

Folien zur Lehrveranstaltung

**Grundlagen der Mechanischen  
Verfahrenstechnik**

*– nur zum persönlichen Gebrauch –*

PD Dr.-Ing. habil. Frank Babick  
Dr.-Ing. Benno Wessely

Dresden, Frühjahr 2021

# 5. Sedimentation

# Lernziele zu Kapitel 5

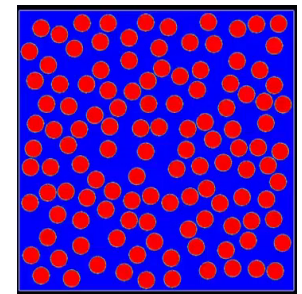
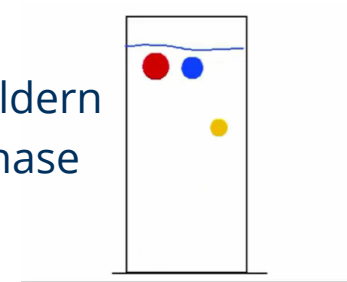
- Wissen:
  - Was verstehen wir unter Sedimentation?
  - Unterschied zwischen Schwarm- und Zonensedimentation?
  - Welche Sedimentationsapparate für technische Trennprozesse?
  - Wie lässt sich die Effektivität von Sedimentationsprozessen beeinflussen?
- Fähigkeiten:
  - Berechnung der Sinkgeschwindigkeit von Einzelpartikeln und Partikelschwärmen
  - Ermittlung der Partikelgröße bei bekannter Sinkgeschwindigkeit
  - Auslegung eines Sedimentationsapparates bzgl. der Klärfläche

# 5. Sedimentation

## – Grundlagen –

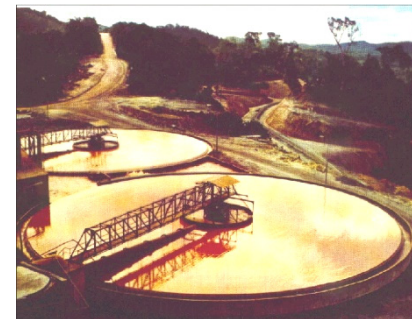
# Sedimentation

- Umgangssprache: „Absetzen von Partikeln“
- Mikroprozess:
  - gerichtete Partikelbewegung im Schwerfeld oder in Zentrifugalfeldern
  - Voraussetzung: Dichtedifferenz zw. Partikel und kontinuierlicher Phase
- Makroprozess:
  - Entmischung eines dispersen System im Schwerfeld oder Zentrifugalfeld
  - infolge eines gerichteten Stofftransports der gesamten dispersen Phase
    - partikelfreie kontinuierliche Phase (*Überstand*)
    - Schicht mit abgelagerten Partikeln (*Sediment* oder *Rahmschicht*)
- Formen
  - Schwerkraftsedimentation und Zentrifugation
  - Einzelpartikel-, Schwarm-, Strähnen-, Zonensedimentation



# Relevanz der Sedimentation in Natur und Technik

- Erfahrungen aus Natur und Alltag:
  - Staub auf Regalen
  - Sedimente in Gewässern
  - Saharastaub und Blütenpollen auf Autos
  - ...
- Ziele einer technischen Nutzung:
  - Klären → partikelfreie kontinuierliche Phase ( $\varphi_{V,\text{solid}} \rightarrow 0$ )
  - Eindicken → Schlamm mit geringer Feuchte ( $\varphi_{V,\text{solid}} \rightarrow 1$ )
  - Klassieren/Sortieren → Trennung der dispersen Phase nach Partikelgröße oder Material
- Beispiele
  - Schlammteiche, Klärbecken, Ölabscheider
  - Zentrifugen
  - Hydrozyklone



## 5. Sedimentation

*– Berechnung der Sinkgeschwindigkeit einzelner Kugeln –*

# Bewegungsgleichung

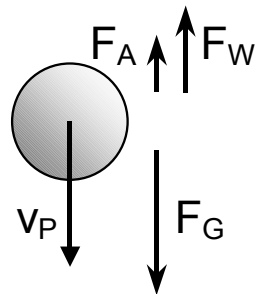
- allgemeine Bewegungsgleichung für Partikel:

$$m_P \cdot \frac{d\vec{v}_P}{dt} = \sum \vec{F}_i$$

$\vec{F}_G = m_P \cdot \vec{g}$   
 $\vec{F}_Z = m_P \cdot (-\vec{a}_r)$   
 $\vec{F}_C = Q \cdot \vec{E}$   
 $\vec{F}_W = -c_W \cdot A_{\text{Proj}} \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot |\vec{v}_{\text{rel}}| \cdot \vec{v}_{\text{rel}}$   
 $\vec{F}_A = -V_P \cdot \rho_F \cdot \vec{g}$

$F_G$  = Schwerkraft  
 $F_Z$  = Zentrifugalkraft:  
 $F_C$  = elektrische Feldkraft  
 $F_W$  = Strömungswiderstand  
 $F_A$  = Auftriebskraft

- Kräftegleichgewicht im Fall der stationären Sedimentation ( $\frac{d\vec{v}_P}{dt} = 0$  und  $v_{\text{rel}} = v_S$ )



$$F_G - F_A = F_W$$

$$g \cdot (\rho_P - \rho_F) \cdot V_P = c_W \cdot A_{\text{Proj}} \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot v_S^2$$

$$g \cdot \Delta\rho \cdot \frac{\pi}{6} \cdot d^3 = c_W \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot v_S^2$$

$$g \cdot \Delta\rho \cdot d = \frac{3}{4} \cdot c_W \cdot \rho_F \cdot v_S^2$$

$v_P$  = Partikelgeschwindigkeit.  
 $v_S$  = Sinkgeschwindigkeit  
 $V_P$  = Partikelvolumen  
 $A_{\text{proj}}$  = Projektionsfläche  
 $c_W$  = Widerstandsbeiwert  
 $g$  = Fallbeschleunigung  
 $\rho_P$  = Partikeldichte  
 $\rho_F$  = Fluidichte

# Widerstandsbeiwert von Kugeln

als Funktion der Partikel-Reynoldszahl  $Re_p$

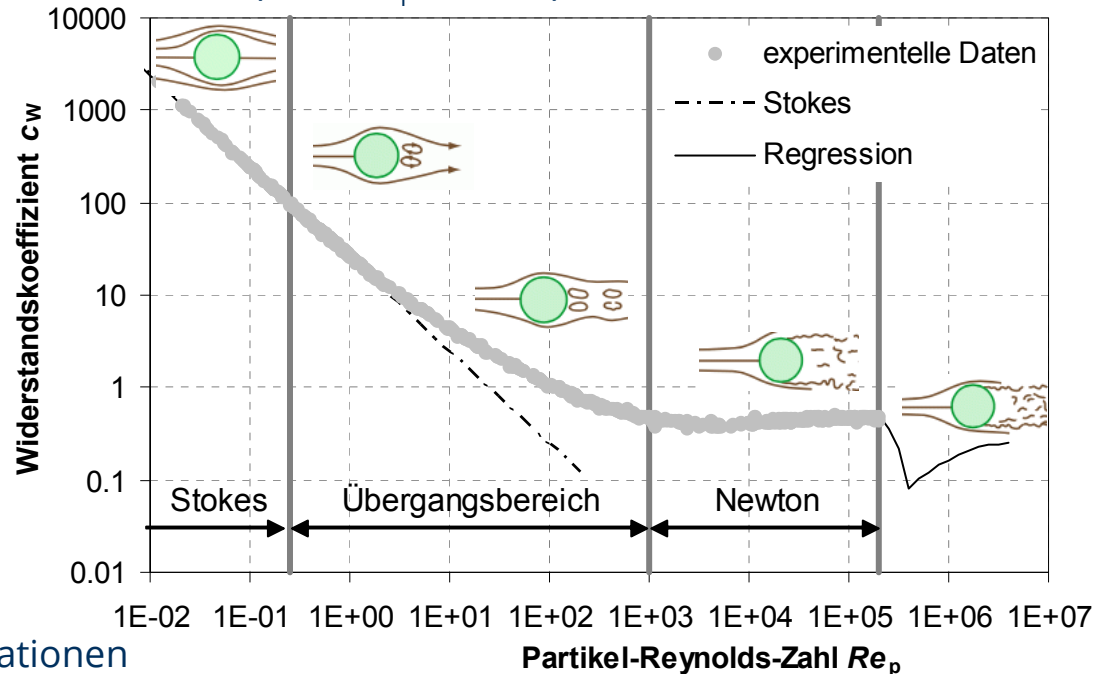
Widerstandsbeiwert:  $c_W = F_W / A_Q \frac{\rho}{2} v_{rel}^2 = \text{funct.}(Re_p)$  mit:  $Re_p = \frac{\rho_F \cdot x \cdot v_{rel}}{\eta_F}$

STOKES-Regime:  
( $Re_p < 0,5$ )  
 $c_W = \frac{24}{Re_p}$

NEWTON-Regime:  
( $10^3 < Re_p < 2 \cdot 10^5$ )  
 $c_W \approx 0,44$

Übergangsbereich:  
( $0,5 < Re_p < 10^3$ )  
 $c_W = \frac{24}{Re_p} + \frac{4}{\sqrt{Re_p}} + 0.4$   
(Kaskas, 1964)

$c_W = \frac{B_k}{Re_p^{A_k}}$   
(Mednikov, 1980)



Die Zahl wissenschaftlicher Publikationen und empirischer Berechnungsgleichungen für den Widerstandsbeiwert scheint nahezu unbegrenzt.

