

# Filtrationsverfahren:

- 1. Einführung**
- 2. Gliederung**
- 3. Bauformen**

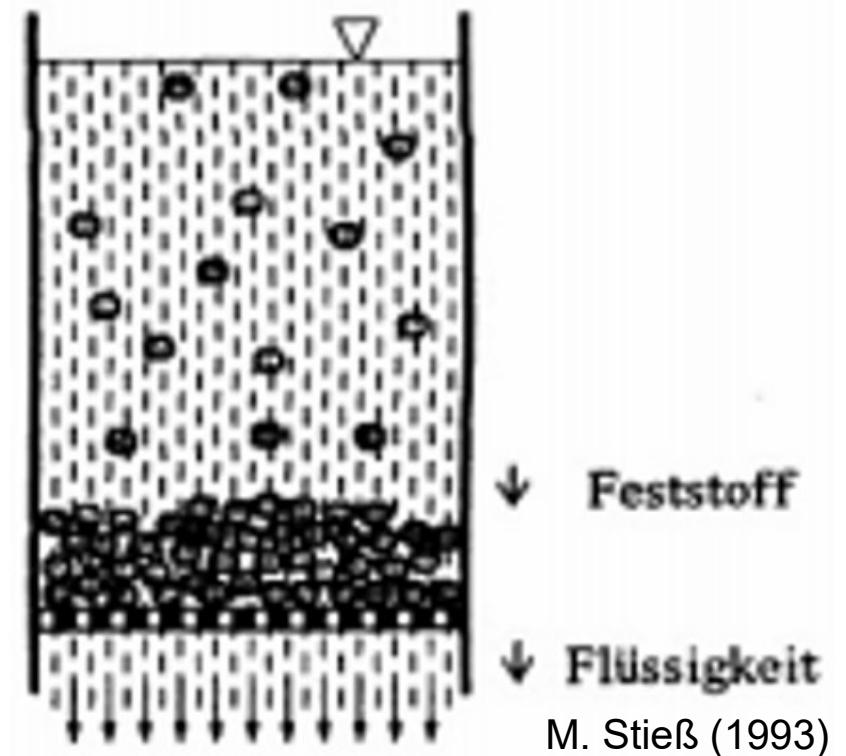
### Wirkprinzip

Interaktion zwischen porösem **Filtermedium** und Suspension

- Bewegung der Suspension **zum Filter**
- Rückhaltung der **Partikel auf/im Filter**
- Penetration der **Flüssigkeit durch den Filter**

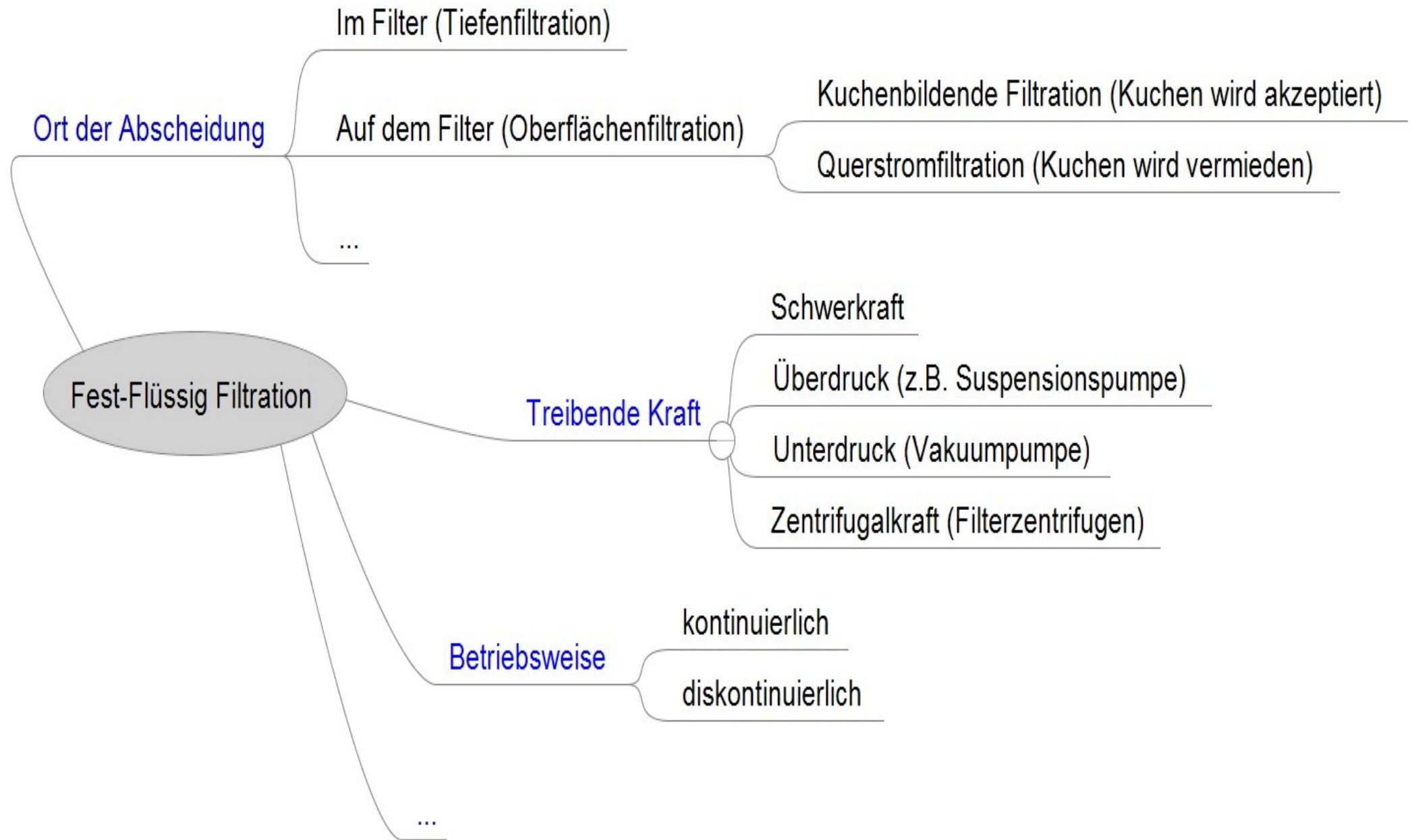
### Vor-/Nachteile gegenüber Zentrifugieren

- + Geringe **Investkosten** bei **kleinen Durchsätzen**
- + Effiziente Partikelabscheidung bei rel. geringem **Energiebedarf** bei kleinen  $\rho_s - \rho_L$
- Hoher **Energiebedarf** bei Abscheidung **kleiner Partikel** (dichter Filterkuchen mit hohem Druckverlust)



# Fest-Flüssig Filtration

## 2. Gliederung



# Fest-Flüssig Filtration

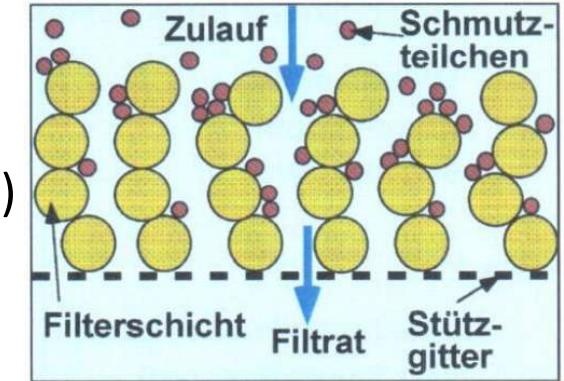
## 2. Gliederung: Ort der Abscheidung bzw. Mechanismus

### Tiefenfiltration

Partikelabscheidung **im Innern eines Porensystems** (Filter)

→ **Porengröße** des Filters >> Partikelgröße (Passung in den Filter)

→ **Hochporöser** Filter (Platz für die Partikel: Speicherkapazität)

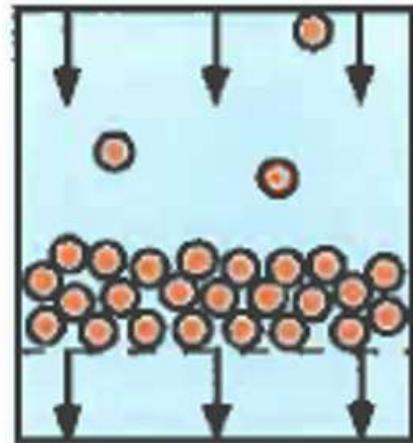


### Oberflächenfiltration

Partikelabscheidung **auf der Oberfläche eines Porensystems** (Filter)

