

Praktikum zur Feststoffabtrennung am Hydrozyklon



Dipl.-Ing. Dulamjav Unursaikhan
Freiberg, 30.11.2022

1. Zielstellung
2. Grundlagen: Kennwerte von Trennprozessen
3. Versuchsanlage
4. Vorüberlegungen
5. Durchführung
6. Auswertung
7. Protokoll
8. Literatur

1. Zielstellung

- Auseinandersetzung mit Aufbau und Funktion von Hydrozyklonen
- Bestimmung und Vergleich der Trenneigenschaften des Hydrozyklons für verschiedene Betriebsregime

2. Kennwerte von Trennprozessen

Korngrößenverteilung – Beispiel

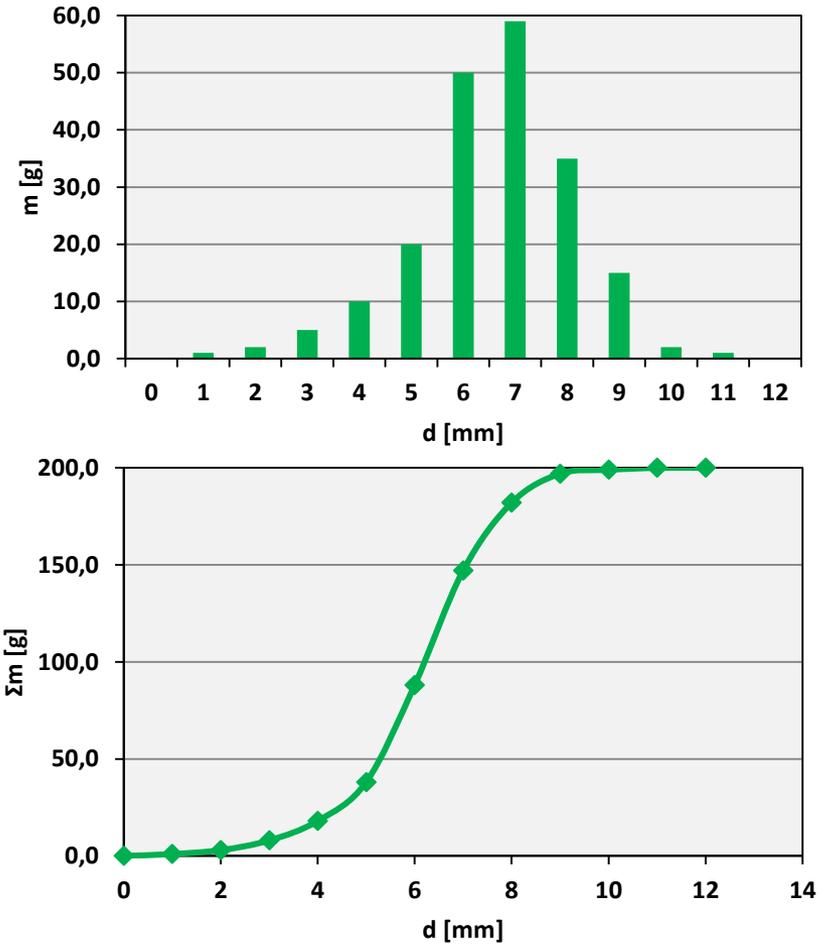
d [mm]	m [g]	Σm [g]
0	0,0	0,0
1	1,0	1,0
2	2,0	3,0
3	5,0	8,0
4	10,0	18,0
5	20,0	38,0
6	50,0	88,0
7	59,0	147,0
8	35,0	182,0
9	15,0	197,0
10	2,0	199,0
11	1,0	200,0
12	0,0	200,0
	<u>200,0</u>	



2. Kennwerte von Trennprozessen

Korngrößenverteilung – Beispiel

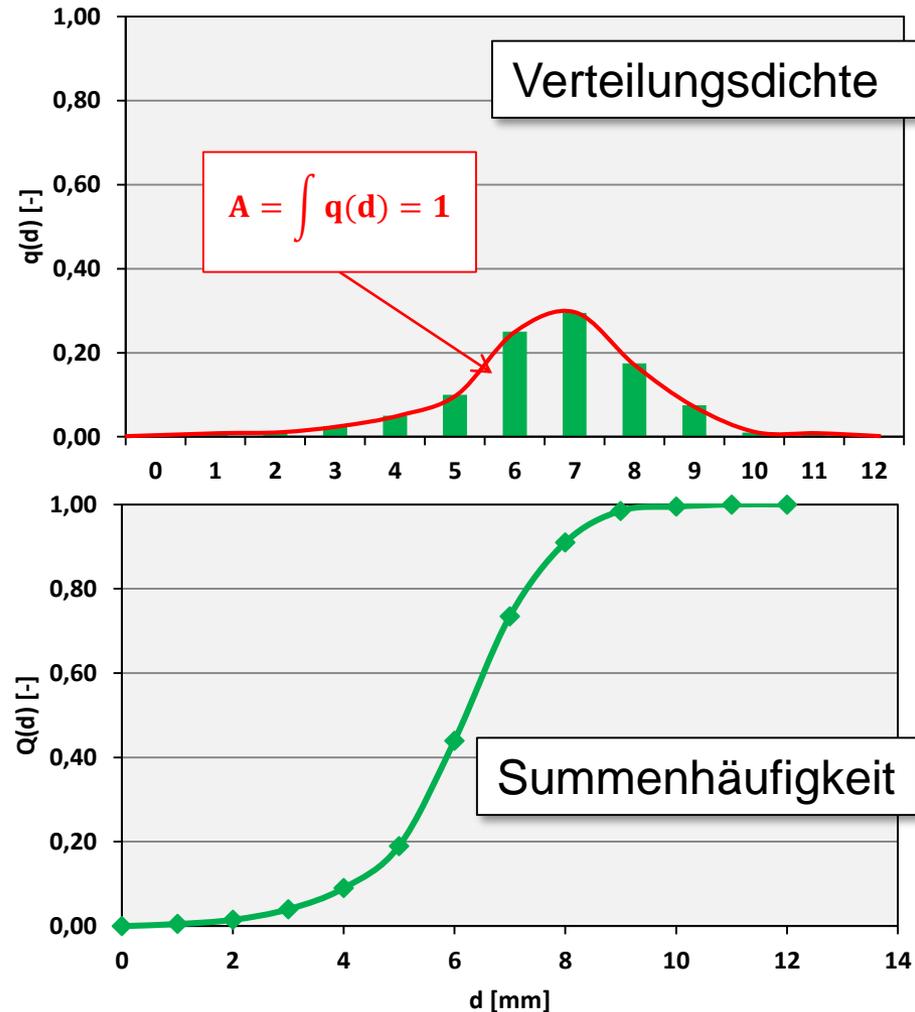
d [mm]	m [g]	Σm [g]
0	0,0	0,0
1	1,0	1,0
2	2,0	3,0
3	5,0	8,0
4	10,0	18,0
5	20,0	38,0
6	50,0	88,0
7	59,0	147,0
8	35,0	182,0
9	15,0	197,0
10	2,0	199,0
11	1,0	200,0
12	0,0	200,0
		200,0