# Widerstandsbeiwert von Kugeln

Darstellung mit Hilfe des Potenzansatzes

- Potenzansatz:  
(abschnittsweise gültig)  $c_w = \frac{B}{Re_p^A}$

Strömungs- regime	Stokes	Übergangsregime			Newton
	schleichende Strömung	ablösefrei	beginnende Ablösung	Wirbelschleppe	turbulente Nachlaufströmung
$Re_p$	$Re_p \leq 0.56$	$0.56 < Re_p \leq 10.1$	$10.1 < Re_p \leq 122$	$122 < Re_p \leq 839$	$839 < Re_p \leq 10^5$
$Ar$	$Ar \leq 10$	$10 < Ar \leq 325$	$325 < Ar \leq 1.07 \times 10^4$	$1.07 \times 10^4 < Ar \leq 2.2 \times 10^5$	$2.2 \times 10^5 < Ar \leq 3 \times 10^9$
$Lj$	$Lj \leq 0.017$	$0.017 < Lj \leq 3.18$	$3.18 < Lj \leq 172$	$172 < Lj \leq 2542$	$2542 < Lj \leq 3.3 \times 10^5$
$A$	1	0.8	0.6	0.4	0
$B$	24	27	17	6.5	0.44

$Re_p$  ... Partikel-Reynolds-Zahl,  $Ar$  ... Archimedes-Zahl,  $Lj$  ... Ljaščenko-Zahl = Omega-Zahl  $\Omega$

H. Schubert (u.a.), *Mechanische Verfahrenstechnik*, 3. Aufl.; Dtsch. Verl. f. Grundstoffind., Leipzig, 1990.

# Dimensionslose Kennzahlen

- Reynolds-Zahl, allgemein:  $Re = \frac{\text{Trägheit des Fluids}}{\text{Reibung im Fluid}} = \frac{\rho_F \cdot L \cdot u}{\eta_F}$

$L$  eine charakteristische Länge,  $u$  eine charakteristische Geschwindigkeit

- Partikel-Reynolds-Zahl:  $Re_p = \frac{\rho_F \cdot x \cdot v_{\text{rel}}}{\eta_F}$  *Re<sub>p</sub> beschreibt die Kräfteverhältnisse im Fluid beim Umströmen eines Partikels*

- Widerstandsbeiwert:  $c_w = F_W / A_Q \frac{\rho}{2} v_{\text{rel}}^2$

- Archimedes-Zahl:  $Ar = \frac{g \cdot \Delta\rho \cdot \rho_F \cdot x^3}{\eta_F^2} = \frac{\text{Partikelgewicht} \cdot \text{Fluidträgheit}}{\text{Fluidreibung}^2}$

- Ljaščenko-Zahl (Omega-Zahl)  $Lj = \frac{\rho_F^2 \cdot v_{\text{rel}}^3}{g \cdot \Delta\rho \cdot \eta_F} = \frac{\text{Fluidträgheit}^2}{\text{Partikelgewicht} \cdot \text{Fluidreibung}}$

- für Sedimentation gilt:  $Ar = \frac{3}{4} \cdot c_w \cdot Re_p^2$        $Lj = \frac{4}{3} \cdot \frac{Re_p}{c_w}$        $Ar \cdot Lj = Re_p^3$

# Berechnung der Sinkgeschwindigkeit

- Sinkgeschwindigkeit von Kugeln mit Durchmesser  $d$

- Stokes-Bereich:  
( $Re \leq 0.5$ ,  $Ar \leq 10$ ,  $Lj \leq 0.017$ )  
$$v_{\text{Stokes}} = \frac{g \cdot \Delta\rho}{18 \cdot \eta_F} \cdot d^2$$

- Newton-Bereich:  
( $839 < Re \leq 0.5$ ,  $2.2 \times 10^5 Ar \leq 3 \times 10^9$ ,  
 $2542 < Lj \leq 3.3 \times 10^5$ )  
$$v_{\text{Newton}} = \sqrt{\frac{g \cdot \Delta\rho}{0,33 \cdot \rho_F}} \cdot d$$

- beliebige  $Re_p$  bzw.  $Ar$   
$$v_S = \frac{\eta_F}{\rho_F \cdot d} \cdot \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{Ar}{B} \right)^{\frac{1}{2-A}}$$

- Sinkgeschwindigkeit beliebig geformter Partikel

$$v_{S,P} = v_{S,K} \cdot k_\psi(\Psi, Ar \text{ bzw. } Re_p) \quad v_{S,K} \text{ Sinkgeschwind. der volumengleichen Kugel}$$

- effektive Sinkgeschwindigkeit des Partikelschwarms

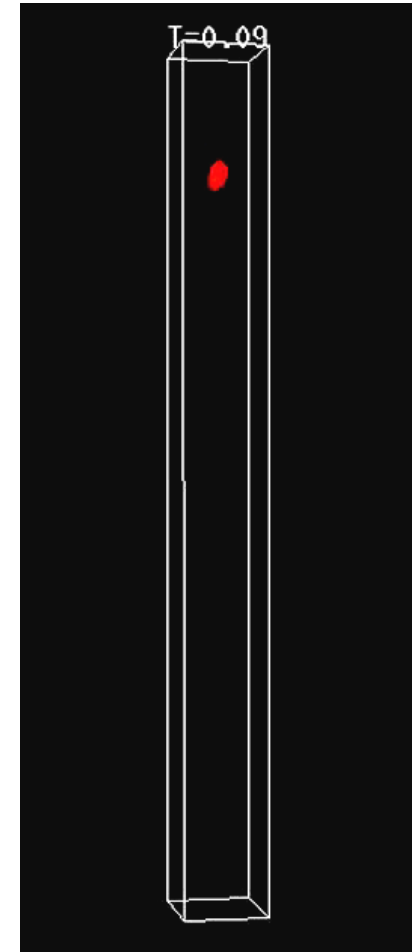
$$v_{S,\text{eff}} = v_{S,P} \cdot k_\varphi(\varphi_V) = v_{S,P} \cdot (1 - \varphi_V)^n \quad v_{S,P} \text{ Einzelpartikelsinkgeschwindigkeit}$$

# 5. Sedimentation

– *Sinkgeschwindigkeit von beliebigen Partikelsystemen* –

# Sedimentation nicht-sphärischer Partikel

- Unterschied zu Kugeln
  - mindestens 2 charakteristische Längen
  - Einfluss der Partikelorientierung, wobei:  
bevorzugte Orientierung =  $\text{funct.}(Re_p, \rho_p/\rho_F)$
  - Widerstandskraft nicht unbedingt parallel zur Relativgeschwindigkeit  $\rightarrow$  seitliche Drift
  - Rotation der Partikel
  - ggf. Taumelbewegung
  - analytische Beschreibung auch für niedrige  $Re_p$  höchst kompliziert
- empirische Berechnungsgleichungen
  - basierend auf Sedimentation der volumengleichen Kugel
  - Korrekturfunktionen für  $c_W$  oder für  $v_S$
  - relevante Größe:  $x_V$
  - Formparameter:  $\Psi$  (für grobe Abschätzung)



F. Fonseca, H. Herrmann (2004):  
<http://www.comphys.ethz.ch/hans/filmOblate.mpg>

# Formkorrektur für die Sinkgeschwindigkeit

- empirische Berechnungsansätze

- Ansatz:  $v_{S,P} = v_{S,K} \cdot k_{\Psi}(Psi, Ar \text{ bzw. } Re_p)$

- Stokes:  $k_{\Psi,Stokes}(Psi) = 0.843 \cdot \lg \frac{\Psi}{0.065}$  Pettyjohn & Christiansen (1948)

- Newton:  $k_{\Psi,Newton}(Psi) = \sqrt{\frac{1}{1+11.1(1-\Psi)}} \quad \text{für } \Psi > 0.65$  Pettyjohn & Christiansen (1948)