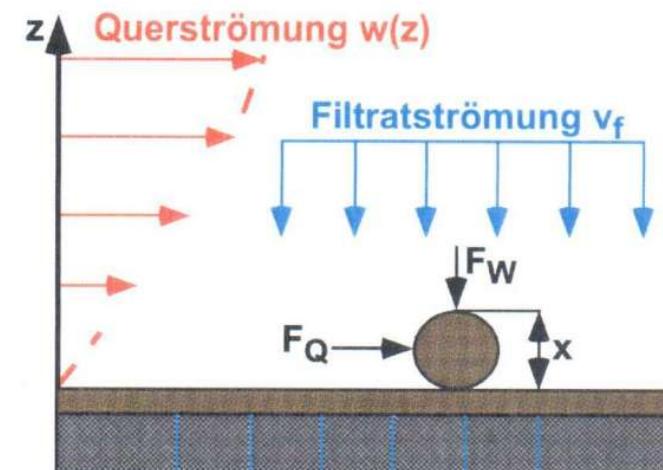
→ **Porengröße** des Filters ≈ Partikelgröße (keine Passung in den Filter)

*Kuchenbildende Filtration* (mit **Filterkuchen**, der als eigentlicher Abscheider fungiert)



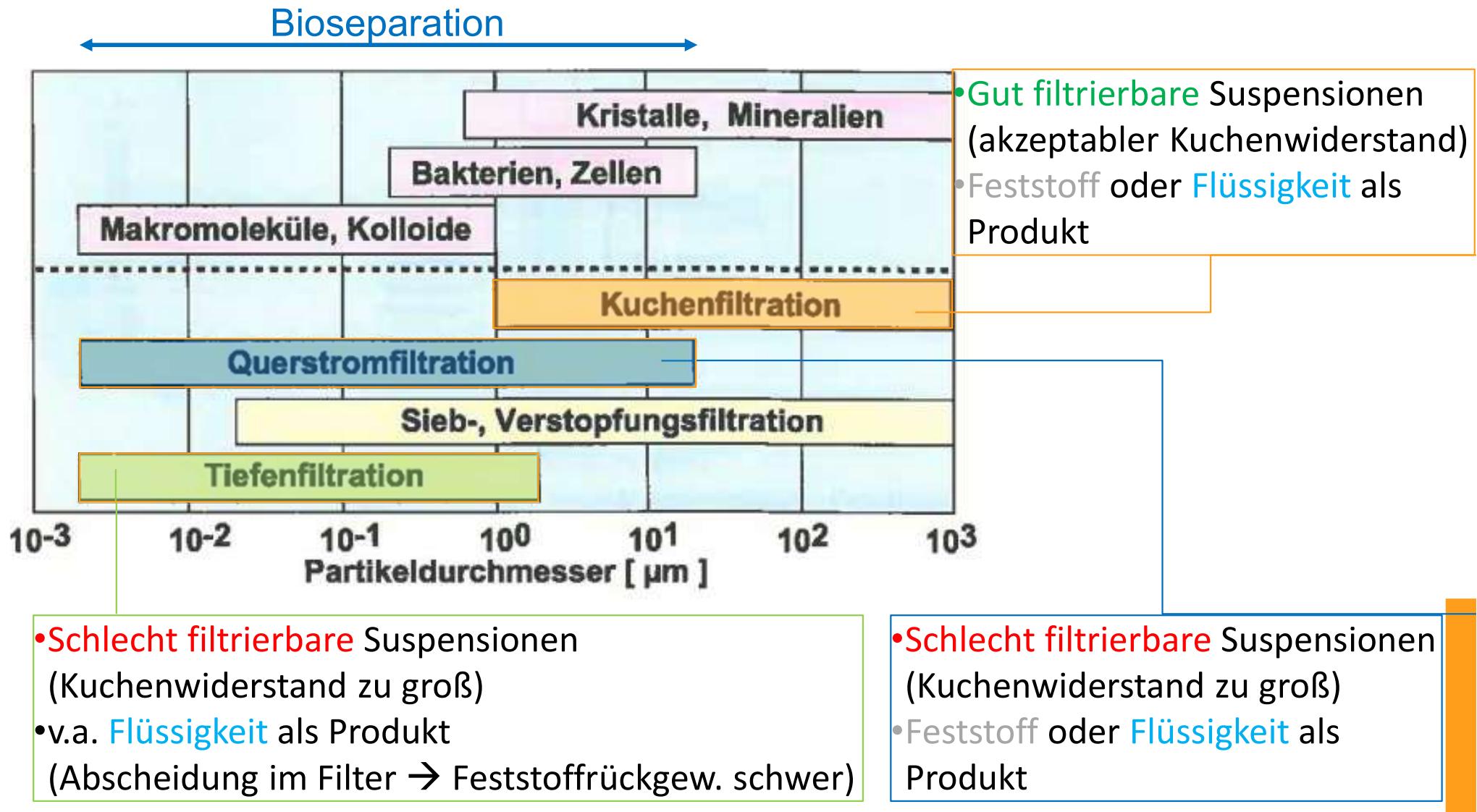
Statische oder  
Dead-end Filtration

*Querstromfiltration* (Vermeidung der Kuchenbildung durch Querströmung)



Dynamische oder cross-flow Filtration

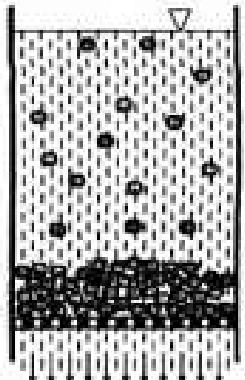
### Verfahrensauswahl



# Fest-Flüssig Filtration

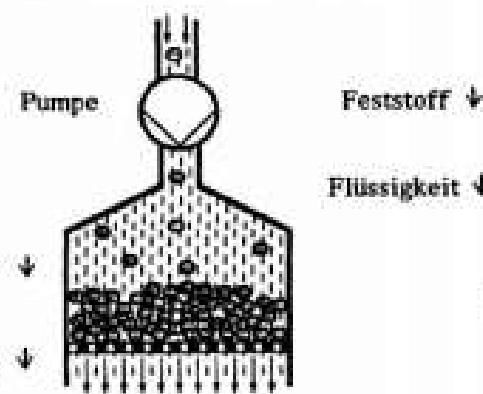
## 2. Gliederung: Art der treibenden Kraft

Schwerkraft



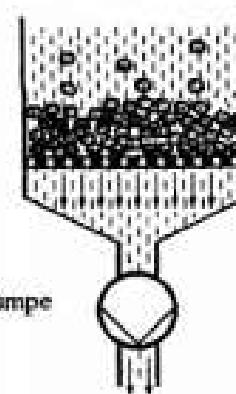
a)

Überdruck



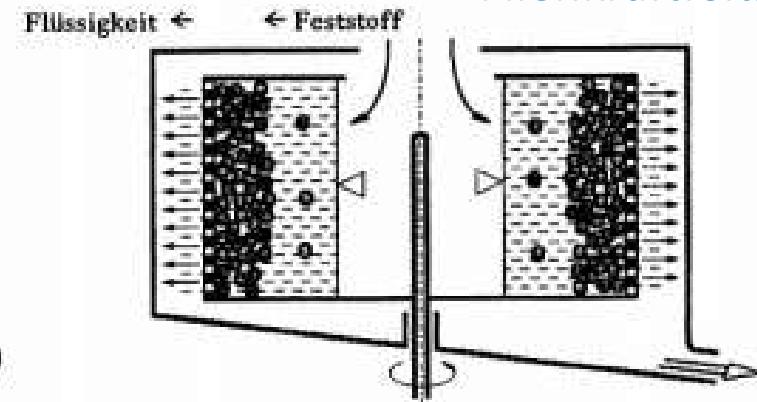
b)

Unterdruck



c)

Fliehkräftefeld



d)

- a) Filtrieren im Schwerkraftfeld
- b) Druckfiltration
- c) Saugfiltration
- d) Filtrieren im Fliehkräftefeld

M. Stieß (1993)

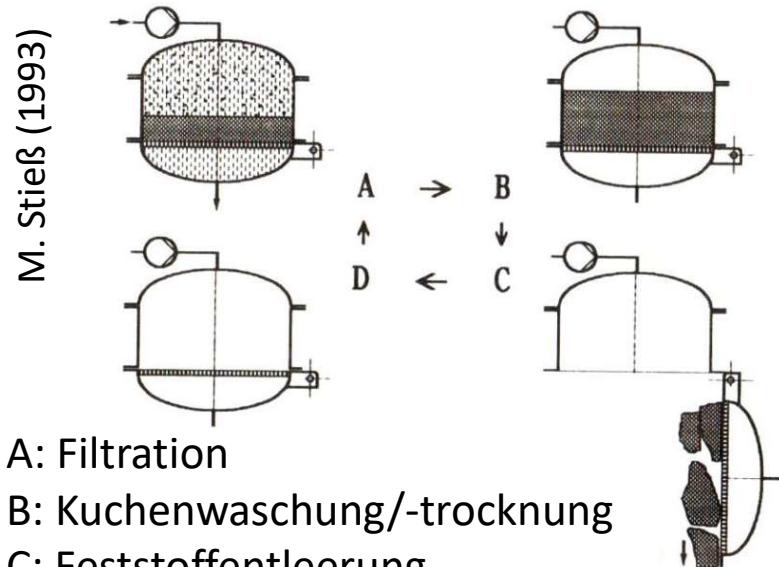
Treibende Kraft (Druckdifferenz) über das Gesamtsystem aus Filter und ggf. Kuchen

