

Filtrationsverfahren:

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

Fest-Flüssig Filtration

1. Einführung

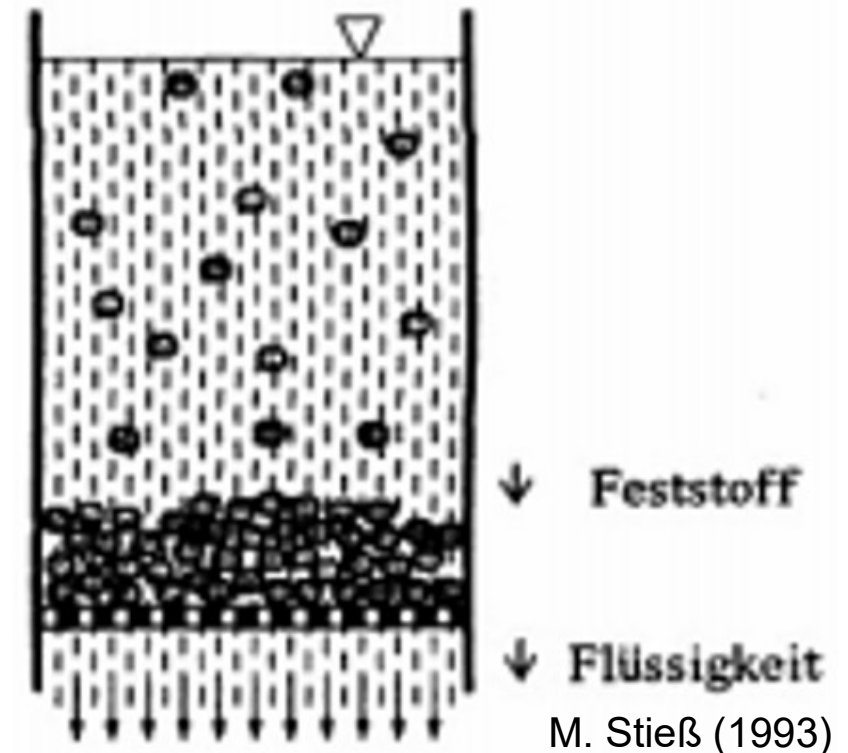
Wirkprinzip

Interaktion zwischen porösem **Filtermedium** und Suspension

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

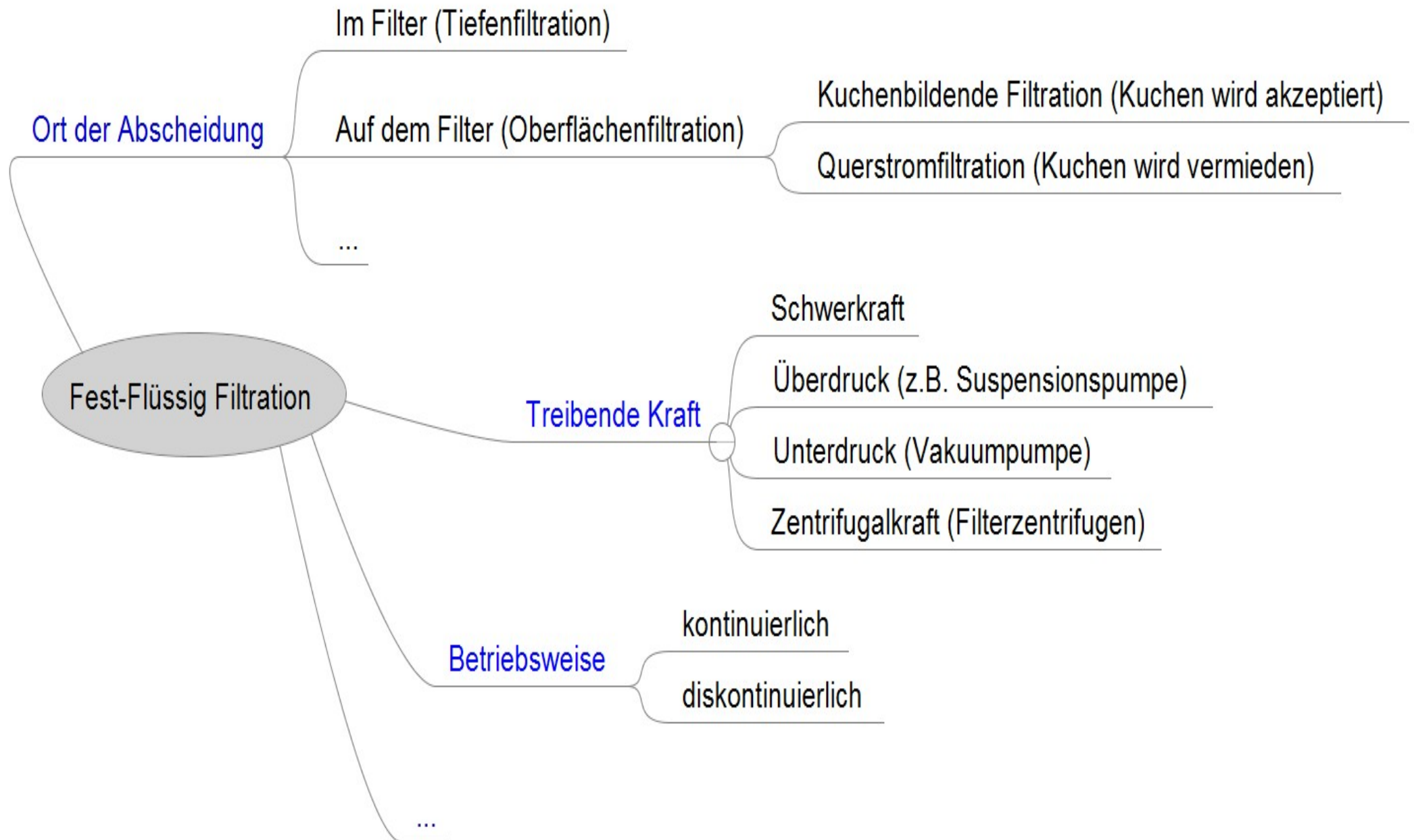
Vor-/Nachteileil gegenüber Zentrifugieren

- + 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

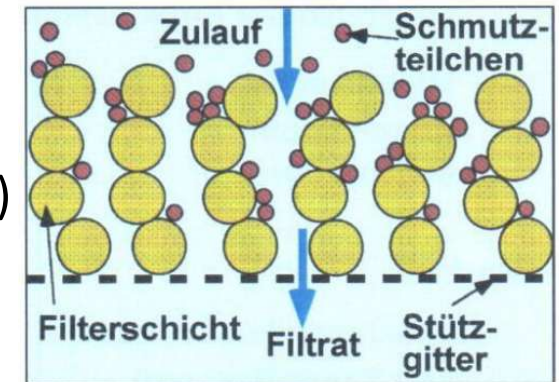
2. Gliederung: Ort der Abscheidung bzw. Mechanismus