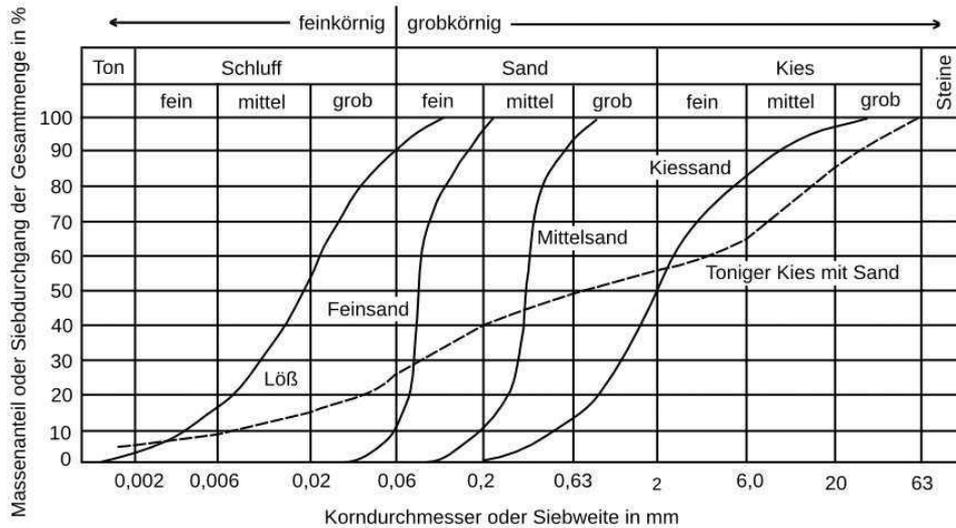
2. Kennwerte von Trennprozessen

Korngrößenverteilung – Beispiel

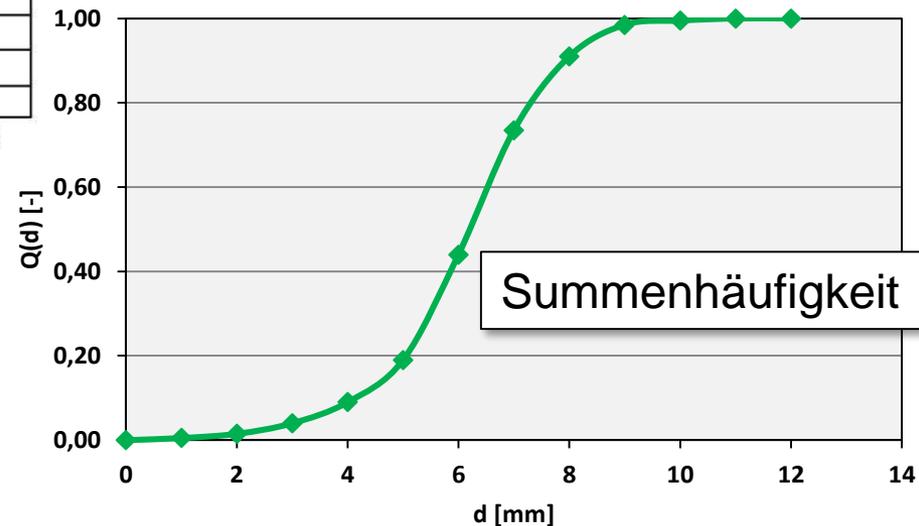
d[mm]	m [g]	Σm [g]	q(d) [-]	Q(d) [-]
0	0,0	0,0	0,00	0,00
1	1,0	1,0	0,01	0,01
2	2,0	3,0	0,01	0,02
3	5,0	8,0	0,03	0,04
4	10,0	18,0	0,05	0,09
5	20,0	38,0	0,10	0,19
6	50,0	88,0	0,25	0,44
7	59,0	147,0	0,30	0,74
8	35,0	182,0	0,18	0,91
9	15,0	197,0	0,08	0,99
10	2,0	199,0	0,01	1,00
11	1,0	200,0	0,01	1,00
12	0,0	200,0	0,00	1,00
	<u>200,0</u>		<u>1,00</u>	