→ Flüssigkeitsförderung über das System

# Fest-Flüssig Filtration

## 2. Gliederung: Betriebsweise

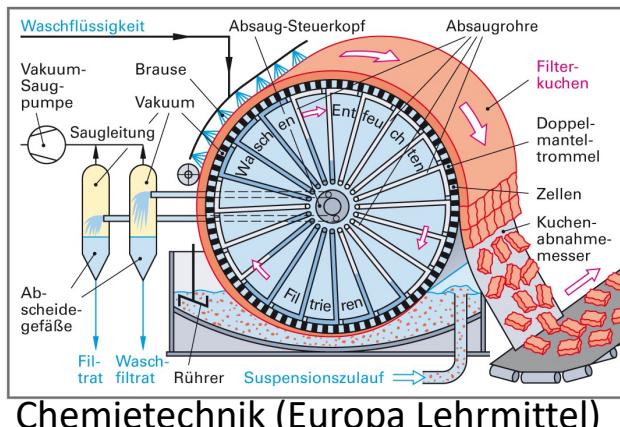
### Drucknutsche



### Diskontinuierlich

Jeder Prozessschritt zeitlich unabhängig einstellbar  
+ hohe Flexibilität  
- Begrenzter Durchsatz (Totzeiten)

### Vakuumtrommelfilter



### Kontinuierlich

alle Prozessschritte gekoppelt über gemeinsame Transportgeschwindigkeit  
- begrenzte Flexibilität  
+ hoher Durchsatz (keine Totzeiten)

# Fest-Flüssig Filtration

## 2. Gliederung: Filterapparate

### Gravity filtration

*Batch:*  
Single leaf Nutsche

*Semi-continuous:*  
Sand bed

*Continuous:*  
Gravity belt  
Stationary screen  
Vibrating screen

### Vacuum filtration

*Batch:*  
Multi-element leaf  
(Moore's)  
Single leaf Nutsche  
Single leaf tilting pan

*Continuous:*  
Horizontal belt  
Horizontal rotary table  
Horizontal tilting pan  
Precoat rotary drum  
Rotary disc  
**Rotary drum (bottom fed)**  
Rotary drum (top fed)  
Rotary drum (internal fed)

### Centrifugal filtration

Baffle ring centrifuge  
Basket centrifuges  
(pendulum and peeler)  
Cone screen centrifuges  
(slip discharge, vibratory/  
oscillatory, tumbling, worm  
screen)  
Inverting bag centrifuge  
Screen baffle centrifuge  
Single and multi- stage  
pusher

### Pressure filtration

*Batch:*

Multi-element candle  
Multi-element leaf  
**Plate & frame press**  
Precoat Nutsche and multi-  
element leaf  
Precoat plate & frame press  
Recessed plate filter press  
Sheet filter  
**Single leaf Nutsche**

*Semi-continuous:*

Bag  
Cartridge  
Dead-end membrane  
Fibre bed  
Low shear crossflow  
Sand bed  
Simplex strainer

*Continuous:*

Belt press  
Duplex strainer  
High shear crossflow  
Rotary disc  
Rotary drum  
Sand bed  
Tower press

*Variable volume:*

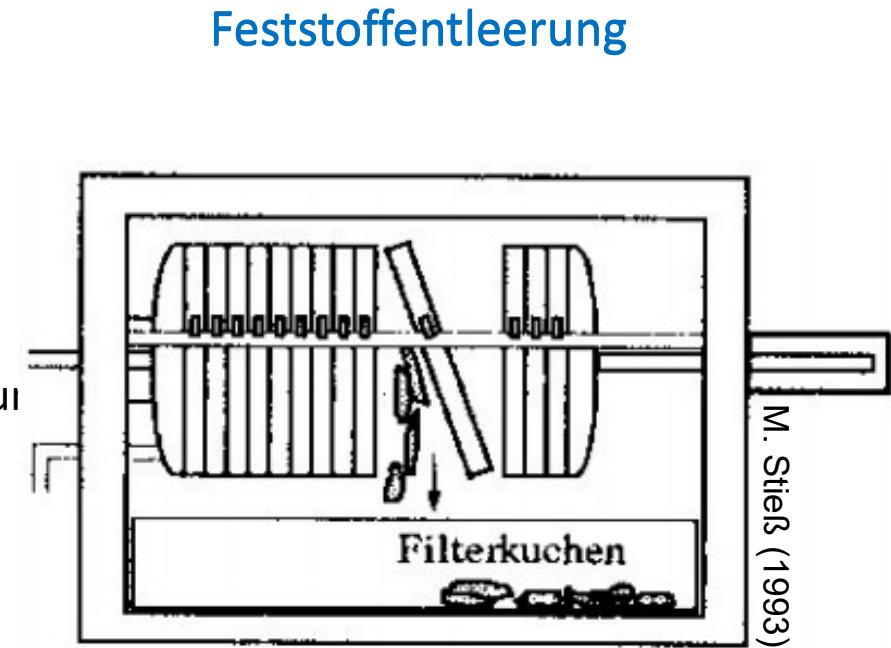
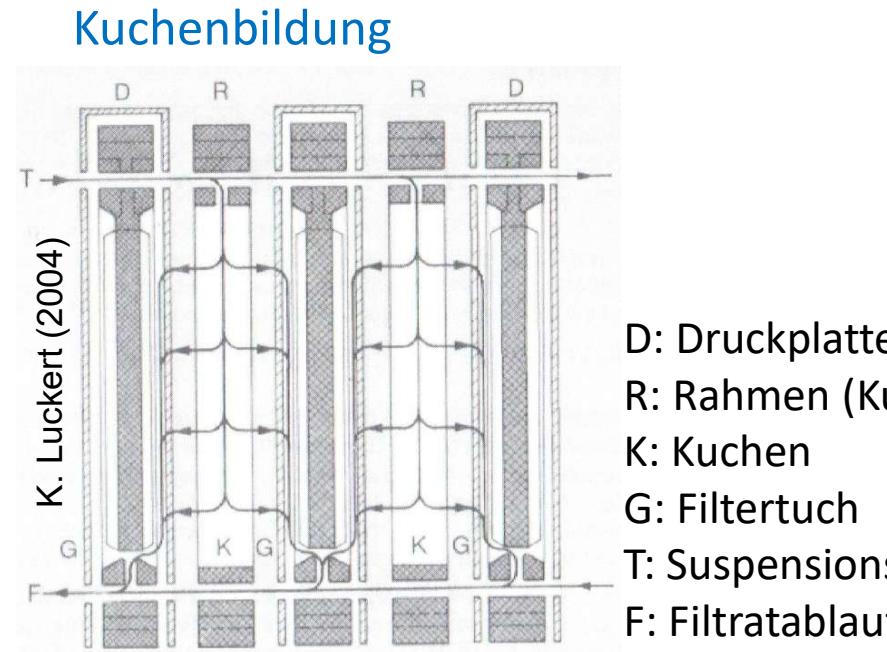
Diaphragm filter press  
Expression (screw) press  
Horizontal element  
tube press  
Vertical diaphragm  
filter press  
Vertical element  
tube press

# Kuchenfiltration (f-fl)

## 3. Bauformen: Diskontinuierlich

### z.B. Rahmenfilterpresse

- Aufbau und Funktion



- Charakteristika

- Einfacher Aufbau → Geringer Invest
- Große Filterflächen (bis 1.000 m<sup>2</sup>) → hoher Durchsatz
- Hoher Differenzdruck im Vgl. zu den Vakuumfiltern (max. 1bar Diffdruck)
  - Trennung rel. schlecht filtrierbarer Suspensionen
  - Rel. hoher Trockensubstanzgehalt (30% und größer)