Tiefenfiltration

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

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

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

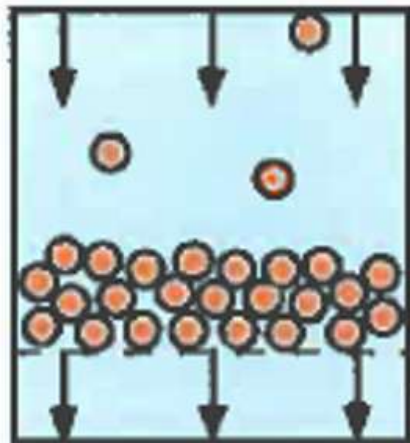


Oberflächenfiltration

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

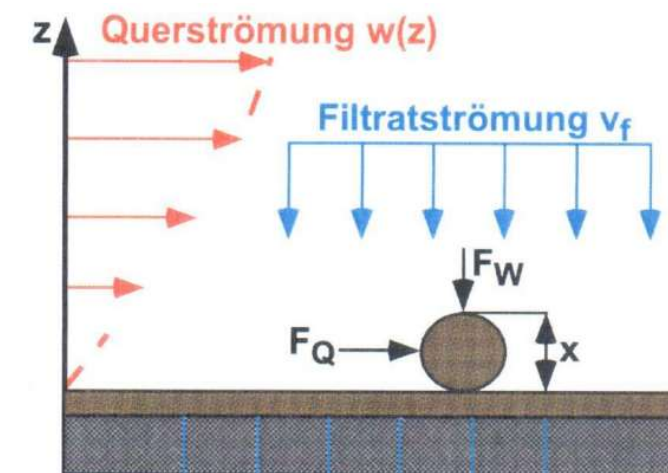
→ **Porengröße** des Filters \approx Partikelgröße (keine Passung in den Filter)

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



Statische oder
Dead-end Filtration

Querstromfiltration (**Vermeidung der Kuchenbildung** durch Querströmung)

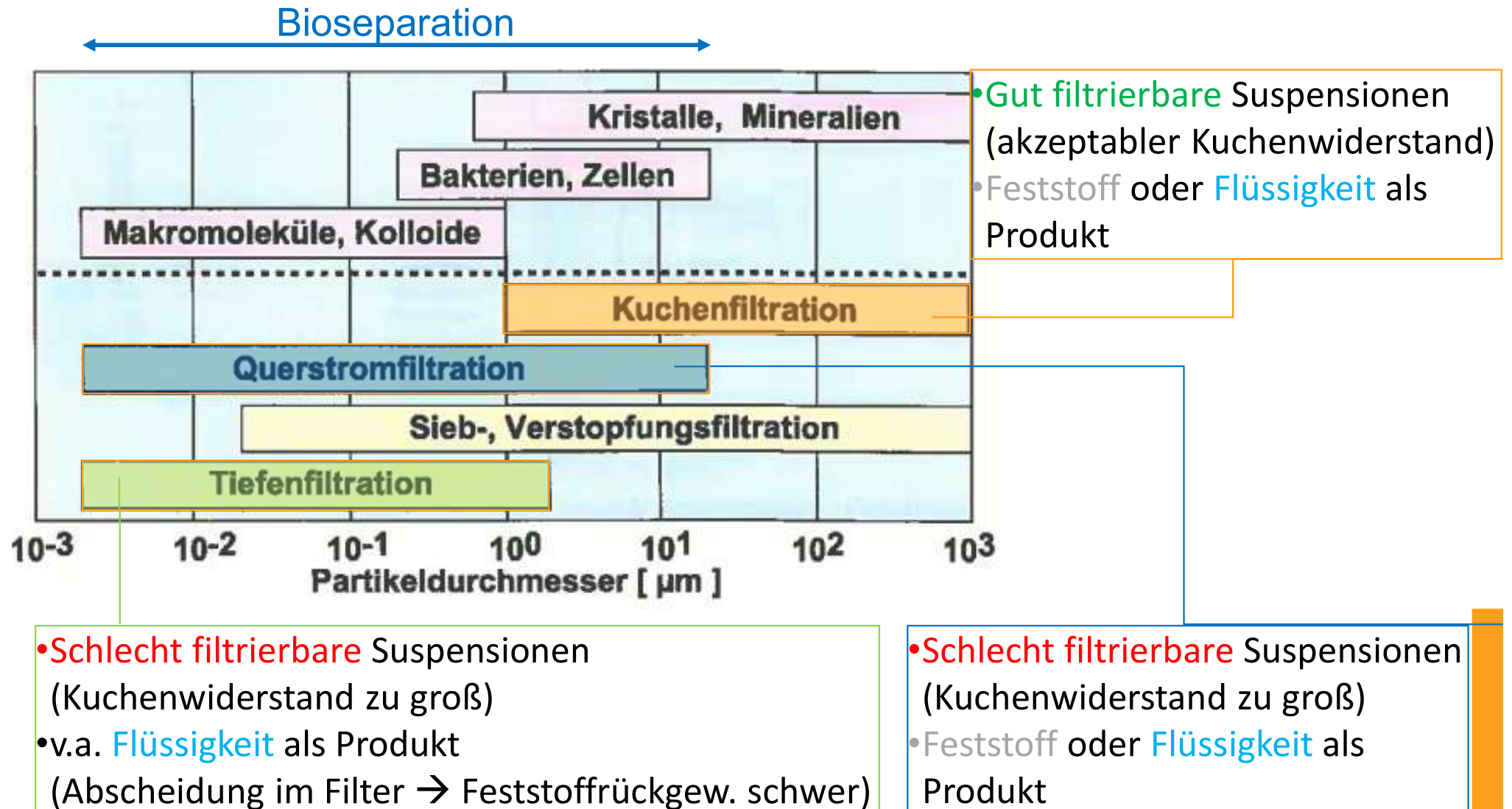


Dynamische oder cross-flow Filtration

Fest-Flüssig Filtration

2. Gliederung: Ort der Abscheidung bzw. Mechanismus

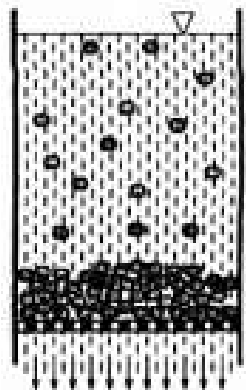
Verfahrensauswahl



Fest-Flüssig Filtration

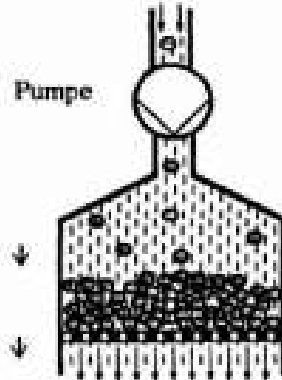
2. Gliederung: Art der treibenden Kraft

Schwerkraft



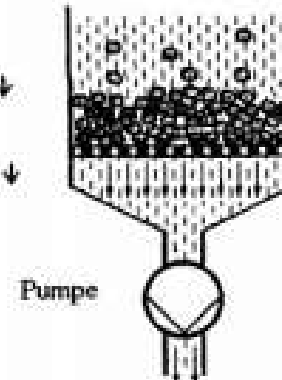
a)