- $\lg k_{\Psi,Newton}(Psi) = -0.9074 \cdot (\lg \Psi^{-1})^{0.5743} \quad \text{für } \Psi \leq 0.65$  Ganser (1993)

- Übergangsbereich:

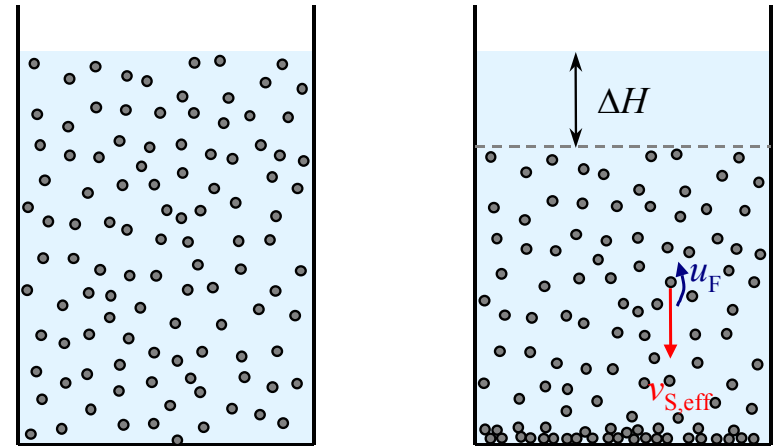
- $k_{\Psi,\ddot{U}}(Ar, \Psi) = k_{\Psi,Stokes}(Psi)^{1-\alpha(Ar)} \cdot k_{\Psi,Newton}(Psi)^{\alpha(Ar)}$  MVT Dresden (2020)

- mit  $\alpha(Ar) = \left(1 + \sqrt{\frac{185.5}{Ar}}\right)^{-1}$

# Sedimentation bei hohen Partikelkonzentrationen

## Fall: Schwarm sedimentation

- Schwarm sedimentation  
= individuelle Sedimentation der Partikel,  
aber gegenseitige Beeinflussung  
→ Sedimentationsbehinderung
- Ursachen für Konzentrationseinfluss
  - Rückströmung des verdrängten Fluids,  $\text{funct.}(\varphi_V)$
  - gegenseitige hydrodynamische Behinderung,  $\text{funct.}(\varphi_V)$
  - hydrostatischer Druck und Auftrieb werden von effektiver Dichte bestimmt,  $\text{funct.}(\varphi_V)$
- entscheidender Parameter
  - Volumenanteil  $\varphi_V$  der dispersen Phase



einfache Vorstellung zum Einfluss der Rückströmung:

Sedimentation erfolgt in einem aufwärts strömenden Fluid ( $u_F$ ), d.h. die Absetzbewegung ( $v_{rel}$ ) ist für einen Beobachter reduziert ( $\rightarrow v_{S,eff}$ )

$$v_{Sed} = v_{S,eff} = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

$$u_F = v_{S,eff} \cdot \frac{\varphi_V}{1 - \varphi_V} \quad v_{rel} = \frac{v_{S,eff}}{1 - \varphi_V}$$

# Konzentrationskorrektur für die Sinkgeschwindigkeit

Fall: Schwarmsedimentation

- empirische Berechnungsansätze

– Ansatz:  $v_{S,\text{eff}} = v_{S,P} \cdot k_\varphi(\varphi_V, Ar \text{ bzw. } Re_p)$

populär:  $v_{S,\text{eff}} = v_{S,P} \cdot (1 - \varphi_V)^n$  Richardson & Zaki (1954)

- Exponent  $n$ :

z.B. 
$$n = \begin{cases} 4.65 & \text{für } Re_p \leq 0.1 \\ 4.35 \cdot Re_p^{-0.03} & \text{für } 0.1 < Re_p \leq 1.4 \\ 4.45 \cdot Re_p^{-0.1} & \text{für } 1.4 < Re_p \leq 500 \\ 2.39 & \text{für } 500 < Re_p \end{cases}$$
 Richardson & Zaki (1954)

bzw. 
$$\frac{n_{\text{Stokes}} - n}{n - n_{\text{Newton}}} = 0.175 \cdot Re_p^{0.75} \quad n = \frac{4.65 + 0.418 \cdot Re_p^{0.75}}{1 + 0.175 \cdot Re_p^{0.75}}$$

z.B. 
$$n = \frac{n_{\text{Stokes}}}{2 - A} = \frac{4.65}{2 - A}$$
 Maude & Whitmore (1958)

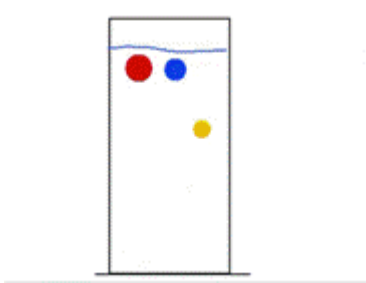
wobei  $c_W = \frac{B}{Re_p^A}$  und  $A = -\frac{\ln c_W}{\ln Re_p}$

# 5. Sedimentation

## – *Sedimentation in konzentrierten Partikelsystemen* –

# Klassifizierung der Sedimentationstypen

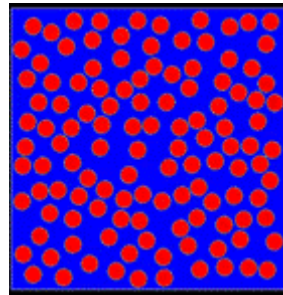
## Einzelteilchensed.



- individuelles Sinken
- Partikelbewegung ist unbeeinflusst von Nachbarpartikeln
- sehr niedrige  $\varphi_V$
- z.B. Partikelgrößenanalyse

R. Holdich, Loughborough University (2020)

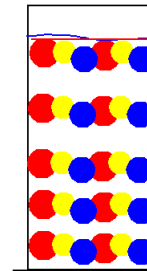
## Schwarmsed.



- individuelles Sinken
- Partikel nehmen gegenseitige Einfluss auf Sedimentation
- niedrige bis hohe  $\varphi_V$
- Fest-Flüssig-Trennung ohne Einsatz von Flockungsmitteln

<https://gfycat.com/thunderousfeinegrub> (2020)

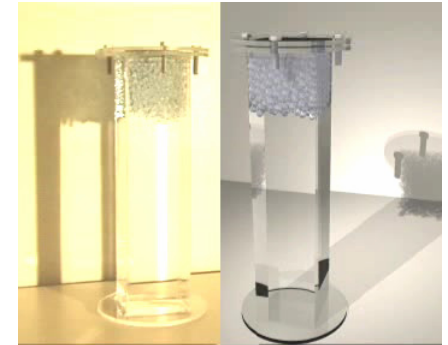
## Zonensed.



- kollektives Sinken
- gegenseitige Sed.-behinderung
- Zonenbildung
- mittlere bis hohe  $\varphi_V$
- z.B. Fest-Flüssig-Trennung mit Einsatz von Flockungsmitteln

R. Holdich, Loughborough University (2020)

## Strähensed.



- kollektives Sinken
- Strähnenbildung bei Zugabe auf ein partikelfreies Fluid
- Dichteunterschiede und „Windschatteneffekt“
- z.B. im Zulauf von Klärbecken

K. Höfler et al. (1998):  
[http://www.comphys.ethz.ch/hans/suspension\\_teil.mpa](http://www.comphys.ethz.ch/hans/suspension_teil.mpa)

# Schwarm- und Zonensedimentation

<b>Schwarmsedimentation</b>	<b>Zonensedimentation</b>
eingeeengte, aber freie Sedimentationspfade	blockierte Sedimentationspfade
individuelle Sinkgeschwindigkeit (abh. von Größe & Dichte der jeweiligen Teilchen; beeinflusst von Konzentration)	kollektive Sinkgeschwindigkeit (abh. Dichte & Konzentration der dispersen Phase)
vorhersagbar	nur experimentell bestimmbar
unscharfer Übergang zwischen Überstand und Trübe	scharfe Grenze zwischen Überstand und Trübe
niedriger Dispersphasenanteil $\varphi_{V,s}$ stabile Suspensionen	hoher Dispersphasenanteil $\varphi_{V,s}$ geflockte Suspensionen
für Analysen erwünscht	für Trennaufgaben i.d.R. erwünscht