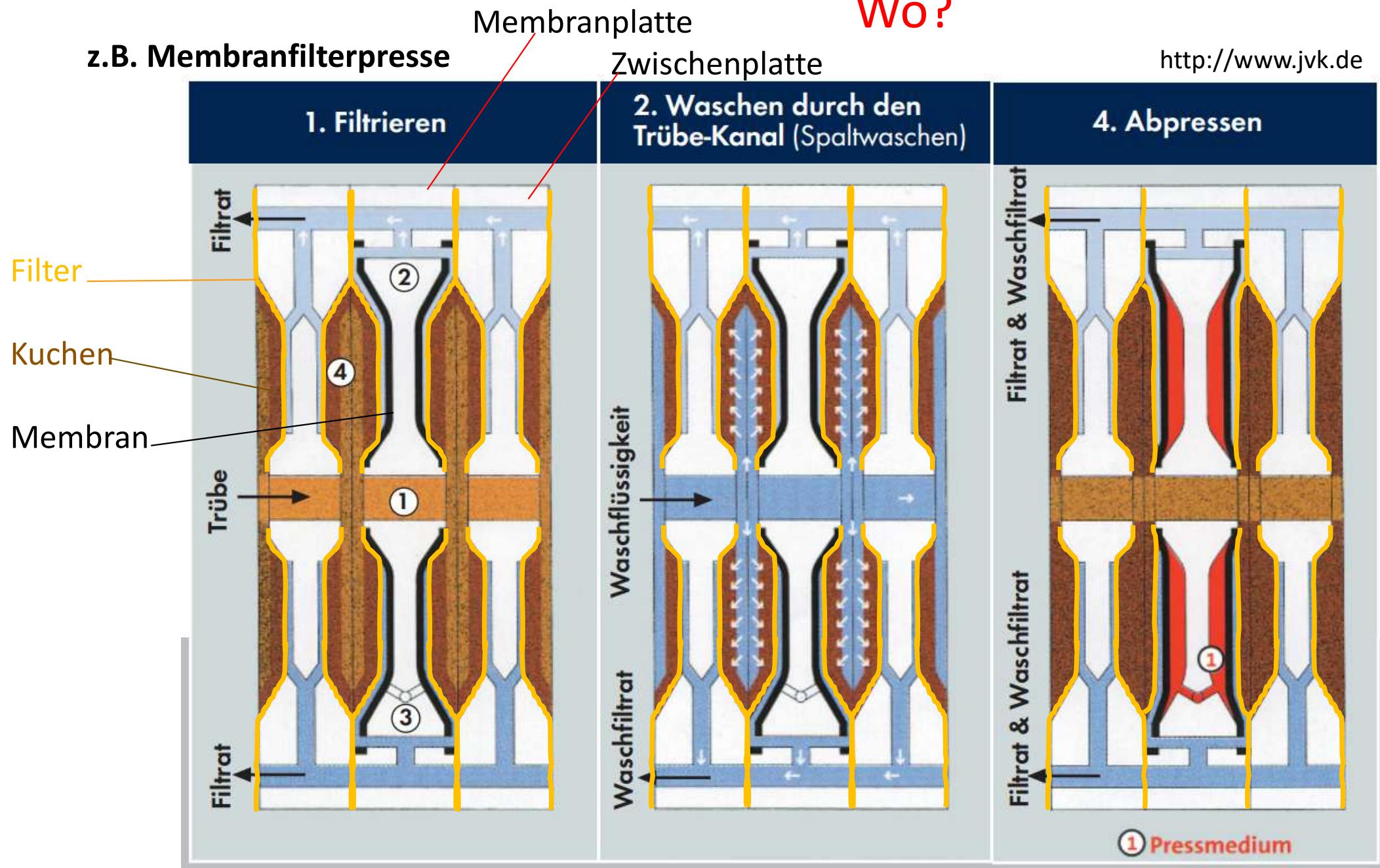
# Kuchenfiltration (f-fl)

## 3. Bauformen: Diskontinuierlich

z.B. Membranfilterpresse

Achtung Fehler:

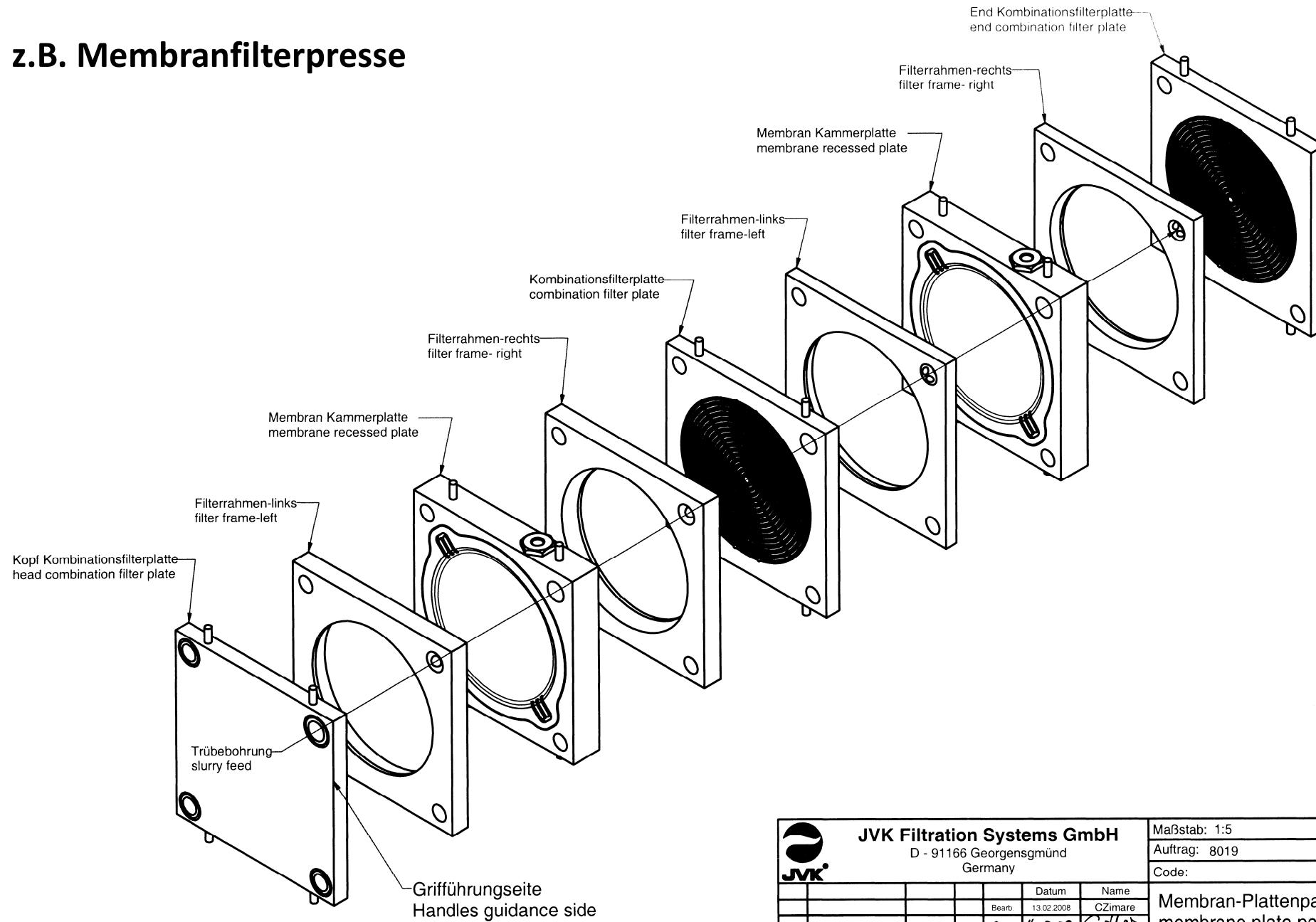
Wo?