Überdruck



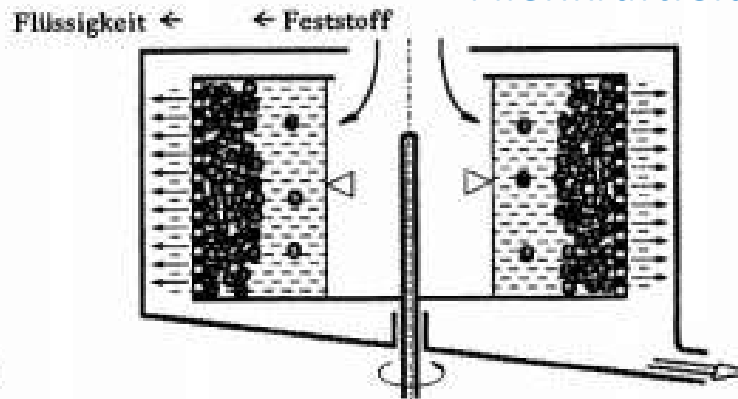
b)

Unterdruck



c)

Fliehkraftfeld



d)

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

M. Stieß (1993)

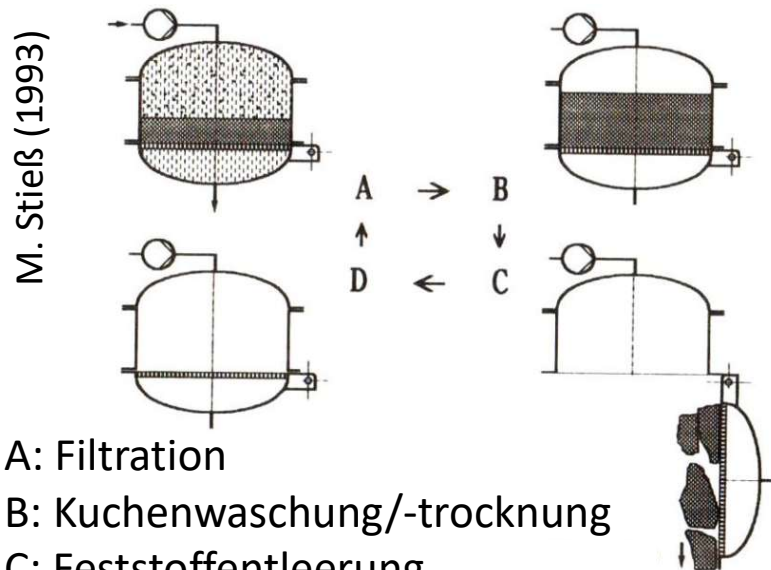
Treibende Kraft (**Druckdifferenz**) über das Gesamtsystem aus Filter und ggf. Kuchen

→ **Flüssigkeitsförderung** über das System

Fest-Flüssig Filtration

2. Gliederung: Betriebsweise

Drucknutsche



A: Filtration

B: Kuchenwaschung/-trocknung

C: Feststoffentleerung

D: Reinigen/Schließen des Apparates

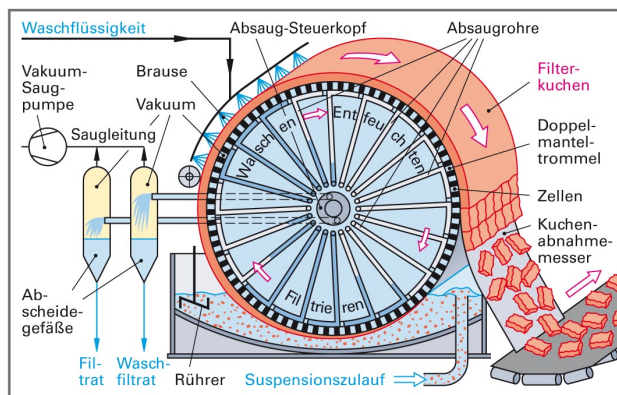
Diskontinuierlich

Jeder Prozessschritt zeitlich unabhängig einstellbar

+ hohe Flexibilität

- Begrenzter Durchsatz (Totzeiten)

Vakuumtrommelfilter



Chemietechnik (Europa Lehrmittel)

Kontinuierlich

alle Prozessschritte gekoppelt über gemeinsame Transportgeschwindigkeit

- begrenzte Flexibilität

+ hoher Durchsatz (keine Totzeiten)

Fest-Flüssig Filtration

2. Gliederung: Filterapparate

Gravity filtration	Vacuum filtration		Centrifugal filtration
<p><i>Batch:</i> Single leaf Nutsche</p> <p><i>Semi-continuous:</i> Sand bed</p> <p><i>Continuous:</i> Gravity belt Stationary screen Vibrating screen</p>	<p><i>Batch:</i></p> <p>Multi-element leaf (Moore's) Single leaf Nutsche Single leaf tilting pan</p>	<p><i>Continuous:</i></p> <p>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)</p>	<p>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</p>
Pressure filtration			
<p><i>Batch:</i></p> <p>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</p>	<p><i>Semi-continuous:</i></p> <p>Bag Cartridge Dead-end membrane Fibre bed Low shear crossflow Sand bed Simplex strainer</p>	<p><i>Continuous:</i></p> <p>Belt press Duplex strainer High shear crossflow Rotary disc Rotary drum Sand bed Tower press</p>	<p><i>Variable volume:</i></p> <p>Diaphragm filter press Expression (screw) press Horizontal element tube press Vertical diaphragm filter press Vertical element tube press</p>

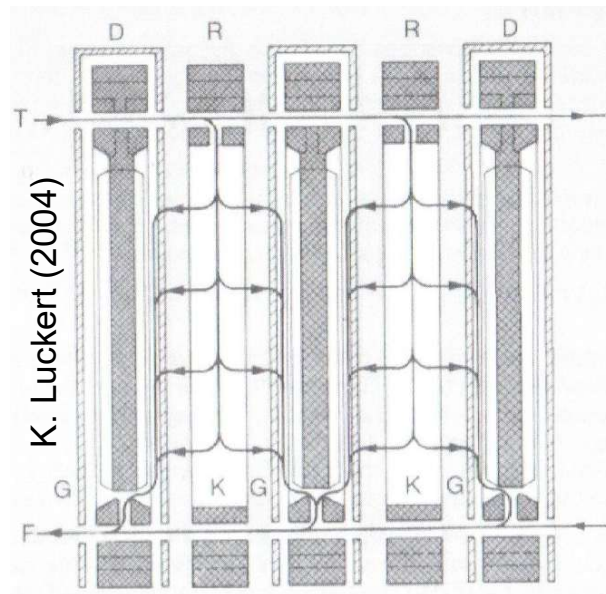
Kuchenfiltration (f-fl)

3. Bauformen: Diskontinuierlich

z.B. Rahmenfilterpresse

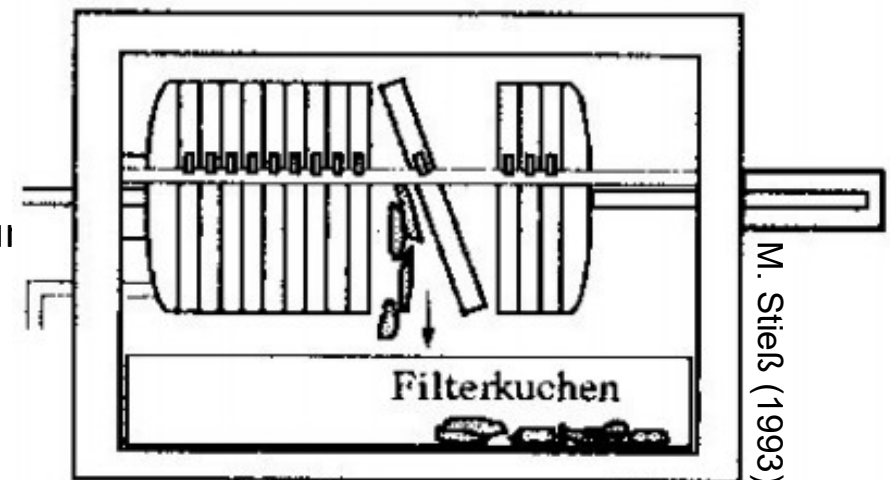
- Aufbau und Funktion**

Kuchenbildung



D: Druckplatten
R: Rahmen (Kuchenraum)
K: Kuchen
G: Filtertuch
T: Suspensionszulauf
F: Filtratablauf