# Schwarmsedimentation grobdispenser Systeme

Richardson & Zaki

(*Trans. Inst. Chem. Eng.*, 32:35-53, 1954)

$$\frac{u_{Sed}}{u_{Stokes}} = (1 - \phi)^n = \varepsilon^n$$

mit

$n = \text{funct.}(\text{Re}, x/D)$

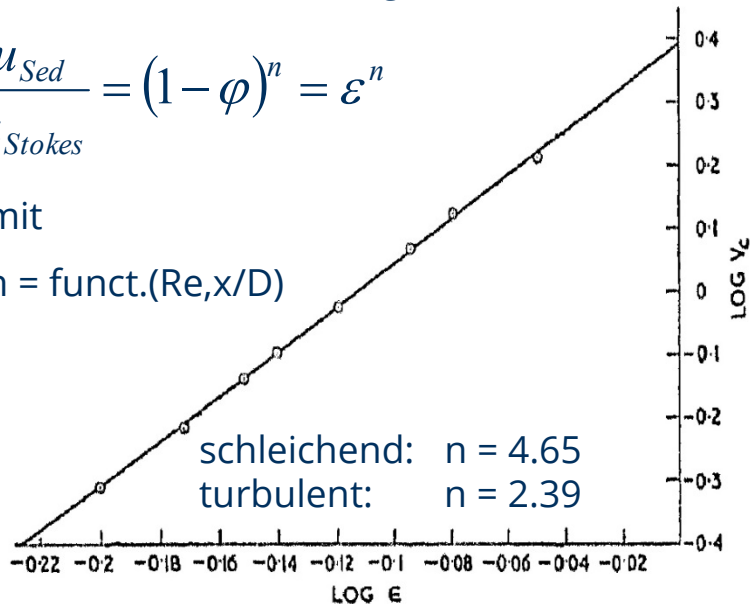
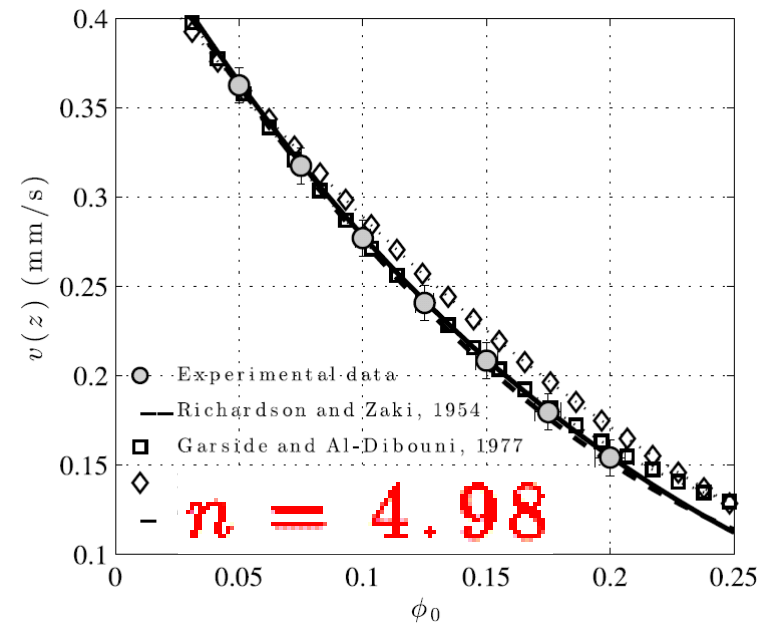


Fig. 5—Sedimentation of glass ballotini (1 mm.) in bromoform

Palma et al.

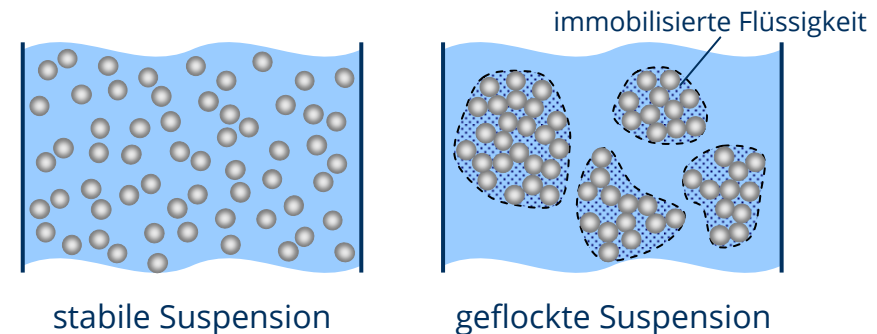
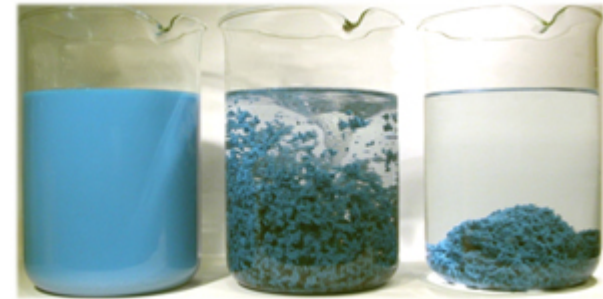
(*Phys. Fluids*, 28:073304, 2016)



Harzkugeln (125µm) in 50%iger Glycerinlösung

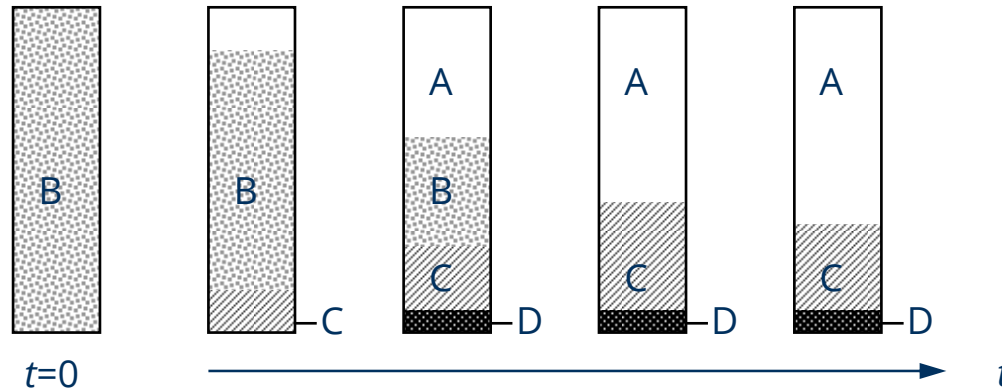
# Zonensedimentation durch Flockung

- Flockung
  - = Agglomeration suspendierter Partikel
  - erfolgt wenn elektrostatischer Abstoßung zwischen den Partikeln aufgehoben
  - z.B. durch Zugabe mehrwertiger Salze oder polymerer Flockungsmittel
- Sedimentation geflockter Suspensionen:
  - Flocken (Agglomerate) immobilisieren die Porenflüssigkeit → effektive Zunahme des Volumenanteils der dispersen Phase
  - Flocken bilden hochporöse und z.T. kompressible Sedimente



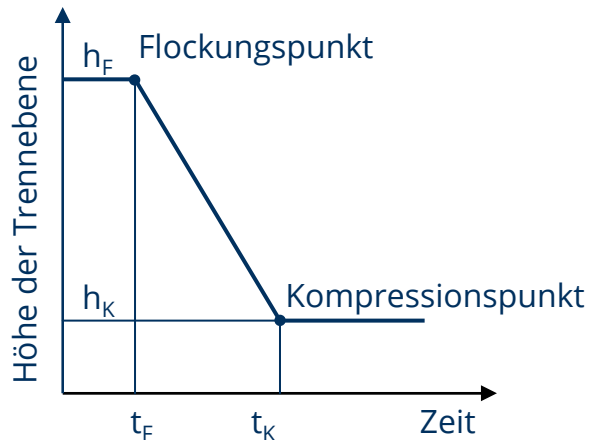
# Experimentelle Bewertung der Zonensedimentation

## Versuche im Standzylinder (Zugabe von Flockungsmittel)

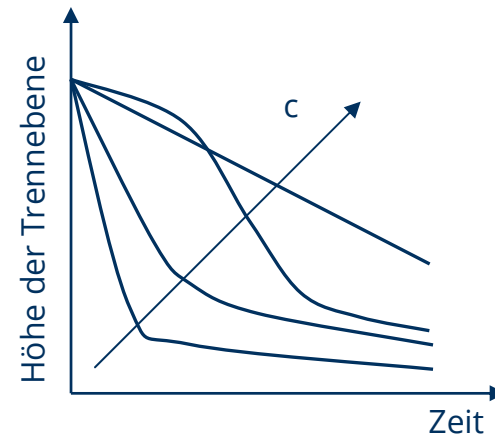


- A Klarflüssigkeit
- B Sedimentationszone
- C Kompressionszone
- D verdichtetes Sediment