# Kuchenfiltration (f-fl)

## 3. Bauformen: Diskontinuierlich

### z.B. Membranfilterpresse



JKV Filtration Systems GmbH  
D - 91166 Georgensgmünd  
Germany

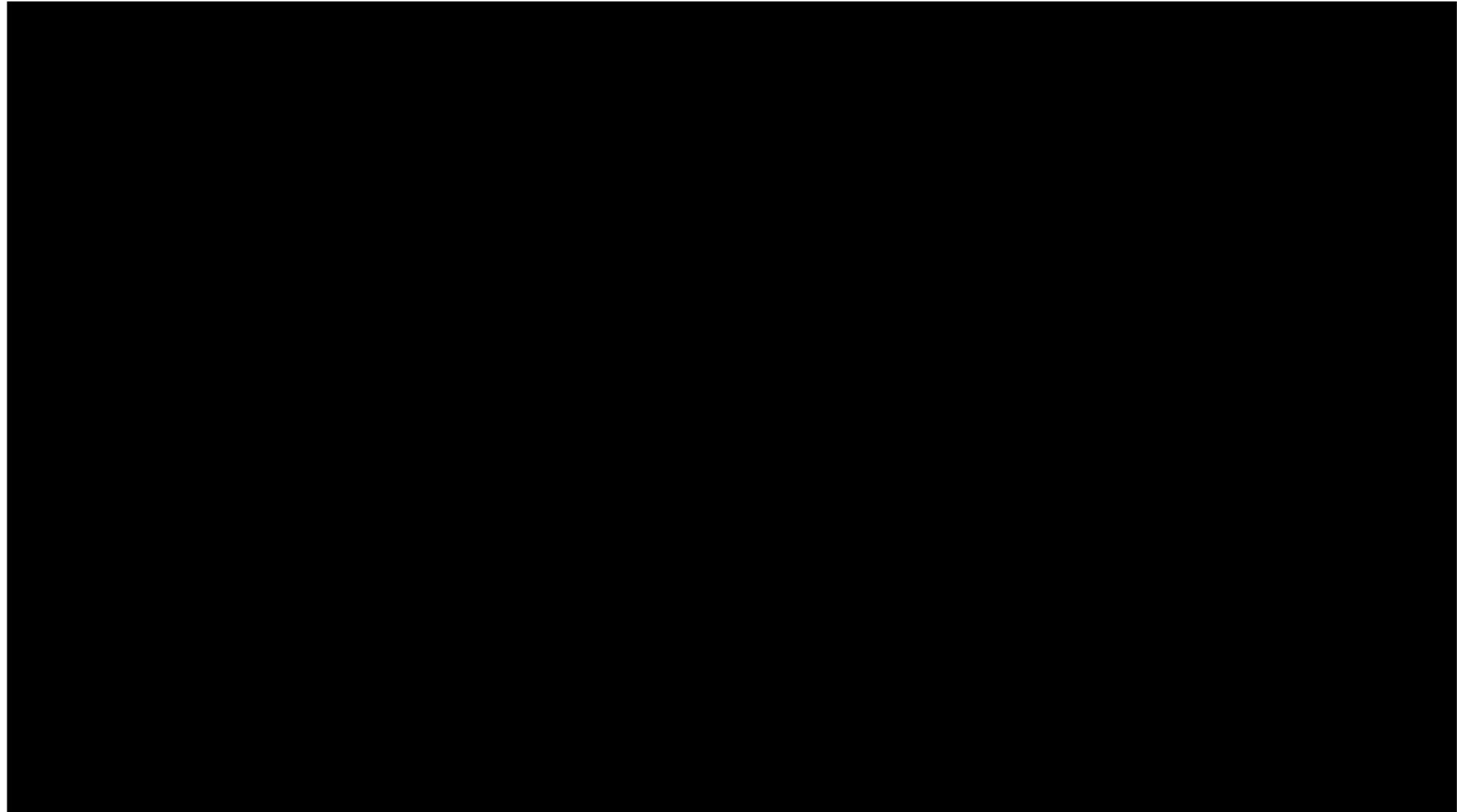
		Datum	Name
		Bearb. 13.02.2008	CZimare
		Gepr. 14.02.08	CWHT

Maßstab: 1:5  
Auftrag: 8019  
Code:  
Membran-Plattenpaket  
membrane plate pack

# Kuchenfiltration (f-fl)

## 3. Bauformen: Diskontinuierlich

**z.B. Membranfilterpresse**



# Kuchenfiltration (f-fl)

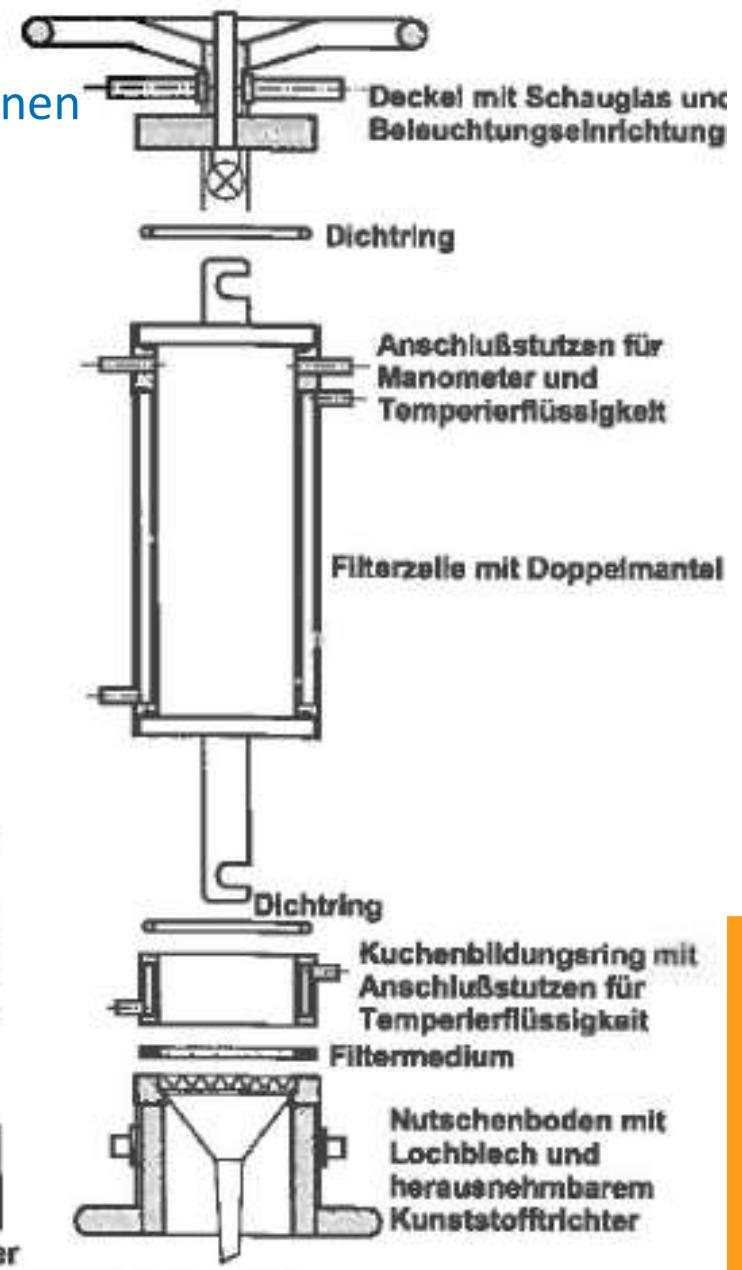
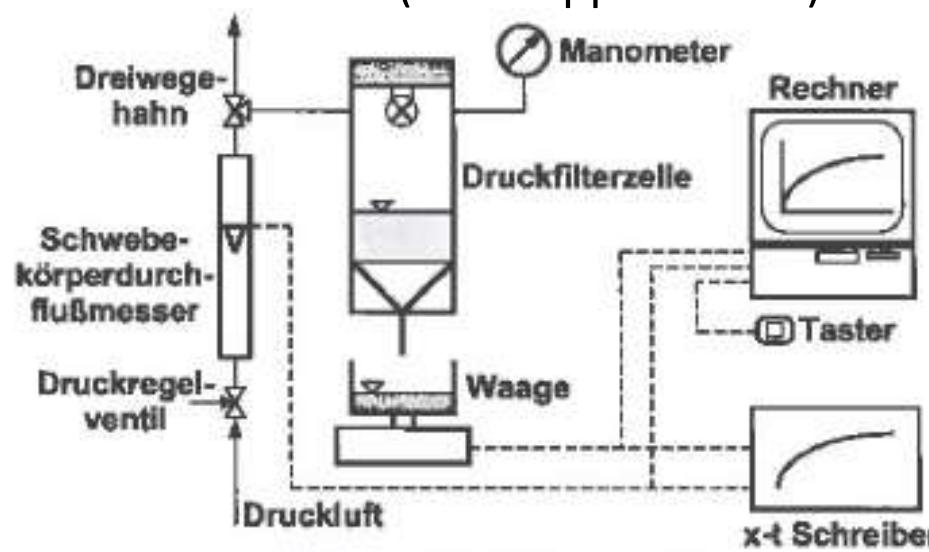
## 3. Bauformen: Laborfilter (VDI Richtlinie 2762)

### Zweck

- Quantitative Aussage zur **Filtrierbarkeit von Suspensionen**

### Charakteristika

- Filterfläche:  $> 20 \text{ cm}^2$
- Volumen:  $> 300 \text{ ml}$
- Treibende Druckdifferenz: über **Druckluft** (bis  $> 6 \text{ bar}$ )
- Glasdeckel** mit Beleuchtung zur visuellen Beobachtung des Filtrationsvorganges
- Kontinuierliche Messung des **Filtratanfalles**
- Möglichst **Heiz- und Kühlbar** (z.B. Doppelmantel)