Korngrößenverteilung – Beispiel

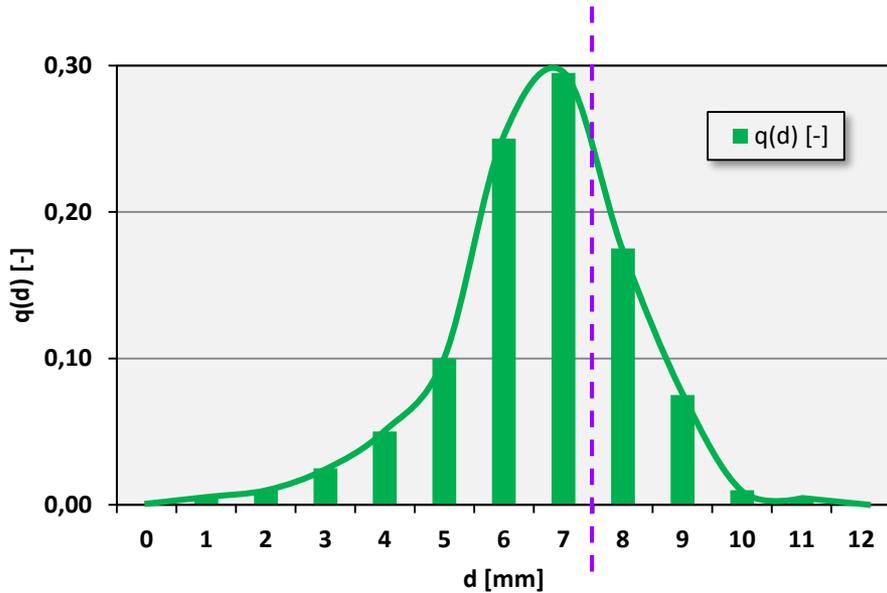


Theodor Schmidt: GEOTECHNIK UND STATIK BEI TROCKENMAUERN (Rechnerische Ergänzungen und technische Exkurse zum Buch Trockenmauern, Grundlagen, Bauanleitung, Bedeutung der Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz)

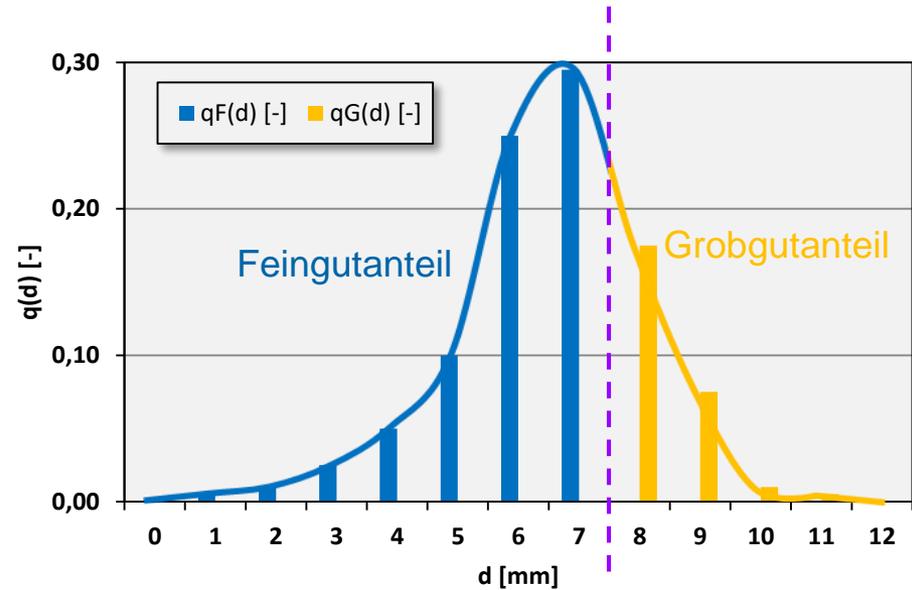


2. Kennwerte von Trennprozessen

scharfe Trennung - Beispiel:



$$A = \int q(d) = 1$$



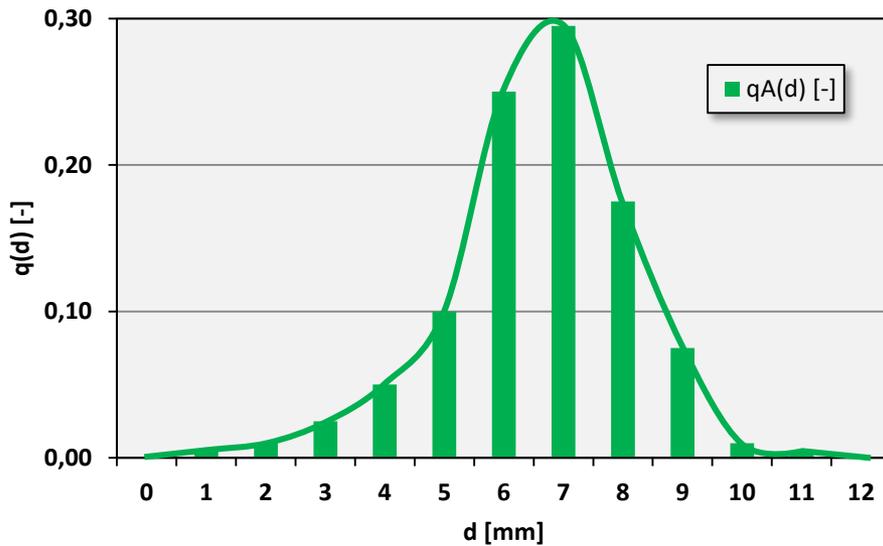
$$A_F = \int q_F(d) = 0,74$$

$$A_G = \int q_G(d) = 0,26$$

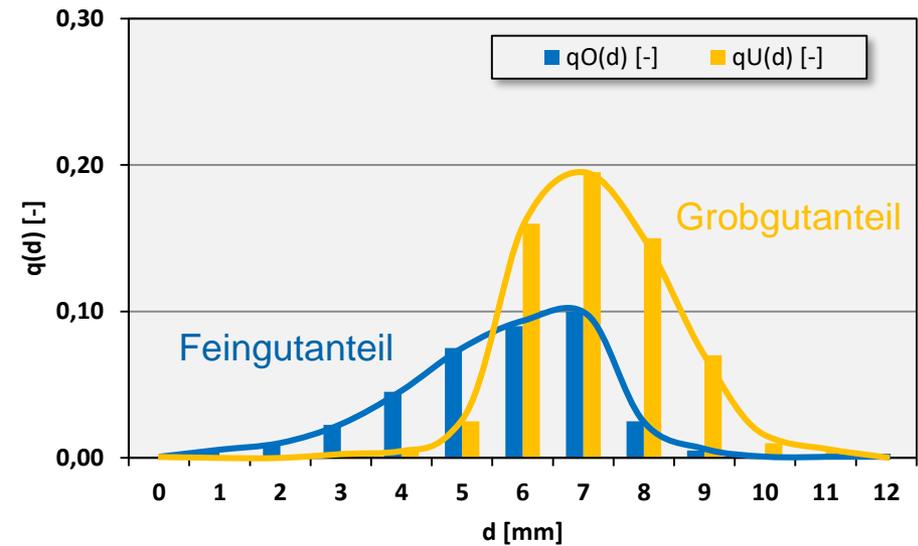
$$A = A_F + A_G = 1 \quad \rightarrow \text{Normierte Dichtefunktionen}$$

2. Kennwerte von Trennprozessen

unscharfe Trennung - Beispiel:



$$A_A = \int q_A(d) = 1$$



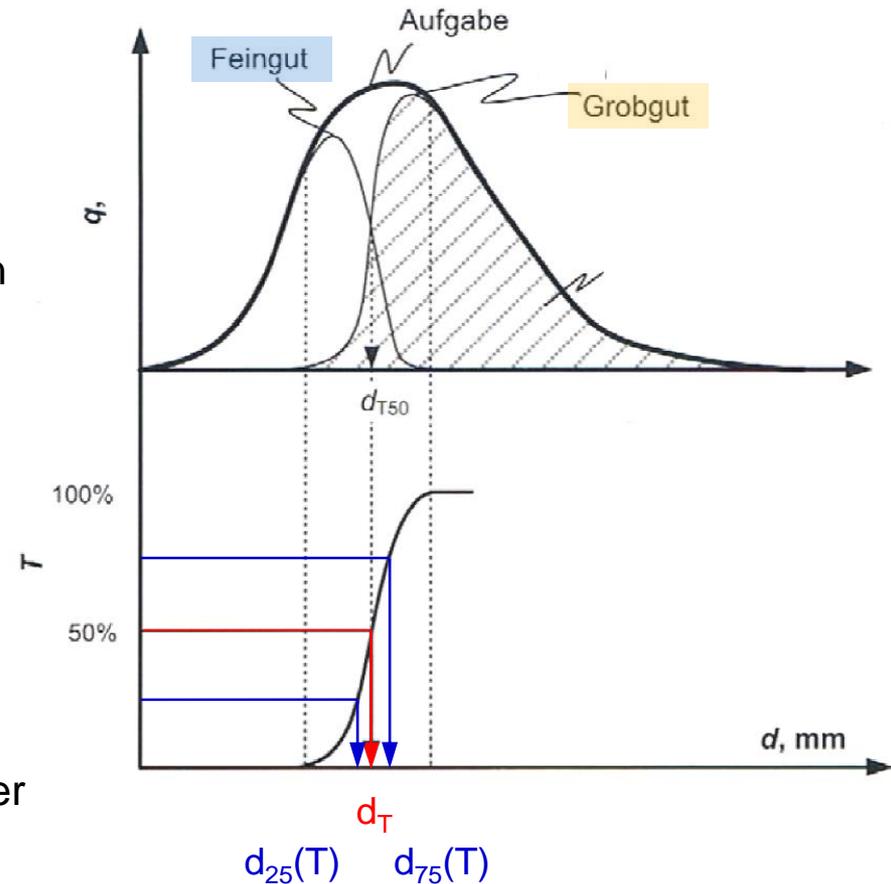
$$A_F = \int q_F(d) = 0,38$$

$$A_G = \int q_G(d) = 0,62$$

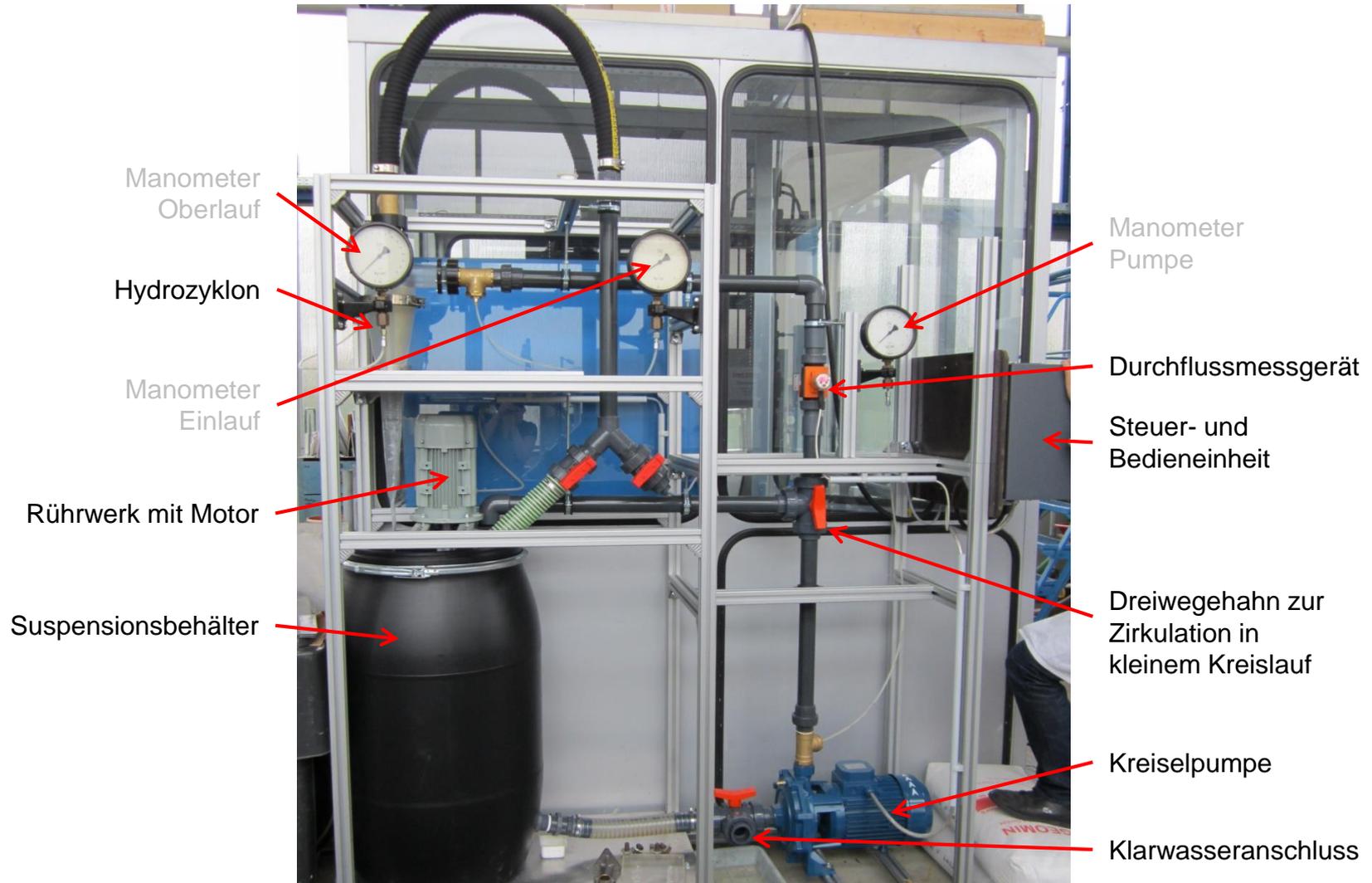
$$A_A = A_F + A_G = 1 \quad \rightarrow \quad \text{Normierte Dichtefunktionen}$$

Kennwerte einer Trennung:

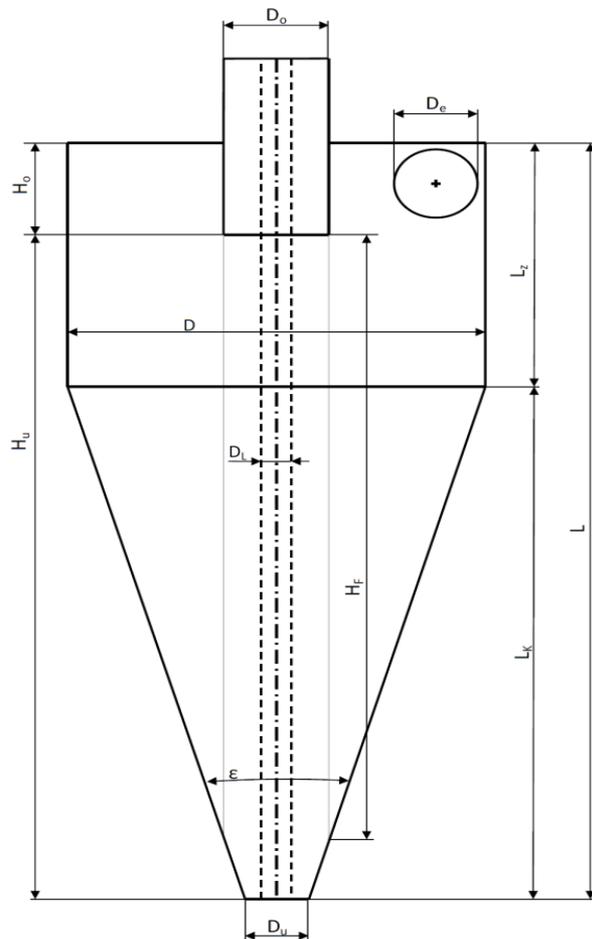
- Trennfunktion:
 - = Wahrscheinlichkeit, mit der ein Teilchen als Grobgut abgetrennt wird
 - $0 \leq T(d) \leq 1$
- Trennkorngröße
 - $d_T = d_{50}(T)$
- Trennschärfe:
 - $\kappa = \frac{d_{25}(T)}{d_{75}(T)}$
 - Je steiler die Trennfunktion, desto schärfer die Trennung
 - Technische Trennungen im Bereich $0,3 \leq \kappa \leq 0,8$



3. Versuchsanlage



3. Versuchsanlage



Zyklondurchmesser	$D = 101,6 \text{ mm}$
Einlaufdüsendurchmesser	$D_e = 21,4 \text{ mm}$
Oberlaufdüsendurchmesser	$D_o = 30,0 \text{ mm}$
Unterlaufdüsendurchmesser	$D_u = 9,5 \text{ mm}$
Zyklonlänge	$L = 354,0 \text{ mm}$
Zylinderlänge	$L_z = 86,0 \text{ mm}$
Konuslänge	$L_k = 268,0 \text{ mm}$
Eintauchtiefe Wirbelsucher	$H_o = 42,0 \text{ mm}$
Untere Höhe	$H_u = 312,0 \text{ mm}$
Freie Höhe	$H_f = 257,0 \text{ mm}$
Konuswinkel	$\varepsilon = 20^\circ$

Feststoffdichte (Kalkmehl Saxolith)	$\rho_p = 2700 \text{ kg/m}^3$
Fluiddichte (Wasser)	$\rho_f = 998 \text{ kg/m}^3$