Feststoffentleerung



- Charakteristika**

- Einfacher Aufbau → **Geringer Invest**
- Große Filterflächen (bis 1.000 m²) → **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

Membranplatte

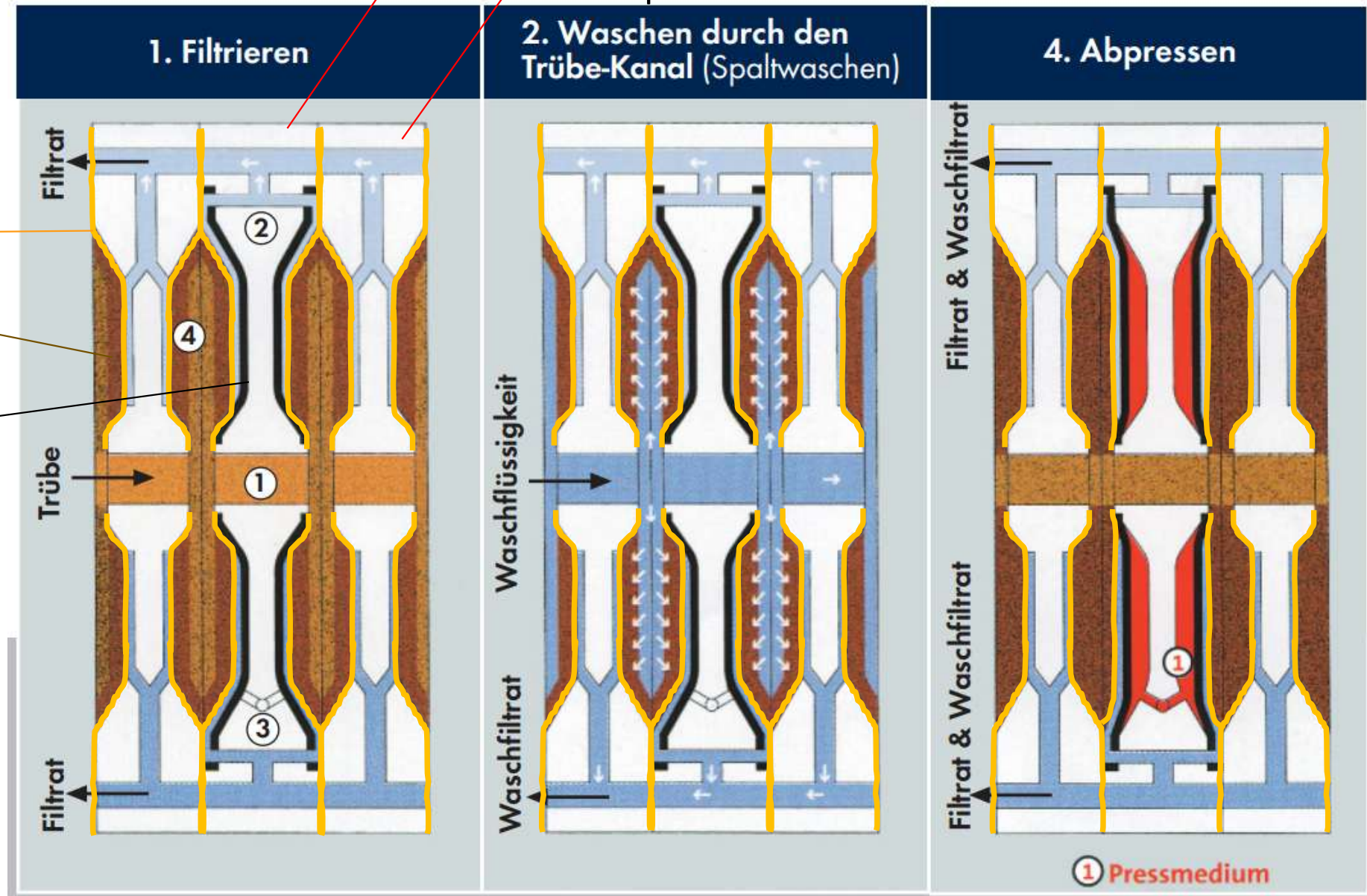
Zwischenplatte

Achtung Fehler:

Wo?