# Meilenstein: Filtrierbarkeit

## Partikelkonzentration

- Herleitung der Lösungsgleichung Für Kuchenvolumen und Konzentration
- Berechnung in XLS

# Aufgabenstellung

1. Valide, experimentell bestimmte Kenndaten zur Bewertung der Eignung der Filtration für die
2. Abscheidung der anorganischen und biologischen Verunreinigung eines Abwassers mittels
3. Filtration mit begründeter Schlussfolgerung,
4. Beschreibung des eigenen Versuchsaufbaus und der Durchführung mit kritischer Bewertung
5. in Bezug auf die Eignung des Aufbaus für eine belastbare Bewertung der Filtrierbarkeit,
6. Beschreibung eines geeigneten Versuchsaufbaus zur Ermittlung der Filtrierbarkeit mit
7. Begründung

## Zweite Teilaufgabe (Aufgabe 2):

1. Kuchenvolumen in XLS-Vorlage (Felder mit YY) berechnen
2. Partikelkonzentration in XLS-Vorlage (Felder mit YY) berechnen

# Filtrationsverfahren: Kuchenfiltration

## Filtergleichung

- 1. Herleitung**
- 2. Lösung für usch. Betriebsweisen**
- 3. Richtwerte für Durchströmungswiderstände**
- 4. Meilenstein**

# Kuchenfiltration (f-fl)

## 1. Filtergleichung: Herleitung

- **Filter(Ruth)gleichung**

- $\dot{V}_F = f(\alpha, \eta_L, c_V | A, \Delta p, \beta)$  — Apparateeigenschaften

Suspensionseigenschaften

- **Anwendung**

- Auslegung
- Exp. Bestimmung der Durchströmungswiderstände über Filter ( $\beta$ ) und Kuchen ( $\alpha$ )
- Bewertung von Filtrationsapparaten/-prozessen

- **Grundlage**

### Darcy-Gleichung ( $Re < 1$ )

- Filter:

$$\Delta p_{FM} = \frac{s}{B_{FM}} \cdot \eta_L \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{dV_F}{dt}$$

- Kuchen:

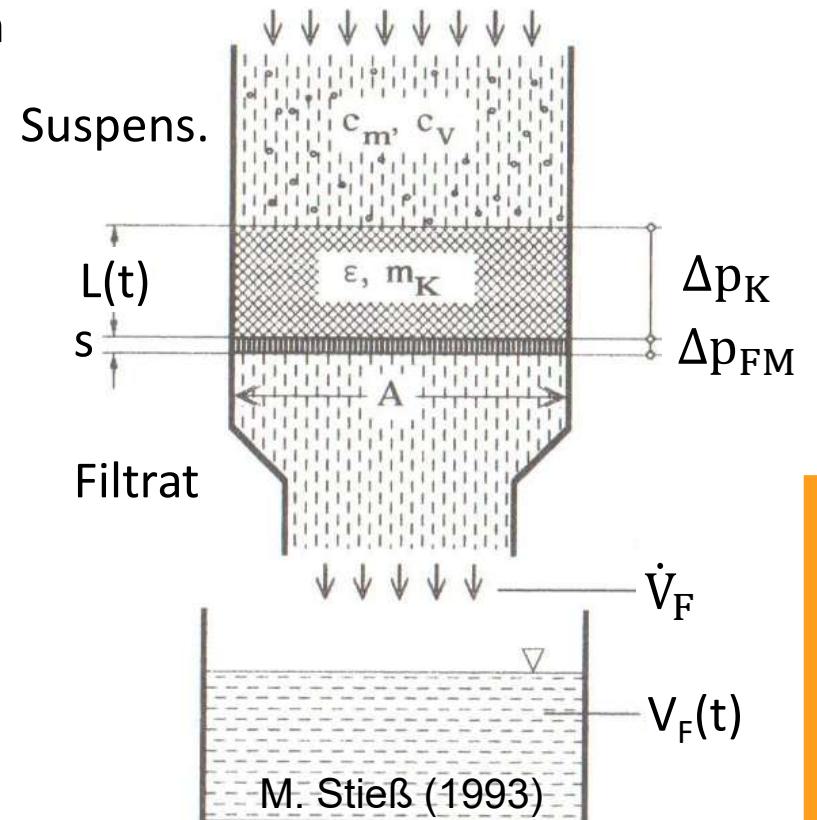
$$\Delta p_K(t) = \frac{L(t)}{B_K} \cdot \eta_L \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{dV_F}{dt}$$

- Gesamt:

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_{FM} + \Delta p_K$$

- Permeabilität  $B$ :

- Durchlässigkeit eines porösen Systems ( $m^2$ )
- Abh. von Porosität  $\varepsilon$  und umstr. Oberfläche



# Kuchenfiltration (f-fl)

## 1. Filtergleichung: Herleitung

- **Bestimmung  $L(t)$  (Feststoffbilanz)**
  - Annahmen
    - Feststoffkonz.  $c_V = \text{const}$
    - Struktur Filterkuchen  $\varepsilon = \text{const}$
    - **Vollständige Abscheidung** d. Feststoffes auf FilterOF

Bilanz:  $V_K(t) \sim V_F(t)$  bzw.  $\kappa_V = \frac{V_k(t)}{V_F(t)} = \text{const}$

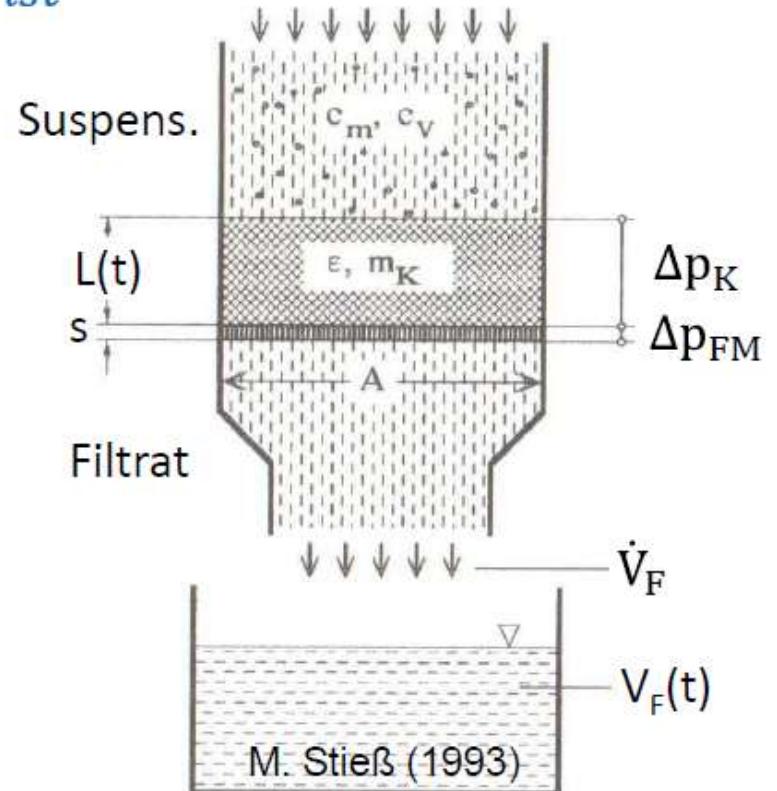
Geometrie:  $V_K(t) = L(t) \cdot A$

$$\rightarrow L(t) = \kappa_V \cdot \frac{V_F(t)}{A}$$

- **Allgemeine Filtergleichung** (Differentialgleichung)

- Mit
  - **Darcy-Gleichung** und obigen Annahmen
  - Spez. Widerstand Kuchen ( $1/\text{m}^2$ ):  $\alpha_V = \frac{1}{B_K}$
  - Widerstand Filter ( $1/\text{m}$ ):  $\beta = \frac{s}{B_{FM}}$

$$\Delta p(t) = \frac{\eta_L}{A} \left( \frac{\alpha_V \cdot \kappa_V}{A} \cdot V_F(t) + \beta \right) \cdot \frac{dV_F(t)}{dt}$$