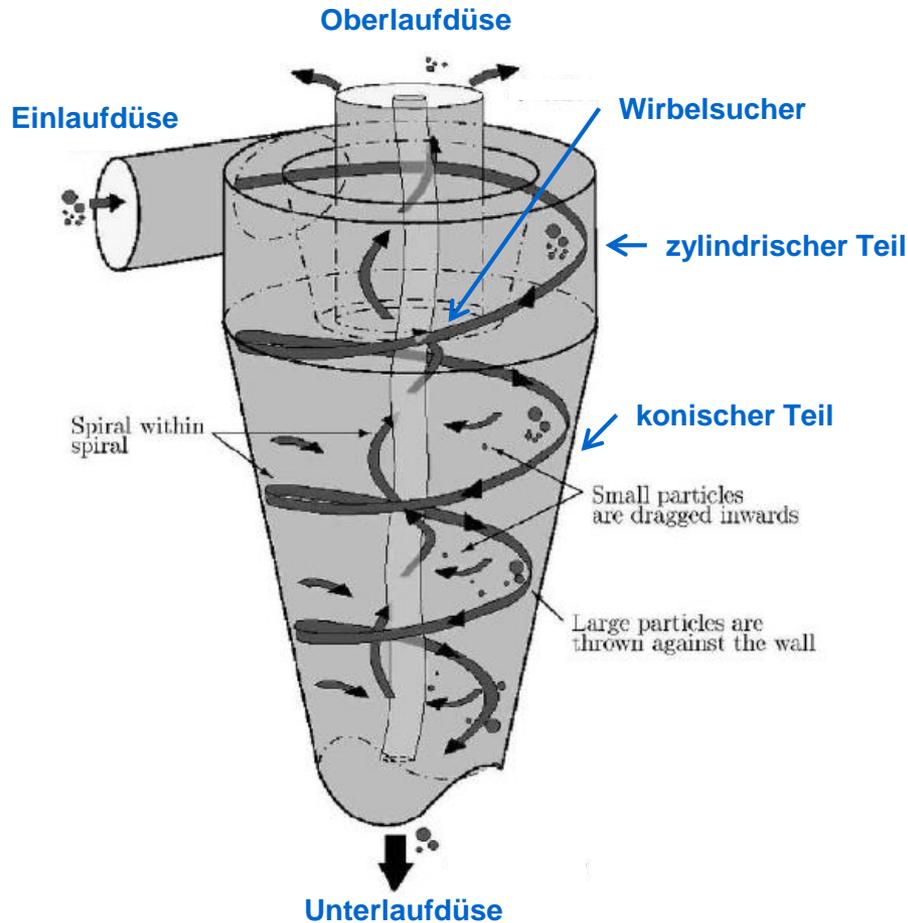
Abmaße Hydrozyklon [Studienarbeit R. Ebert]

4. Vorüberlegungen

- Wie funktioniert ein Hydrozyklon grundlegend?
- Gibt es unterschiedliche Ausführungen? Warum? Wozu werden sie benutzt?
- Hydrozyklone können in zwei Regimen betrieben werden: Schirm- und Strangaustrag → Wo liegt der Unterschied?
- Welche Daten sind für die Auswertung notwendig?
- Funktionsweise und Bedienung der Versuchsanlage

4. Vorüberlegungen

Aufbau & Wirkungsweise eines Hydrozyklons



- Zentrifugalklassierer
- Sehr einfach aufgebaut
- Verschleißfeste Materialien
- Tangentiale Einlaufströmung
- Abwärtsgerichtete äußere Umlaufströmung
- Aufwärtsgerichtete innere Wirbelströmung
- Partikel werden aufgrund Zentrifugalkraft nach außen gedrückt

4. Vorüberlegungen

Einsatzgebiete

- Aufbereitung von Bohrspülungen
- Mineralaufbereitung (z. B. nach Laugung)
- Abwasserreinigung (Schlammeindickung)
- Abscheiden von Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen
- Schleifmittelregenerierung
- Lebensmittelindustrie
- ...



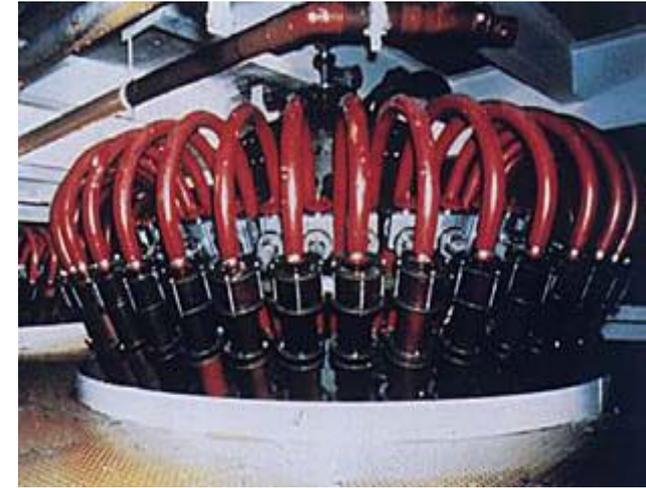
4. Vorüberlegungen

Größen:

- Durchmesser: 10 mm - 1,6 m
- Durchsatz: 0,5 - 1.300 m³/h
- Trennkorngröße: 5 - 250 µm
- $D \uparrow \rightarrow Q$ und $d_{50} \uparrow$
 - Hohe Q und kleine $d_{50} \rightarrow$ Was tun?
 - Hydrozyklon-Batterien (mit Ringverteiler)

Zielstellungen:

- Trennen
- Klären: feststofffreier Oberlauf
- Eindicken: feststoffreicher Unterlauf
 - Beides angestrebt \rightarrow Was tun?
 - Mehrstufige Anlagen

