 - keine Partikel ➔ „*Anströmgeschwindigkeit*“, „*Leerrohrgeschwindigkeit*“
 - Filtrationsprobleme ➔ „*flächenspezif. Filtratvolumenstrom*“, „*Flux*“

Druckverlust in porösen Medien

- empirischer Ansatz nach Darcy (1856)

- Druckverlust:
$$\Delta p = \frac{1}{k_D} \cdot \eta_F \cdot v_F \cdot h \quad \text{mit} \quad v_F = \dot{V}/A$$

- k_D = Permeabilität, $1/k_D = r$ = höhenspez. Widerstand
 - Gültigkeit auf laminare / zähe Durchströmung begrenzt
 - keine Aussagen zum Einfluss der Schüttungseigenschaften

- Kapillarströmung („einzelne Pore“)

- Hagen-Poiseuille-Gleichung:
$$\Delta p = \frac{128}{\pi d_{\text{Kap}}^4} \cdot \eta_F \cdot \dot{V} \cdot L_{\text{Kap}} = \frac{32}{d_{\text{Kap}}^2} \cdot \eta_F \cdot v_{\text{Kap}} \cdot L_{\text{Kap}}$$

- für kreisförmigen Querschnitt und laminare Strömung

- Behandlung von Partikelschüttungen

- hydraulischer Durchmesser:
$$d_h = \frac{4 \cdot \varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{1}{S_V}$$

- Porengeschwindigkeit:
$$v_{\text{Pore}} = v_F / \varepsilon$$

- vernetzte, irreguläre Poren → Korrekturfaktor

- parallele Poren → Gesamtdruckverlust = Druckverlust an Einzelpore

Druckverlust in porösen Medien

- laminare Strömungsverhältnisse

- laminar \leftarrow *niedrige Geschwindigkeit, kleine Poren, hohe Viskosität*
- Carman-Kozeny-Gleichung

- übliche Schreibweise: $\Delta p/h = K' \cdot (1 - \varepsilon)^2 / \varepsilon^3 \cdot S_V^2 \cdot \eta_F \cdot v_F$ mit: $K' = 3.6 \dots 5.5$

- dimensionslos

$$\xi = \frac{36 \cdot K'}{Re_{Sch}^*}$$

mit:

$$\xi = \frac{\Delta p d^*}{\rho_F v_F^2 h} \cdot \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \quad Re_{Sch}^* = \frac{\rho_F v_F d^*}{(1 - \varepsilon) \eta_F} \quad d^* = \frac{6}{S_V}$$

- allg. Ansatz

$$\Delta p/h = f(\varepsilon) \cdot S_V^2 \cdot \eta_F \cdot v_F$$

- z.B. Rumpf (1971) $f(\varepsilon) = 4 \cdot (1 - \varepsilon) / \varepsilon^{4.55}$

- beliebige Strömungsverhältnisse

- bei hohen Reynoldszahlen resultiert Druckverlust aus Fluidträgheit

- Grundform $\Delta p/h = k_1 \cdot \eta_F \cdot v_F + k_2 \cdot \rho_F \cdot v_F^2$

- z.B. Ergun (1952): $\xi = \frac{C}{Re_{Sch}^*} + K$ mit: $C = 150$ $K = 1.75$