<http://www.jvk.de>

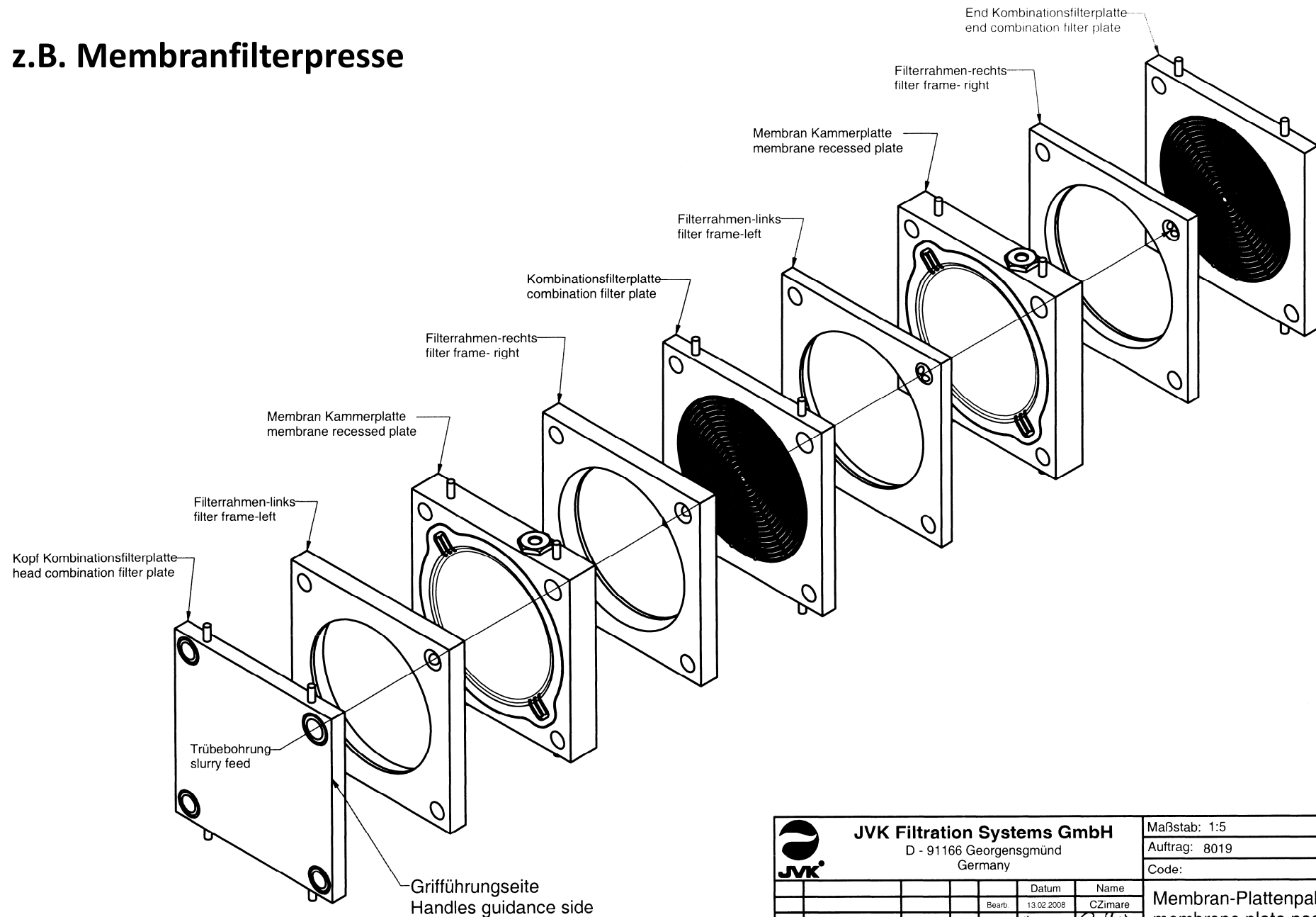
Filter
Kuchen
Membran




Kuchenfiltration (f-fl)

3. Bauformen: Diskontinuierlich

z.B. Membranfilterpresse



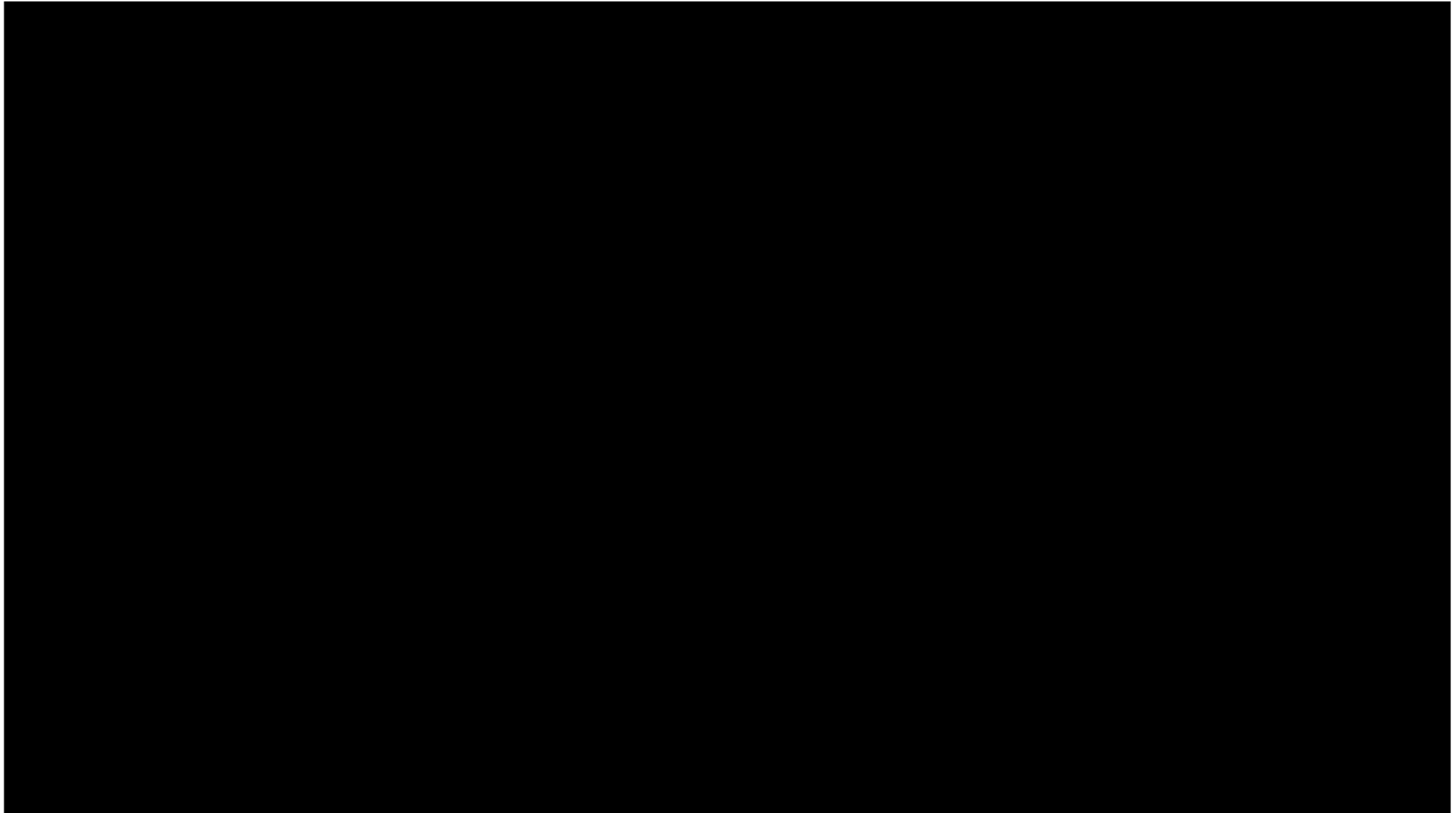
 JVK Filtration Systems GmbH D - 91166 Georgensgmünd Germany		Maßstab: 1:5	
		Auftrag: 8019	
		Code:	
		Datum	Name
	Bearb.	13.02.2008	CZimare
	Gepr.	14.02.08	CZimare

Membran-Plattenpaket
membrane plate pack

Kuchenfiltration (f-fl)

3. Bauformen: Diskontinuierlich

z.B. Membranfilterpresse



Kuchenfiltration (f-fl)