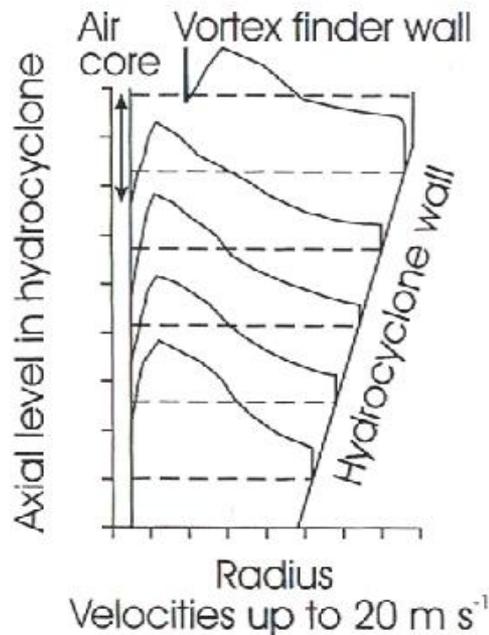


http://www.akwauv.com/xist4c/web/Feststoffrueckgewinnung_id_4416_.htm

4. Vorüberlegungen

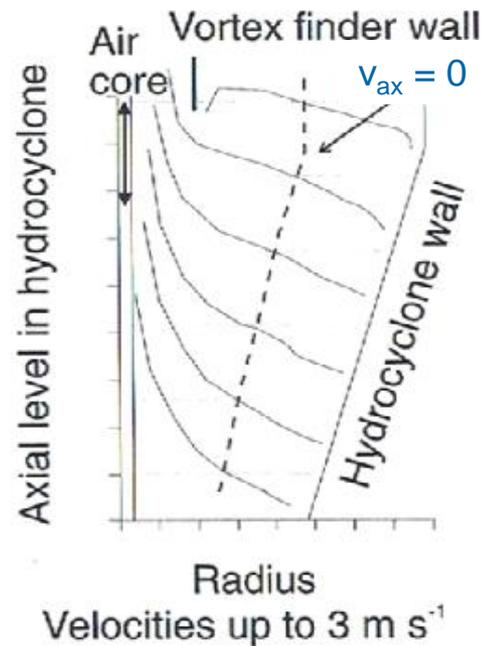
Strömungsverhältnisse

tangential



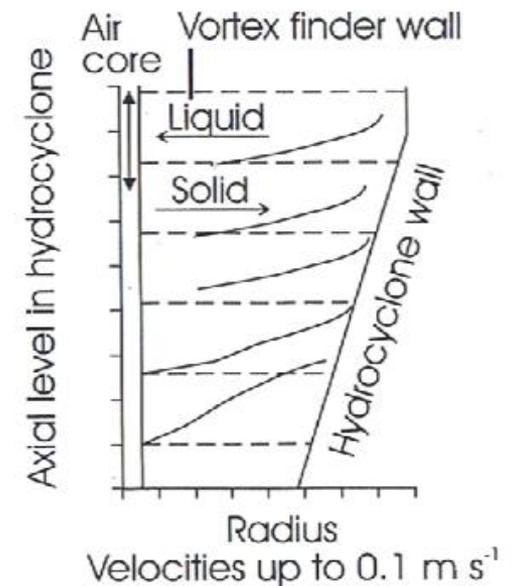
- Größte Geschwindigkeit
- Nimmt mit kleinerem D zu
- Max. in Nähe des Luftkerns

axial



- Zwei Bereiche:
 - Außen nach unten
 - Innen nach oben

radial

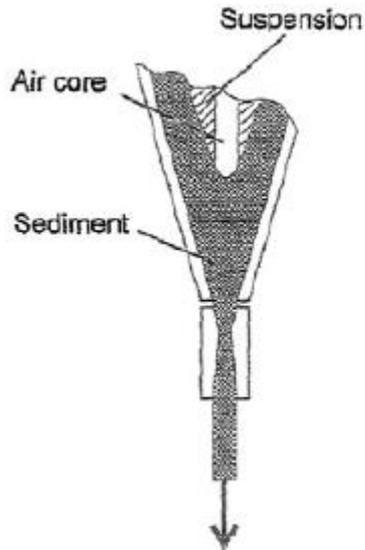
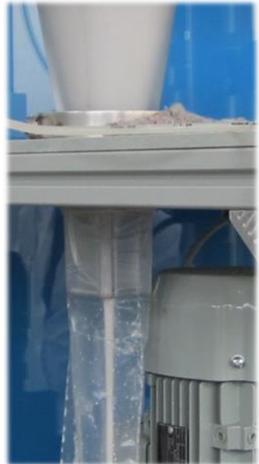


- Max. an Wand, am Luftkern = 0
- Flüssigkeit nach innen
- Feststoff nach außen

4. Vorüberlegungen

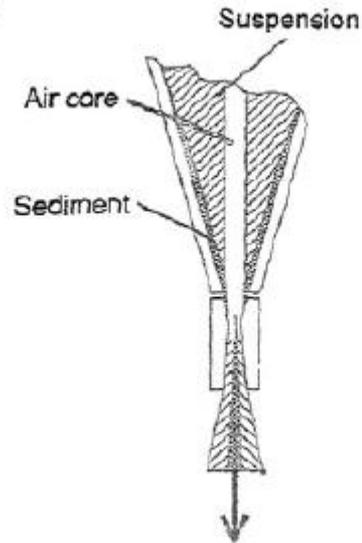
Austragsarten

Strangaustrag

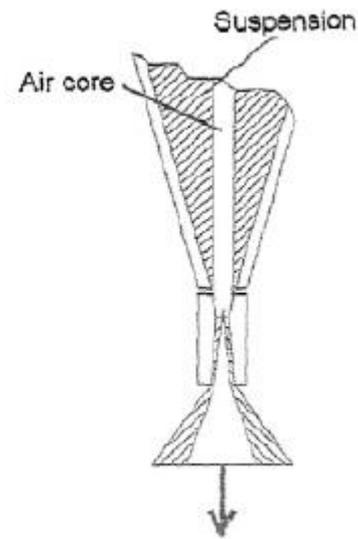


- Dichtstromtrennung ($\varphi_s > 10\%$)
- Trennschärfe gut
- Grobgutausbringen schlecht