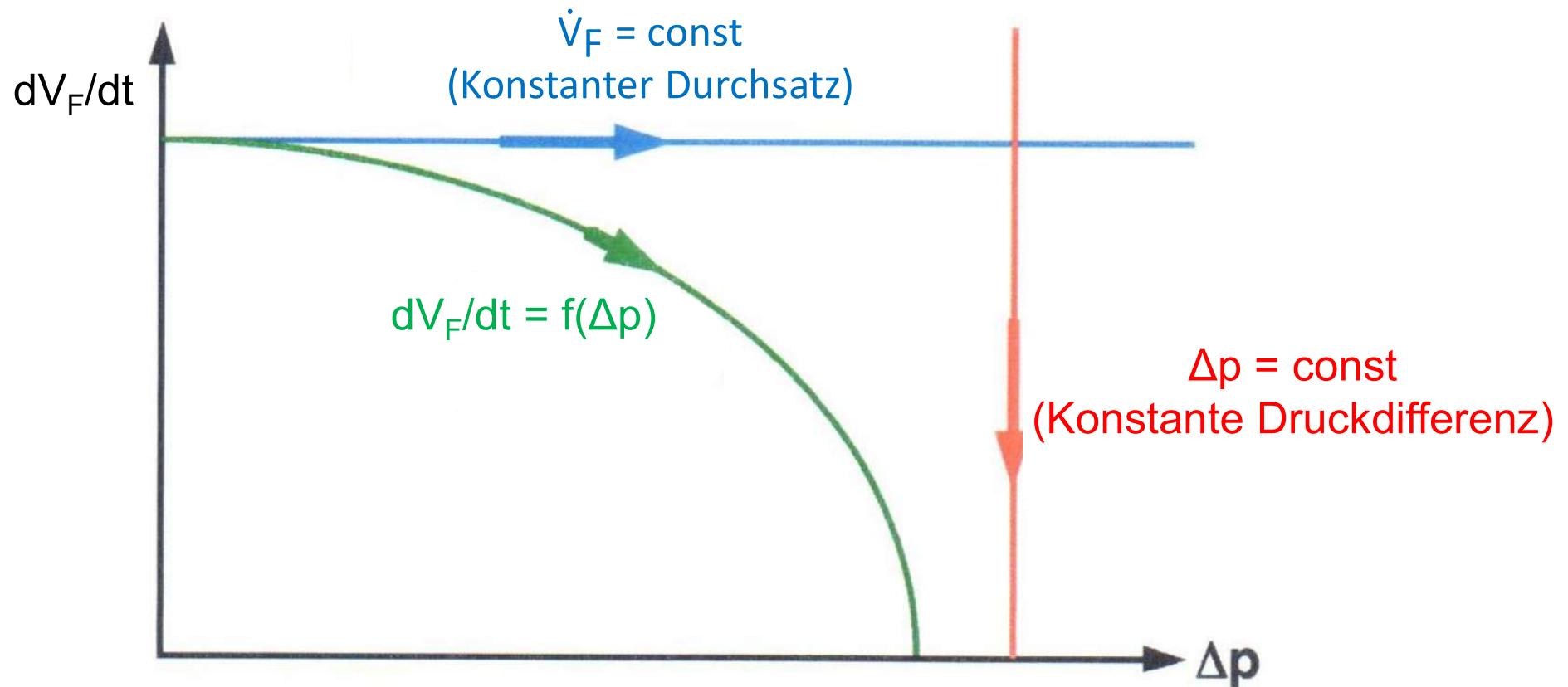


# Kuchenfiltration (f-fl)

## 2. Filtergleichung: Lösung

**Einfache Analytische Lösung der Filtergleichung (Differentialgleichung) für**

- $\Delta p = \text{const}$  (Vakuum- und Druckfilter)
- $\dot{V}_F = \text{const}$  (Pressfilter mit volumetrischer Speisepumpe)
- Bekannte Funktion  $\Delta p = f(\dot{V}_F)$



# Kuchenfiltration (f-fl)

## 2. Filtergleichung: Lösung für $\Delta p = \text{const}$

$\Delta p = \text{const}$  (z.B. Vakuumtrommelfilter)

- **Filtrat Volumen  $V_F(t)$**

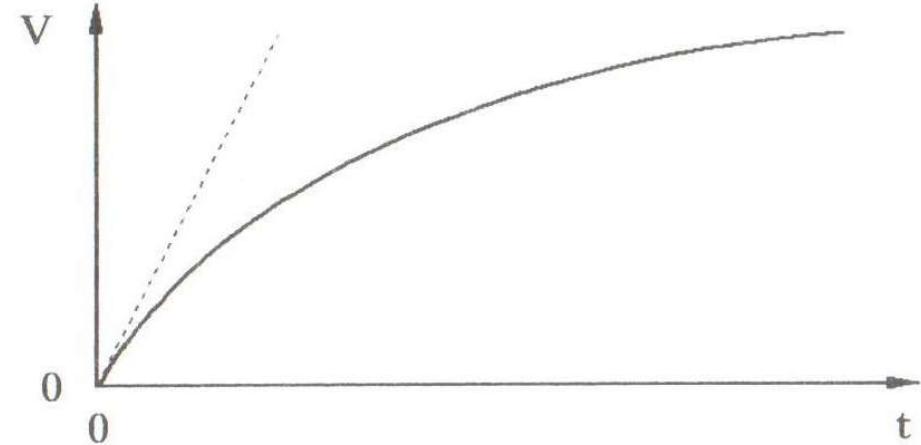
(Filtergleichung: Trennung der Veränderl. und Integration in Grenzen 0 - t bzw. 0 -  $V_F$ )

$$V_F(t) = \sqrt{\left(\frac{\beta \cdot A}{\alpha_V \cdot \kappa_V}\right)^2 + \frac{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p}{\eta_L \cdot \alpha_V \cdot \kappa_V} \cdot t} - \frac{\beta \cdot A}{\alpha_V \cdot \kappa_V}$$

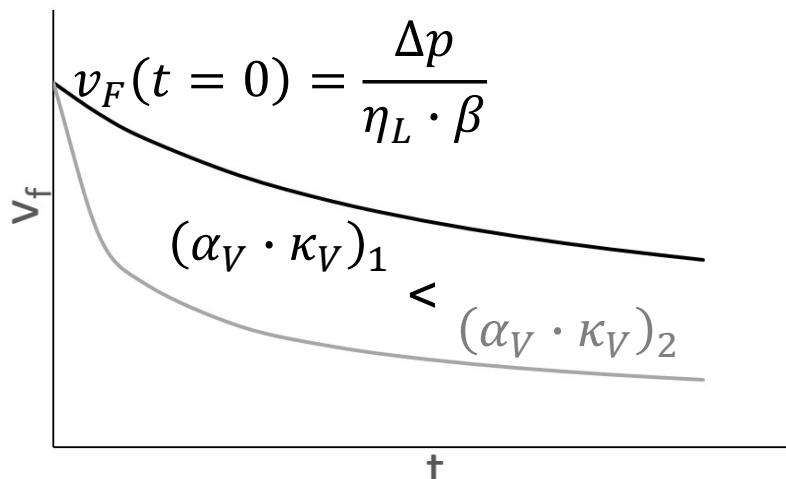
→  $V_F$  wird immer größer ( $V_F \sim t^{1/2}$ )

→ **Filtratfluss** ( $dV_F/dt$ ) mit  $t$  immer **kleiner**

→ **Filterregenerierung** nötig



- **Filtrationsgeschwindigkeit  $v_F(t) = 1/A \cdot dV_F/dt$**



er Zeit mit Kettenregel, Division durch A)

$$v_F(t) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\eta_L \cdot \beta}{\Delta p}\right)^2 + \frac{2}{\Delta p} \cdot \eta_L \cdot \alpha_V \cdot \kappa_V \cdot t}}$$

M. Stieß (1993)

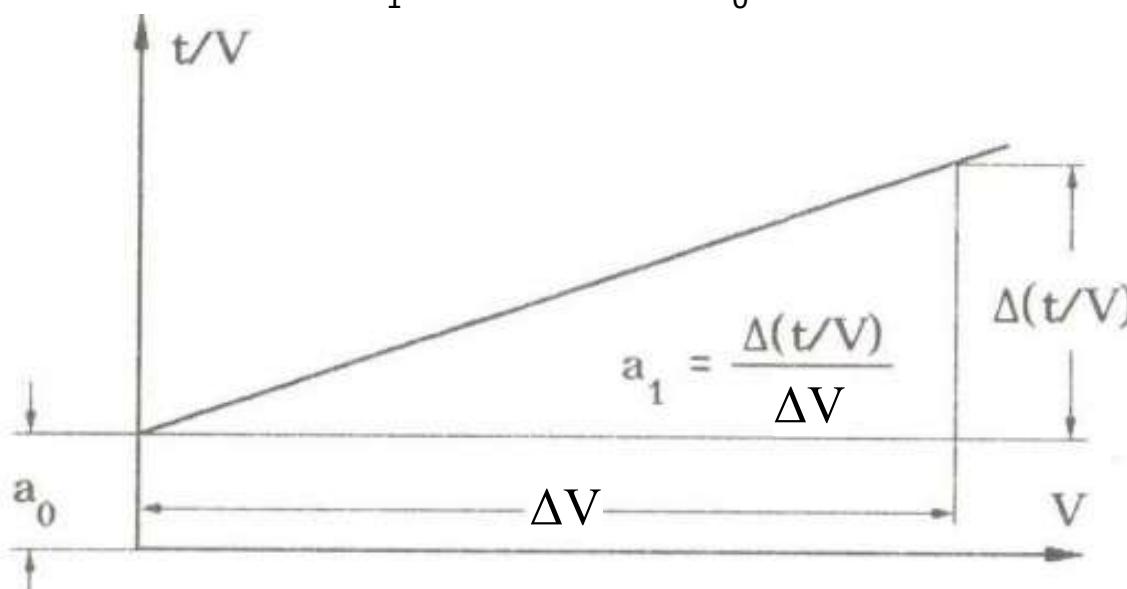
# Kuchenfiltration (f-fl)