## idealer Zeitverlauf der Entmischung



## reale Zeitverläufe



# 5. Sedimentation

– *Sedimentationsapparate und -maschinen* –

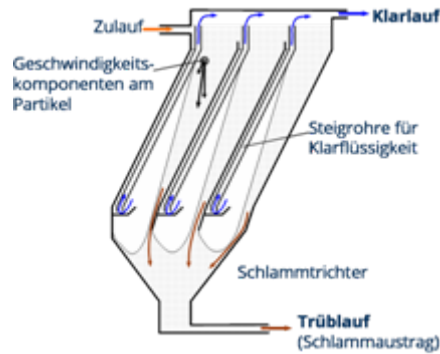
# Sedimentationsapparate und -maschinen

## Überblick

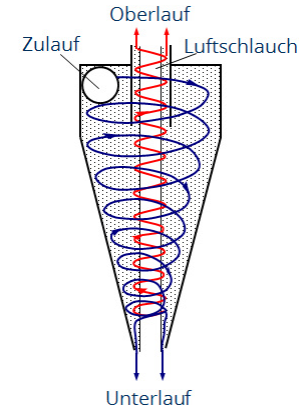
### Längsbecken



### Schräglärer



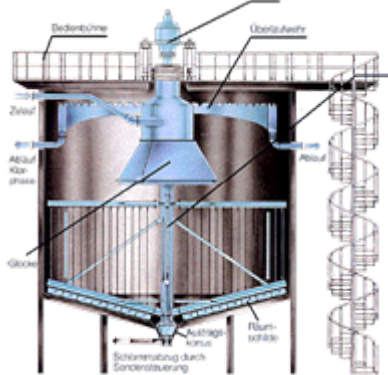
### Hydrozyklone



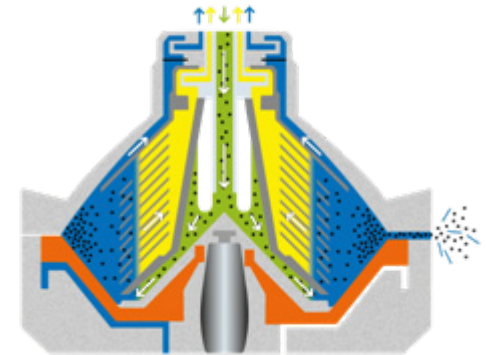
### Rundbecken, flach



### Rundbecken, hoch

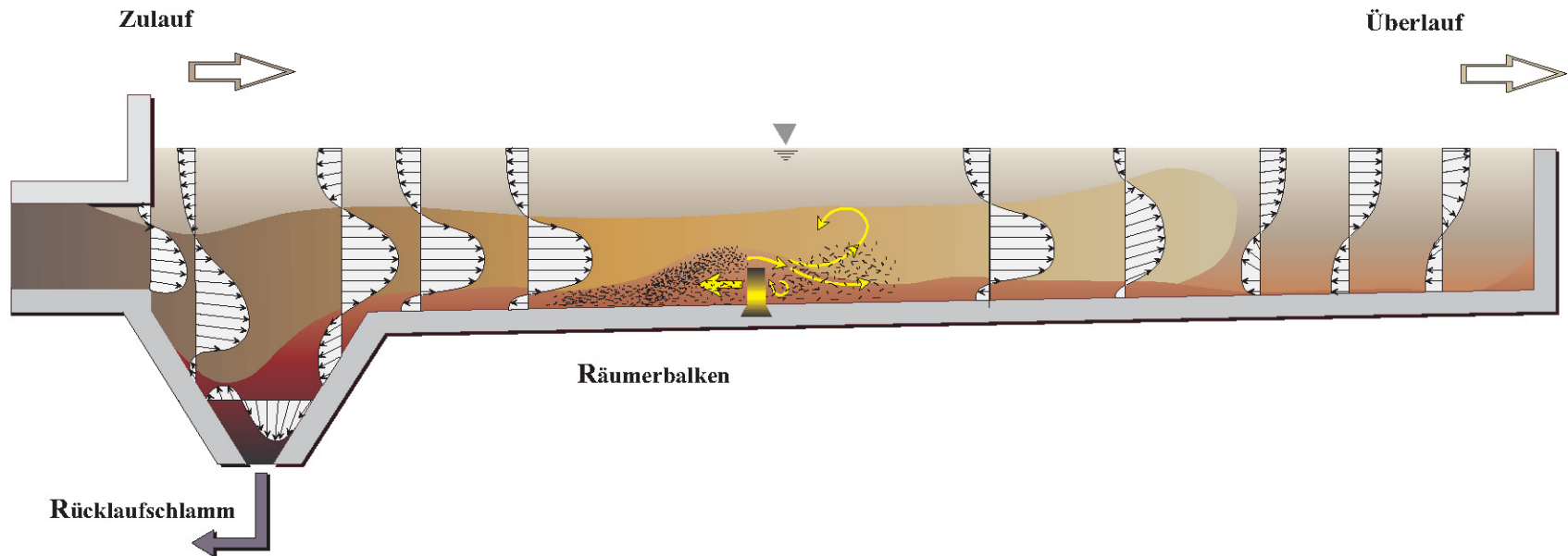


### Zentrifugen



# Längsbecken

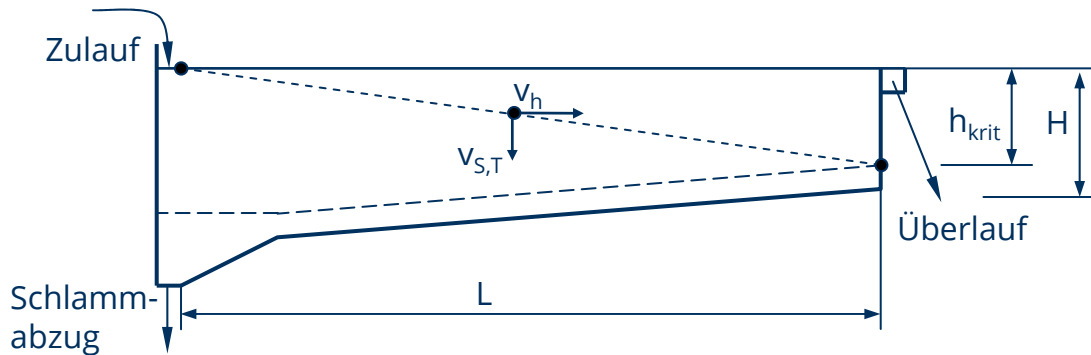
- Prinzip:
  - horizontale Durchströmung eines Kanals mit geringer Fließgeschwindigkeit
  - Absetzen oder Aufrahmen der Partikel zeitgleich zu horizontalem Transport
- Bauform: längliche Rechteckfläche (wenige Meter bis weit über 100 m)



K. Winkler. *Räumung in Nachklärbecken von Abwasserreinigungsanlagen*. Dissertation, ETH Zürich, Versuchsanstalt Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, **2001**.

# Auslegung von Klärbecken als Querstromklassierer

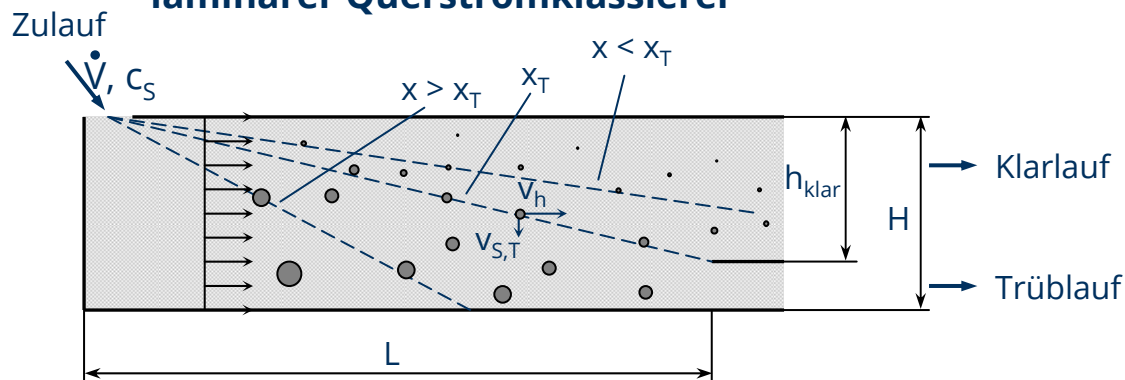
## Konzept der Trennteilchengröße $x_T$



$$\frac{h_{krit}}{v_{S,T}} = \frac{L}{v_h}$$

$$v_{S,T} = v_S(x_T)$$

## laminarer Querstromklassierer



$$v_h = \frac{\dot{V}}{H \cdot B} \quad h_{krit} = h_{klar}$$

$$\frac{h_{klar}}{v_{S,T}} = \frac{L \cdot H \cdot B}{\dot{V}}$$

$$v_{S,T} = \frac{\dot{V}}{L \cdot B} \cdot \frac{h_{klar}}{H} = \frac{\dot{V}}{A_{Klar}} \cdot \frac{h_{klar}}{H}$$