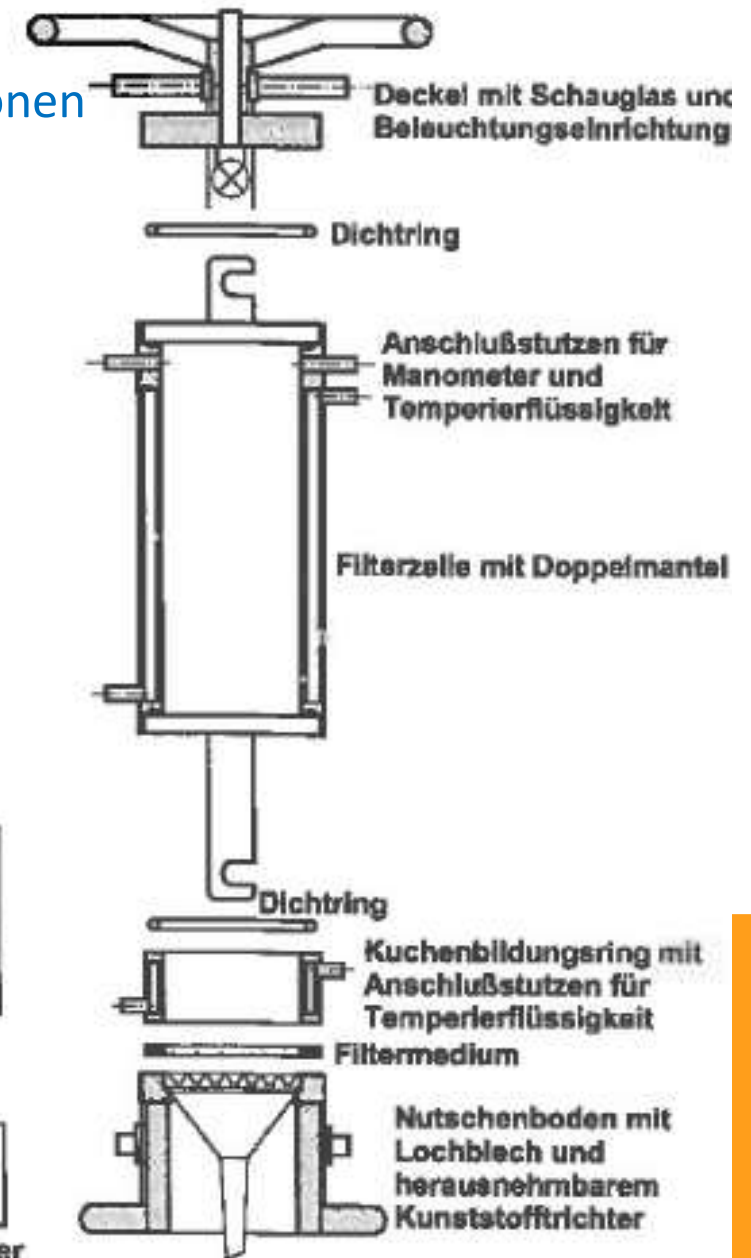
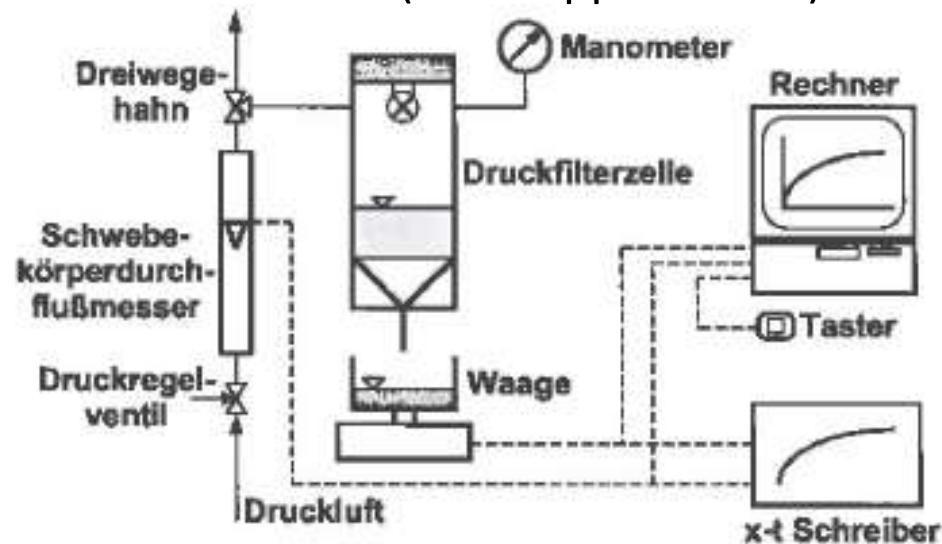
3. Bauformen: Laborfilter (VDI Richtlinie 2762)

Zweck

- Quantitative Aussage zur **Filtrierbarkeit von Suspensionen**

Charakteristika

- Filterfläche: **> 20 cm²**
- Volumen: **> 300 ml**
- Treibende Druckdifferenz: über **Druckluft** (bis > 6 bar)
- Glasdeckel** mit Beleuchtung zur visuellen Beobachtung des Filtrationsvorganges
- Kontinuierliche Messung des **Filtratanfalles**
- Möglichst **Heitz- 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 versch. Betriebsweisen**
- 3. Richtwerte für Durchströmungswiderstände**
- 4. Meilenstein**

Kuchenfiltration (f-fl)

1. Filtergleichung: Herleitung

- Filter(Ruth)gleichung**

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

Suspensionseigenschaften

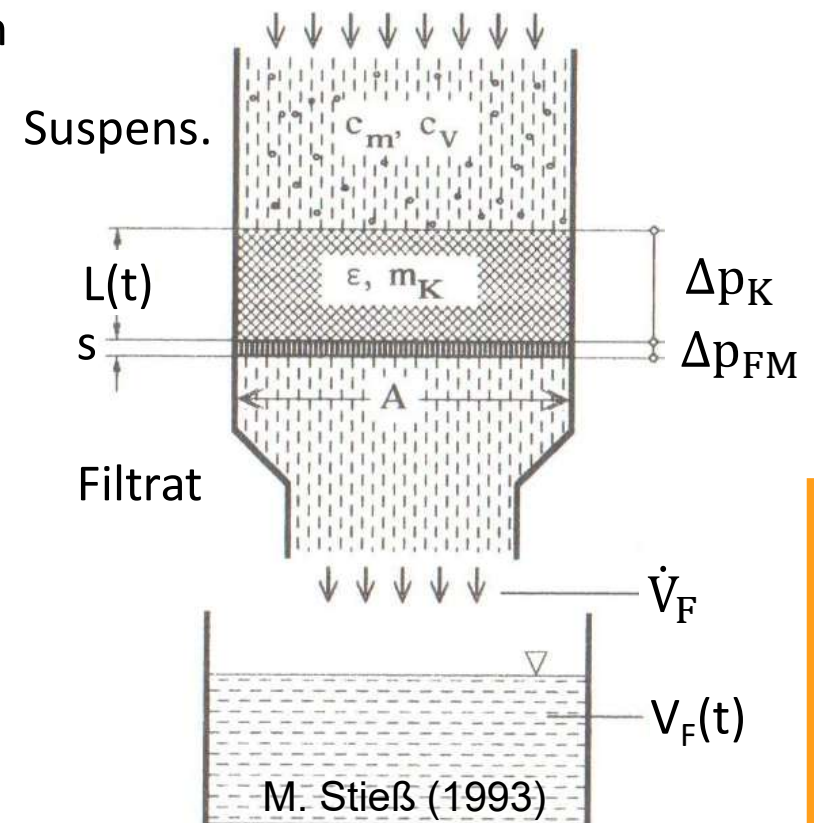
- Anwendung**

- Auslegung
- Exp. Bestimmung der Durchströmungswiderstände über Filter (β) und Kuchen (α)
- 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 ϵ 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. $\kappa_V = \frac{V_K(t)}{V_F(t)} = \text{const}$