## 2. Filtergleichung: Lösung für $\Delta p = \text{const}$

$\Delta p = \text{const}$  (z.B. Vakuumtrommelfilter)

- Graphische Bestimmung der **Widerstände** von Filter und Kuchen
  - Umformen der obigen Gleichung ( $V_F(t)$ )  
→ **lineare Gleichung** mit y-Achsenabschnitt  $a_0$  und Steigung  $a_1$

$$\frac{t}{V_F(t)} = \underbrace{\frac{\eta_L \cdot \alpha_V \cdot \kappa_V}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p}}_{a_1} \cdot V_F(t) + \underbrace{\frac{\eta_L \cdot \beta}{A \cdot \Delta p}}_{a_0}$$



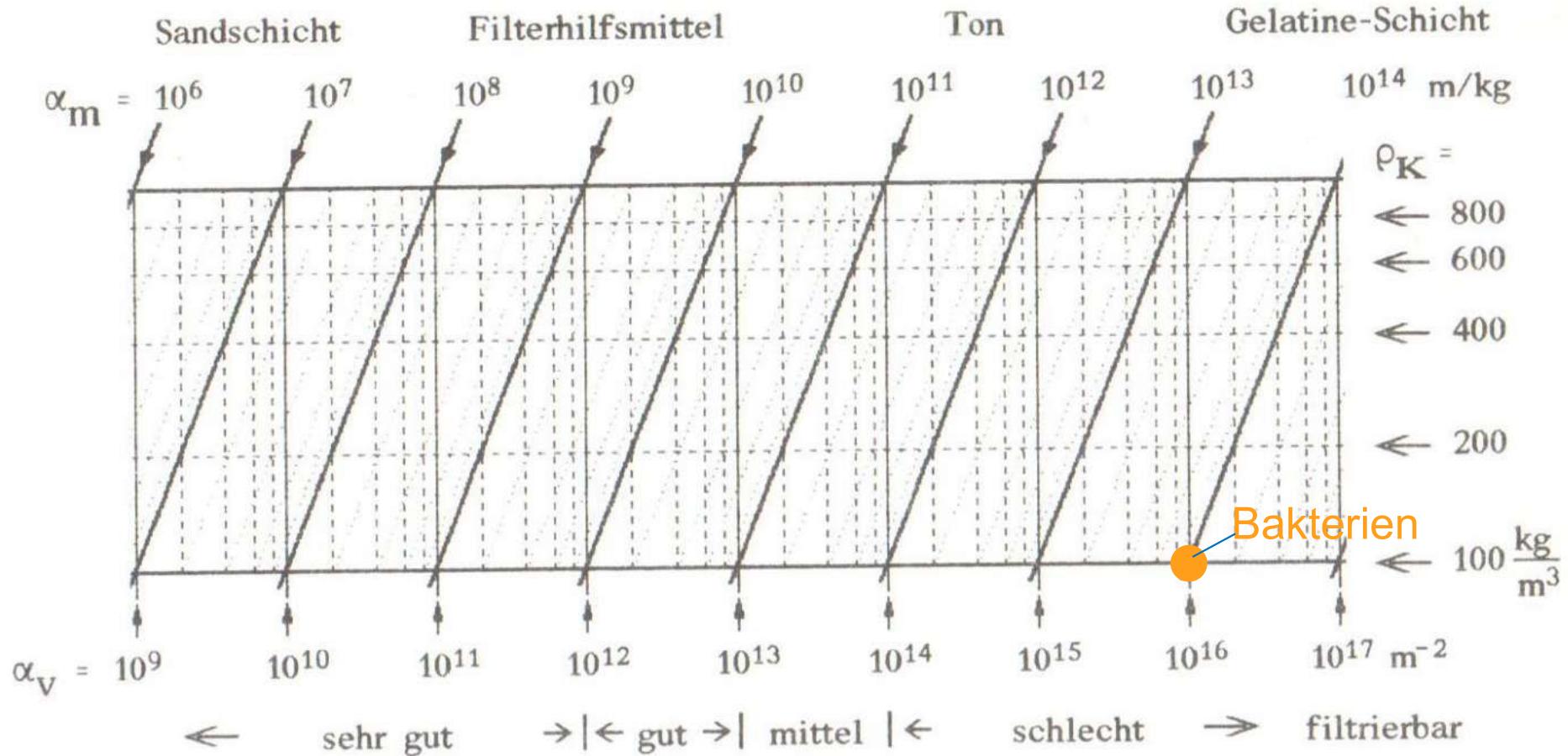
→  $\alpha$  aus **Geradensteigung**,  $\beta$  aus **y-Achsenabschnitt** bei  $t = 0$

M. Stieß (1993)

# Kuchenfiltration (f-fl)

## 3. Richtwerte für Durchströmungswiderstände

### Filterkuchen



Hinweis:  $\alpha_m = \frac{\alpha_V}{\rho_K} = \frac{\alpha_V}{(1-\varepsilon) \cdot \rho_s}$  (wird verwendet wenn  $\kappa_m = \frac{m_k(t)}{V_F(t)}$  statt  $\kappa_V$  gegeben)

Zusammenhang:  $\alpha_m \cdot \kappa_m = \alpha_V \cdot \kappa_V = \alpha \cdot \kappa$

M. Stieß (1993)

# Kuchenfiltration (f-fl)

## Druckverlust über poröse Systeme

- **Carman-Kozeny** (Re < 3: zähe, rel. langsame Durchströmung)

- $$\frac{\Delta p}{h} = k \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{(\eta_L \cdot v)}{x_{SV}^2}$$

(h: Kuchendicke; k: Proportionalitätskonstante; v: Filtrationsgeschwindigkeit; x<sub>SV</sub>: Partikelgröße)

# Filtrationsverfahren: Kuchenfiltration

## Filtergleichung

1. Herleitung
2. Lösung für usch. Betriebsweisen
3. Einschub: Richtwerte für Durchströmungswiderstände
4. **Meilenstein**

# Meilenstein: Filtrierbarkeit

1. Valide Daten zur Bewertung der Eignung der Filtration für die gest. Aufgabe ( $\Delta p=\text{const}$ )

$$\frac{t}{V_F(t)} = \frac{\eta_L \cdot \alpha_V \cdot \kappa_V}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V_F(t) + \frac{\eta_L \cdot \beta}{A \cdot \Delta p}$$

2. Eignung des eigenen Aufbaus zur Filtration

3. Beschreibung eines geeigneten Versuchsaufbaus zur Ermittlung d. Filtrierbarkeit

## Fragen zu 1.)

- Zielgröße Filtrierbarkeit?
- Nötige Daten
  - Stoffdaten?
  - Prozess/Projektdaten?
  - Messdaten?
- Sinnvolle Darstellung der Messdaten?
- Ablesewert aus der Darstellung als Grundlage für Berech. der Zielgr. für Filtrierbarkeit?
- Wichtige Anforderungen an den Versuch?

# Meilenstein: Filtrierbarkeit

## Zielwert: Filtrierbarkeit

- Herleitung der Auswertungsmethode
- Berechnung des Zielwerts in XLS

# Aufgabenstellung

1. Valide, experimentell bestimmte Kenndaten zur Bewertung der Eignung der Filtration für die
2. Abscheidung der anorganischen und biologischen Verunreinigung eines Abwassers mittels
3. Filtration mit begründeter Schlussfolgerung,
4. Beschreibung des eigenen Versuchsaufbaus und der Durchführung mit kritischer Bewertung
5. in Bezug auf die Eignung des Aufbaus für eine belastbare Bewertung der Filtrierbarkeit,
6. Beschreibung eines geeigneten Versuchsaufbaus zur Ermittlung der Filtrierbarkeit mit
7. Begründung

## Dritte Teilaufgabe (Aufgabe 3):

1. Messdaten Sekundär in XLS-Vorlage (Felder mit ZZ) berechnen
2. Zielgröße in XLS-Vorlage (Felder mit ZZ) berechnen
3. Weitere Aufgaben gemäß Liste oben / Bericht!