# Gesamtabscheidegrad eines Sedimentationsbeckens

- Abscheideverhalten eines Sedimentationsbeckens
  - Apparatparameter: Klärfläche  $A_{\text{klär}}$  und relative krit. Höhe  $h_{\text{klär}}/H$
  - Prozessparameter: Volumenstrom  $\dot{V}$
  - Sinkgeschw. der Trennteilchen:  $v_{S,T}$   
und Trennteilchengröße:  $x_T$

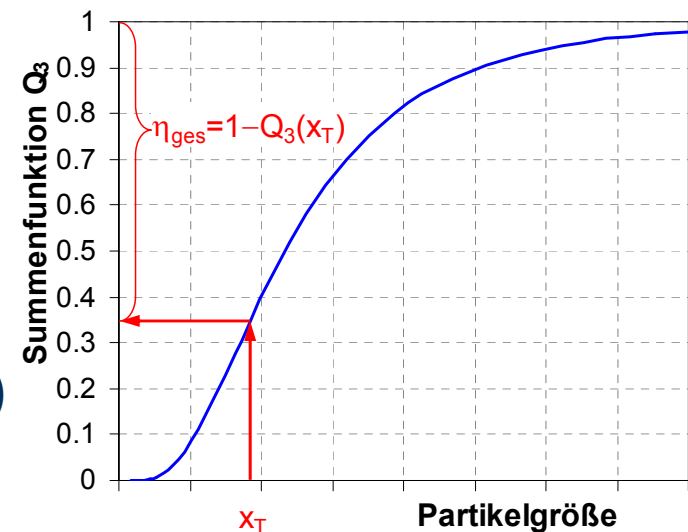
- Gesamtabscheidegrad

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{\text{abgeschiedene Partikel}}{\text{aufgegebene Partikel}} = \frac{c_{S,\text{trüb}} \cdot \dot{V}_{\text{trüb}}}{c_{S,\text{zu}} \cdot \dot{V}_{\text{zu}}}$$

- laminare QS-Klassierung

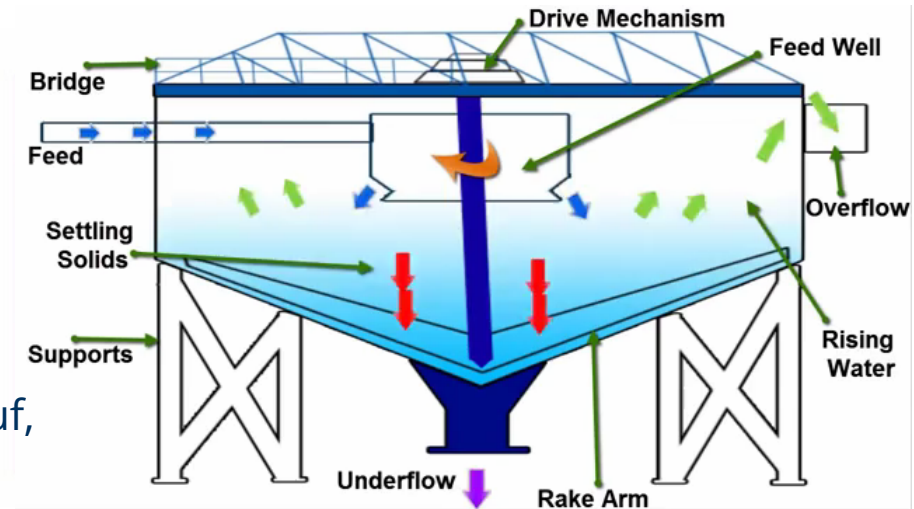
$$\eta_{\text{ges}} = \frac{m_S(x > x_T)}{m_{S,\text{ges}}} = \frac{m_{S,\text{ges}} - m_S(x \leq x_T)}{m_{S,\text{ges}}} = 1 - Q_3(x_T)$$

- einfache grafische Ermittlung



# Rundbecken - Prinzip

- Prinzip:
  - zentrale Aufnahme des Abwassers
  - Verteilung des Volumenstroms auf großen Querschnitt
    - langsame Fließgeschwindigkeiten
  - Entmischung
    - partikelfreier Überstand in Überlauf,
    - Partikel ins Sediment

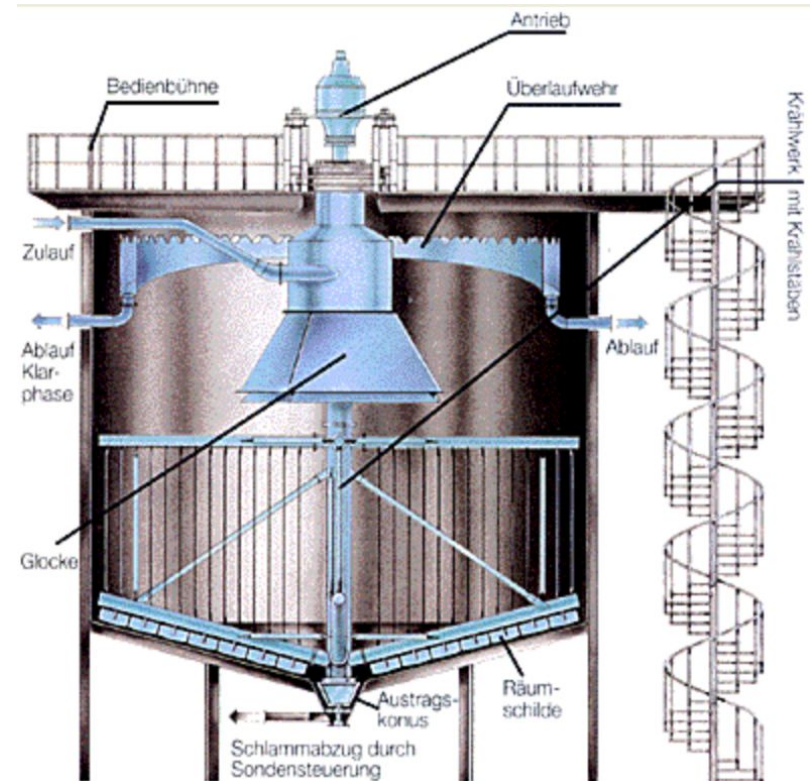


<https://gfycat.com/accomplishedconsideratedodo> (2020)

- flache Bauformen
  - flache Rundbecken mit Durchmessern bis zu 200 m
  - Verdichtung und Beförderung des Sedimentes mit Hilfe von Krählwerken

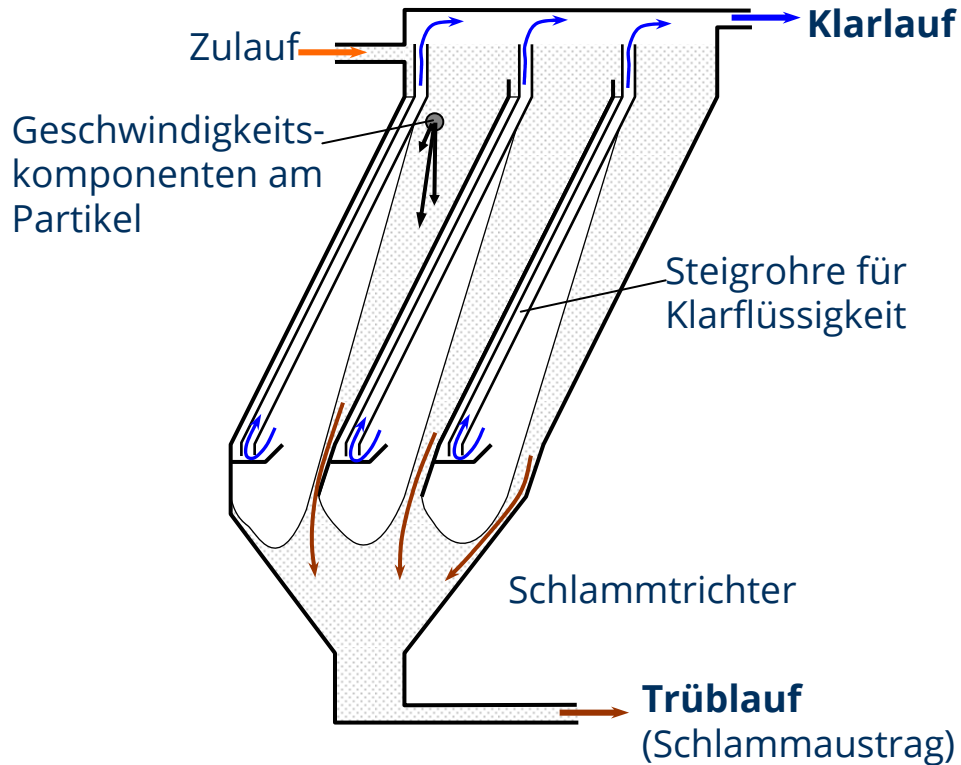


# Rundbecken – hohe Bauformen



- hohe Bauformen: insbesondere bei Zonensedimentation von geflockten Suspensionen mit hohen Sedimentporositäten