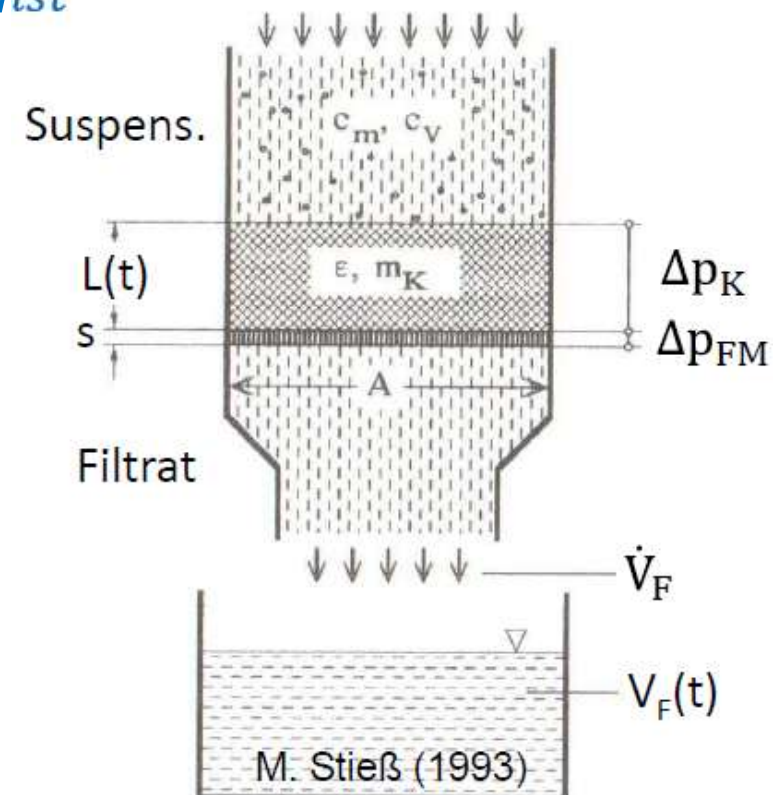
Geometrie: $V_K(t) = L(t) \cdot A$

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

- **Allgemeine Filtergleichung** (Differentialgleichung)

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

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

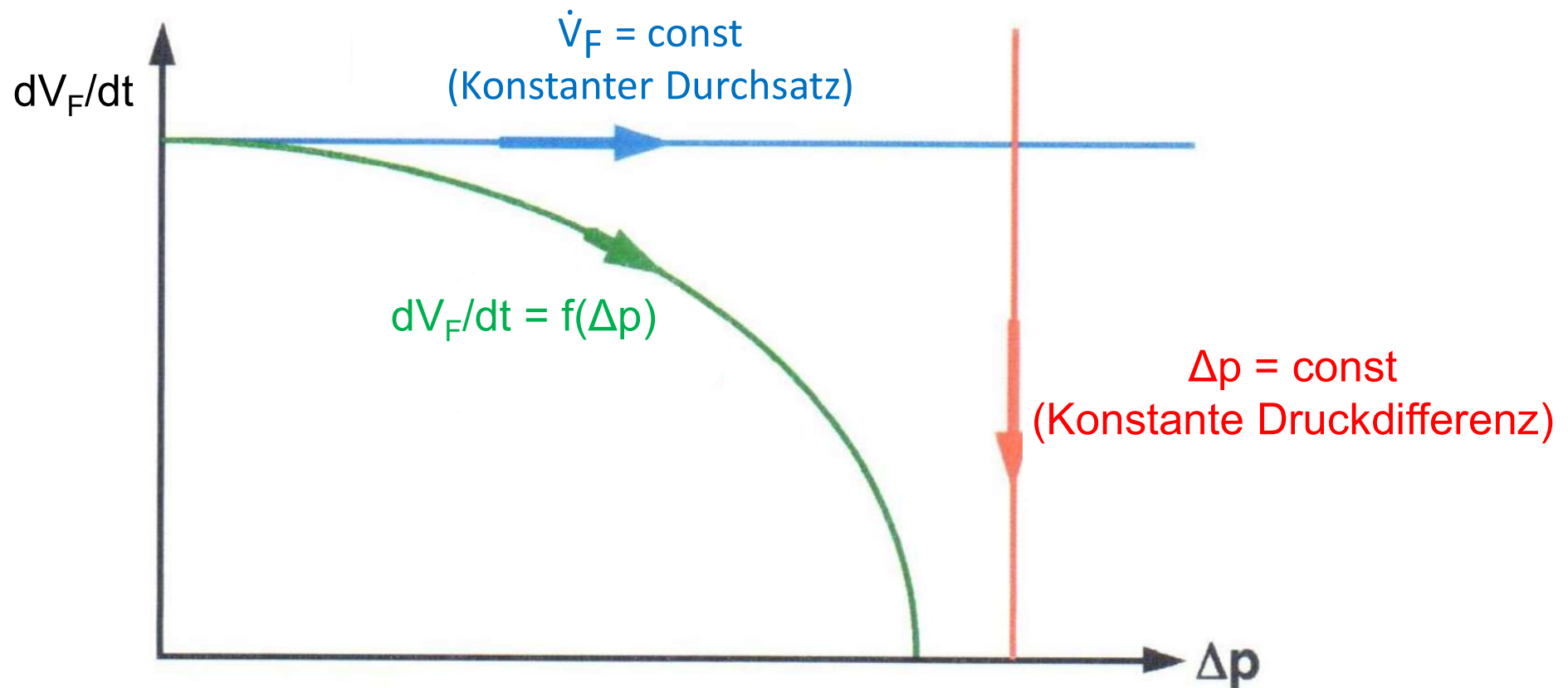


Kuchenfiltration (f-fl)

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 $V_F(t)$**

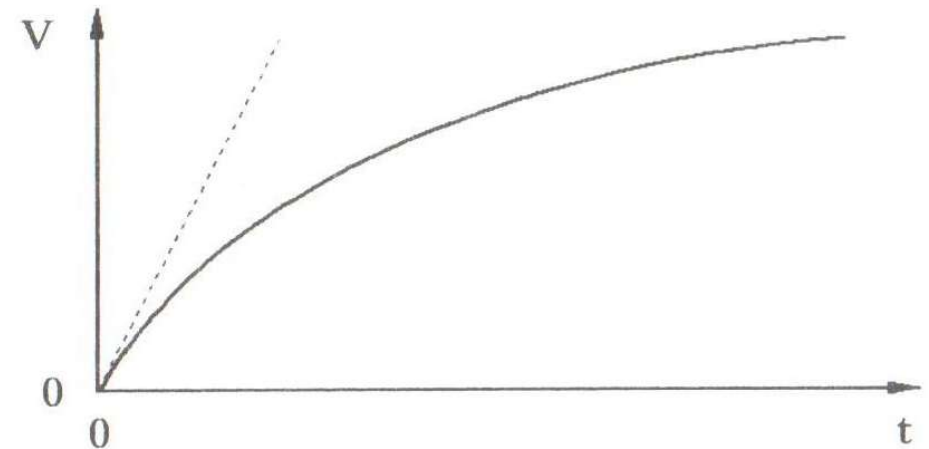
(Filtergleichung: Trennung der Veränderl. und Integration in Grenzen 0 - t bzw. 0 - V_F)

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

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

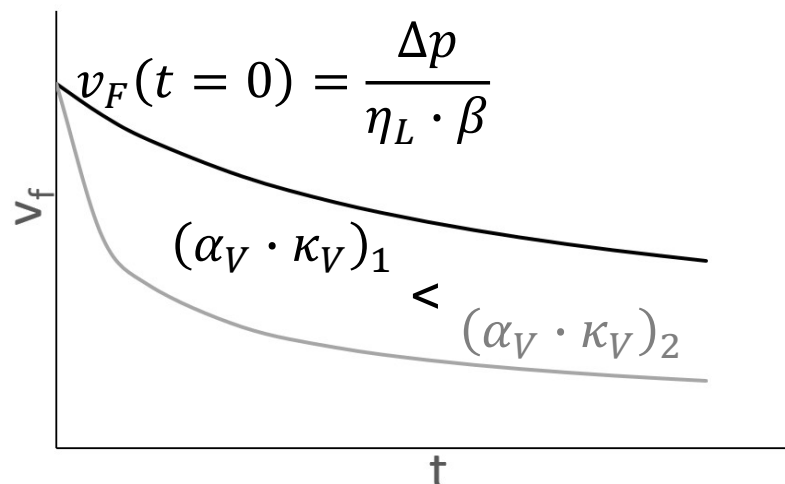
→ **Filtratfluss** (dV_F/dt) mit t immer **kleiner**

→ **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)

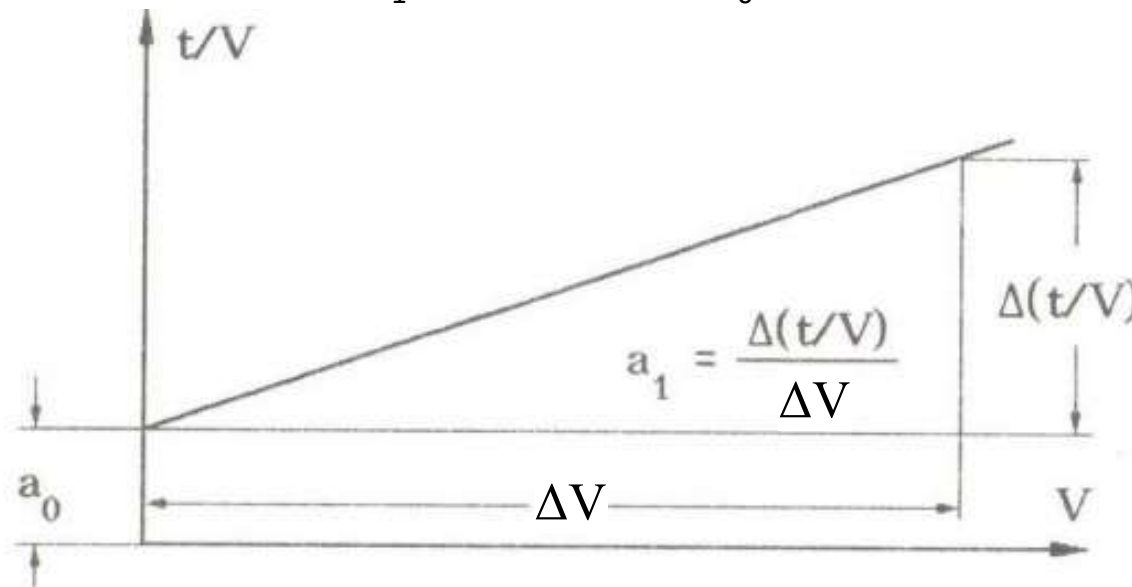
Kuchenfiltration (f-fl)

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

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



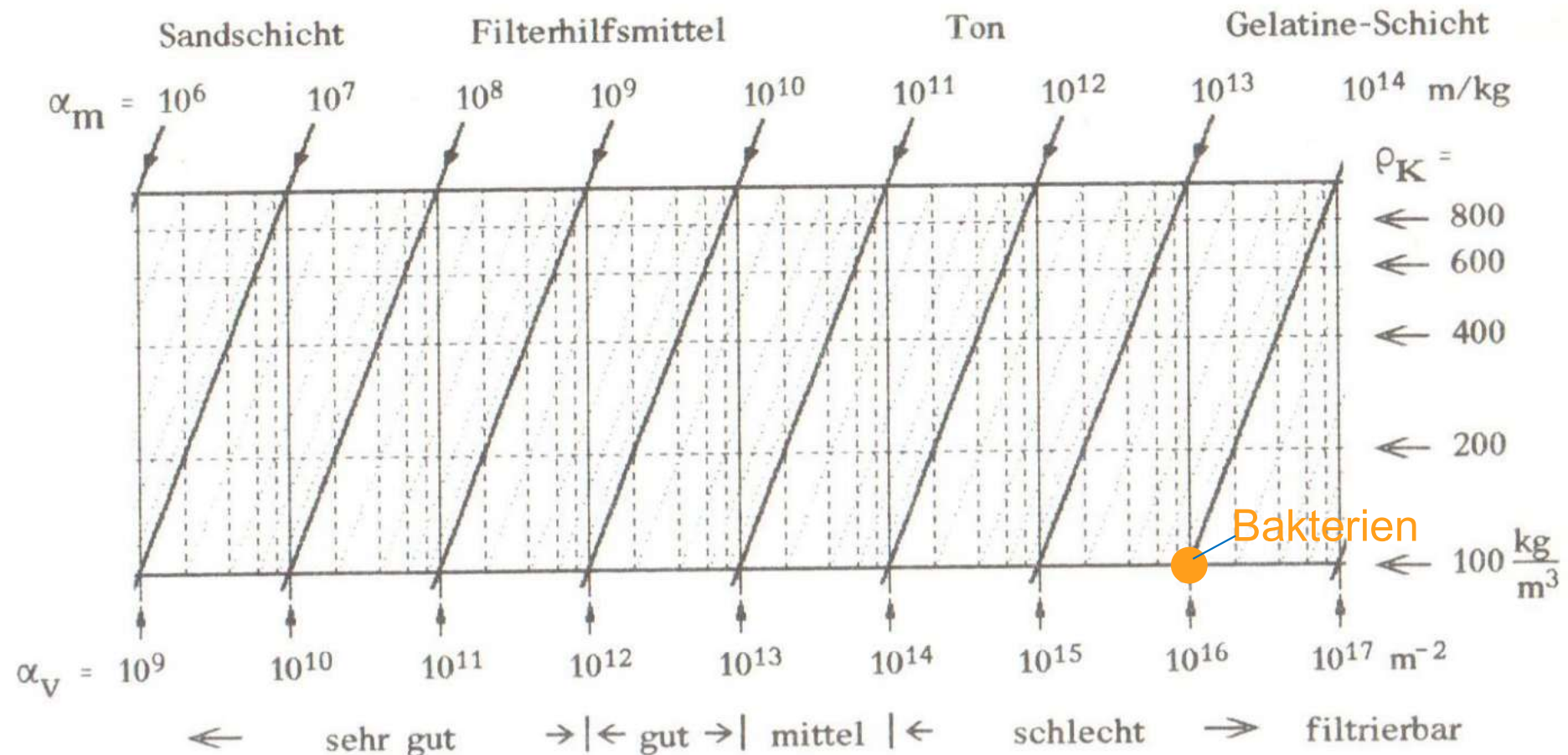
→ α aus Geradensteigung, β aus y-Achsenabschnitt bei $t = 0$

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 κ_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_{SV} : 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 Berechnung der Zielgröße 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!