# Schrägklärer



Fabricius Pro Terra GmbH (2004)

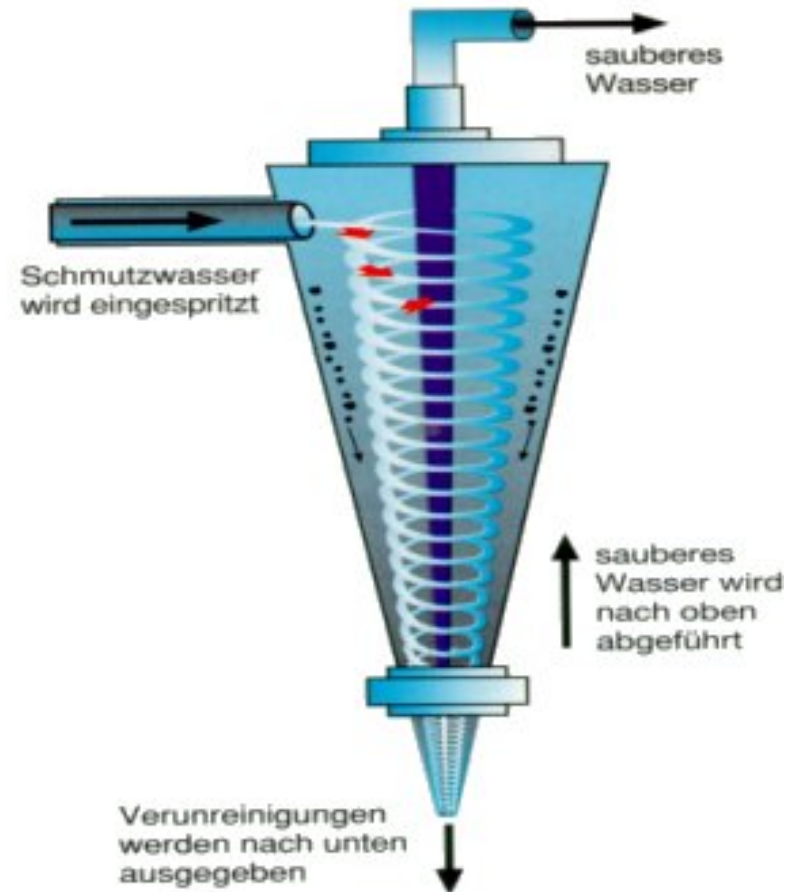
- große Klärfläche durch „Stapeln“ der Absetzbecken
- erhöhte Absetzgeschwindigkeit  
weil Rückströmung der verdrängten Flüssigkeit schräg zur Partikelbewegung
- Betrieb in Gleichstromführung (Beispiel) oder Gegenstromführung

# Hydrozyklon

- spiralförmige Strömung  
→ Zentrifugalkräften  
→ Sedimentation zur Wand (Feststoff)  
bzw. zum inneren Luftschlauch (Blasen)
- häufig Zusammenschaltung baugleicher Hydrozyklone für hohe Durchsätze



[www.zyklomat.de/de/zentrifugalabscheider.jpg](http://www.zyklomat.de/de/zentrifugalabscheider.jpg) (2020)



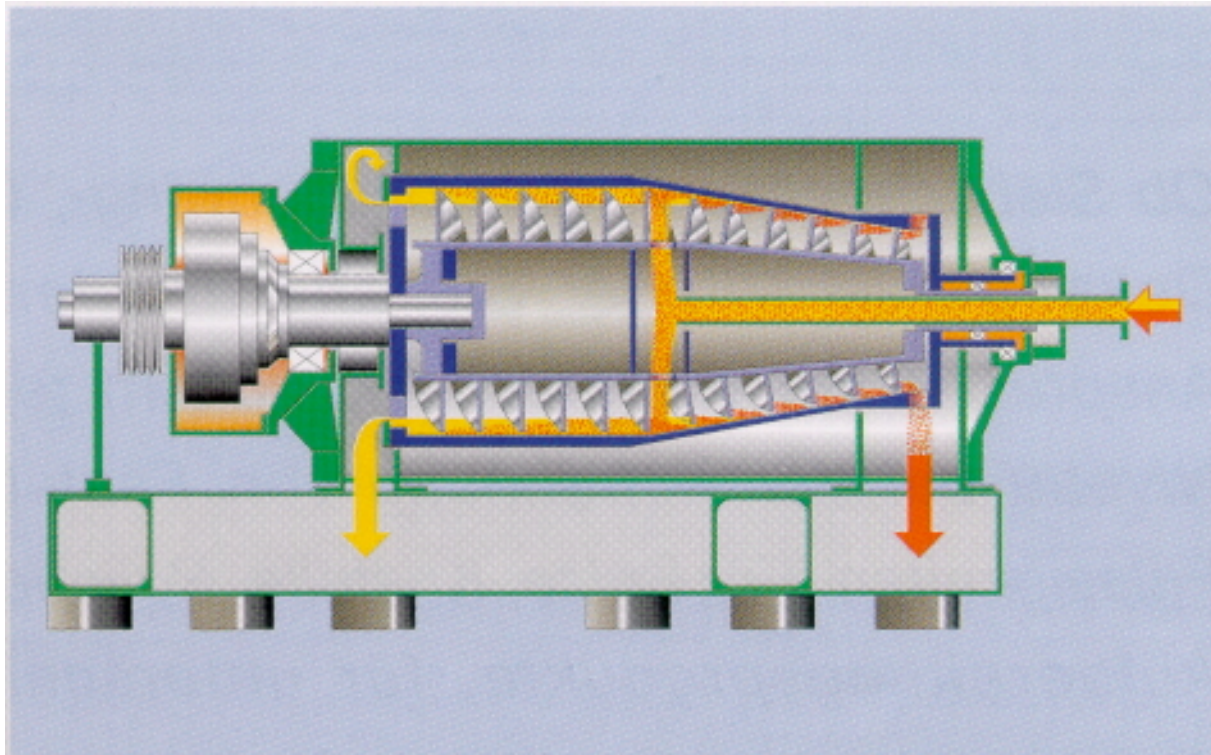
# Zentrifugen

- Zentrifugen = Sedimentations**maschinen**
- Prinzip:
  - erzwungene Rotationsbewegung  
→ Zentrifugalkräften
  - Zentrifugalbeschleunigung  $\gg$  Fallbeschleunigung

$$a_Z = \omega^2 \cdot r_{\text{Rotor}} = Z \cdot g \quad Z = \text{Beschleunigungsvielfaches / Schleuderzahl}$$

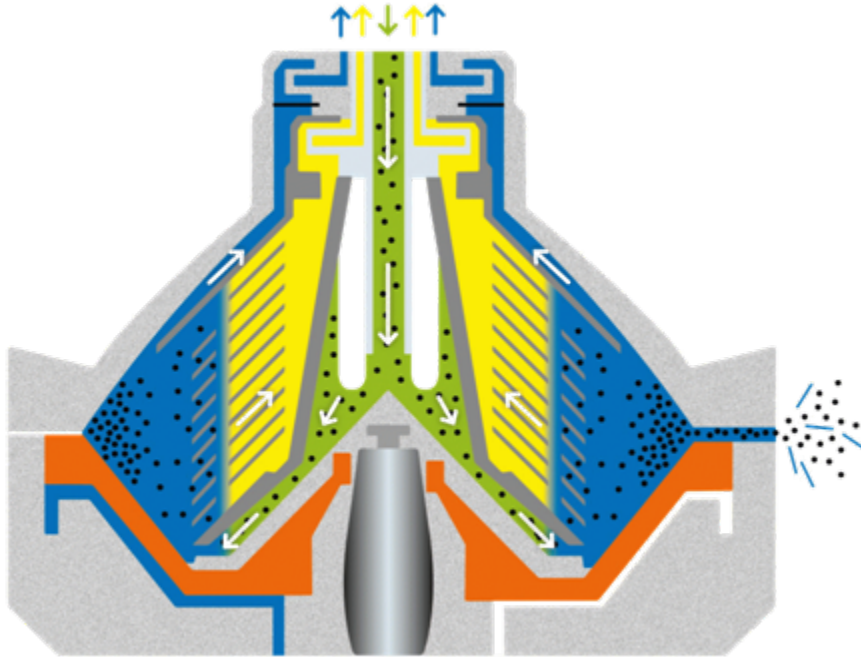
- vielfältige Bauformen
- Vorteile:
  - schnelles Absetzen von feinen Partikeln
  - kleine „Klärfläche“
- Nachteile:
  - hohe Energiekosten
  - hohe mechan. Belastung der Bauteile

# Dekanterzentrifuge

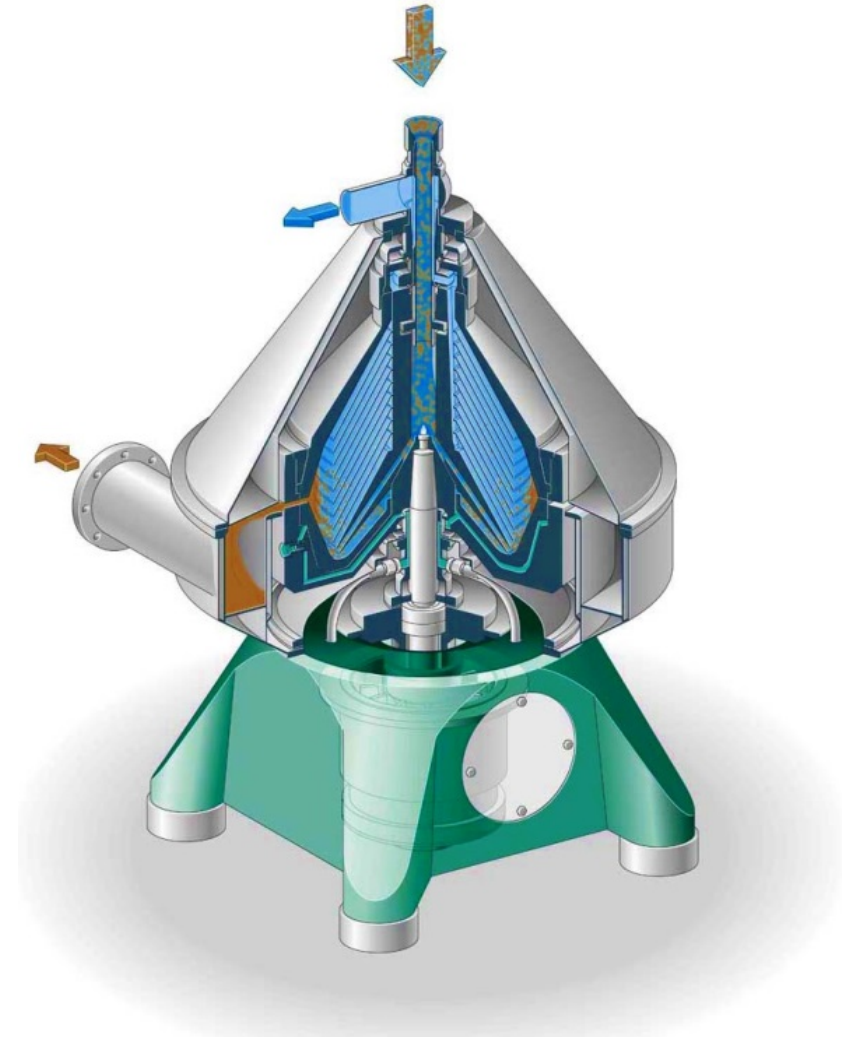


SIEBTECHNIK GmbH, Mülheim a.d. Ruhr, WB253.4/01.2001RE

# Tellerseparator

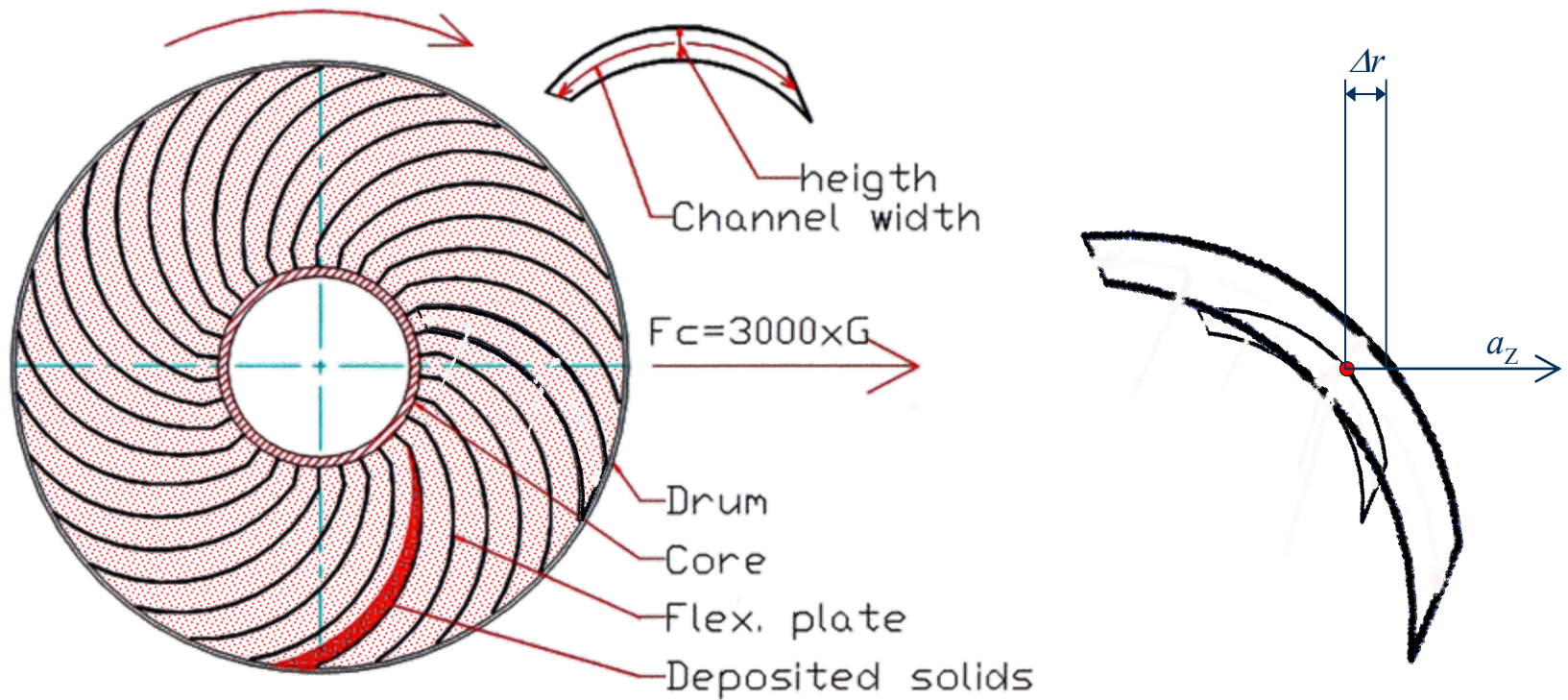


<https://www.centrimax.com/files/images/illustration/centrimax-separator.jpg> (2019)



[http://www.pitt-gmbh.de/englisch/images/zt\\_separator.jpg](http://www.pitt-gmbh.de/englisch/images/zt_separator.jpg) (2019)

# Spiralplattenzentrifuge



Filtrieren & Separieren, Jg. 25, Heft 5, 2011, S. 285.

# 5. Sedimentation

– *Literaturverweise* –

# Literatur zum Thema Sedimentation

- M. Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie 1*; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, **2009**; [doi:10.1007/9783-540-32552-9](https://doi.org/10.1007/9783-540-32552-9)  
→ Abschn. 4.1 & 4.2 (Grundlagen)
- M. Sommerfeld: Bewegung fester Partikel in Gasen und Flüssigkeiten. In: VDI e.V. (Hrsg.), *VDI-Wärmeatlas*, 11. Aufl., Kap. L3.1; Springer-Verlag Berlin Heidelberg **2013**; [doi:10.1007/978-3-642-19981-3\\_88](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19981-3_88) (Grundlagen)
- 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. 1 Abschn. 3.1 (Grundlagen), Bd. 2 Abschn. 7.4.1 (Praxis)
- 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)  
→ Abschn. 8.3 und 8.5 (Praxis)
- M. Zogg: *Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik*. Teubner, Stuttgart, **1993**.  
→ Abschn. 4.2 (Grundlagen und Praxis)
- J. F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst. *Particle Technology and Separation Processes*. In series: *Coulson and Richardson's Chemical Engineering, vol. 6*, 4<sup>th</sup> ed.; Butterworth-Heinemann, Oxford, **2002**;  
→ chap. 5, pp. 237-290. (etwas Grundlagen und Praxis)