Übergangsbereich



Schirmaustrag



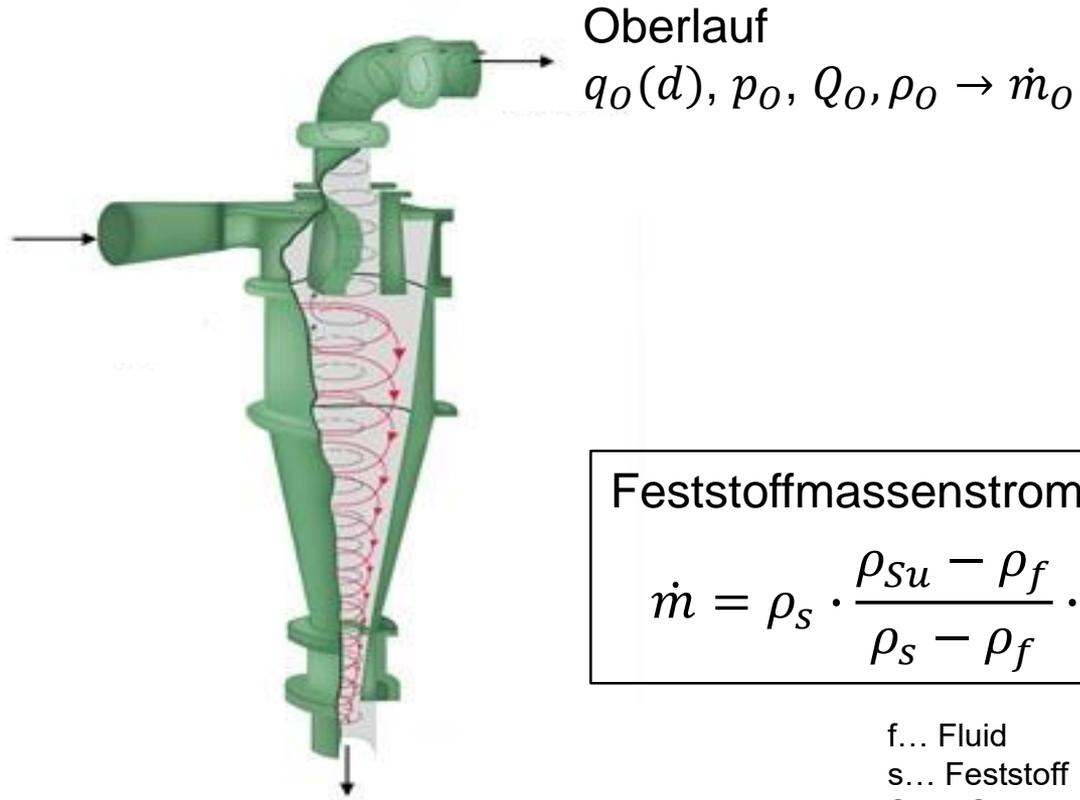
- Dünnstromtrennung ($\varphi_s = 5-10\%$)
- Grobgutausbringen hoch
- Trennschärfe schlecht

4. Vorüberlegungen

Nomenklatur:

Suspensions-Aufgabe
 $q_A(d), p_A, Q_A, \rho_A \rightarrow \dot{m}_A$

$$\begin{matrix} p_O, p_U \approx p_{atm} \\ \downarrow \\ \Delta p \approx p_A \end{matrix}$$



Oberlauf
 $q_O(d), p_O, Q_O, \rho_O \rightarrow \dot{m}_O$

Feststoffmassenstrom:

$$\dot{m} = \rho_s \cdot \frac{\rho_{Su} - \rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot Q$$

f... Fluid
 s... Feststoff
 Su... Suspension

Unterlauf
 $q_U(d), p_U, Q_U, \rho_U \rightarrow \dot{m}_U$

4. Vorüberlegungen

Versuchsplan

Versuch Nr.		1	2	Erläuterung	Wie gemessen?
Austragsform		Schirm	Strang		
Q_A	l/min			Volumenstrom Aufgabe	Einstellen → Ablesen am Durchflussmessgerät
Q_U	l/min			Volumenstrom Unterlauf	Auslitern (Dreifachbestimmung)
Q_O	l/min			Volumenstrom Oberlauf	$Q_A - Q_U$
ρ_A	kg/m³			Dichte Aufgabesuspension	Dichtemessgerät (Dreifachbestimmung)
ρ_O	kg/m³			Dichte Oberlaufsuspension	
ρ_U	kg/m³			Dichte Unterlaufsuspension	
$q_A(d)$	-			Korngrößenverteilung Aufgabe	Probenahme für Partikelmessung im Labor
$q_U(d)$	-			Korngrößenverteilung Unterlauf	
$q_O(d)$	-			Korngrößenverteilung Oberlauf	

5. Durchführung

Gruppen von 3 - 4 Studenten/innen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

IBF

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Bedienung des Hydrozyklon-Versuchsstandes

TU Bergakademie Freiberg
Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau
Agricolastr. 22
09599 Freiberg

Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich
Dr.-Ing. Silke Röntzsch

Version vom 01.12.2016

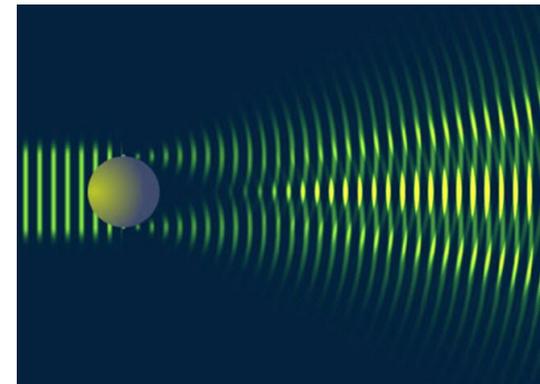
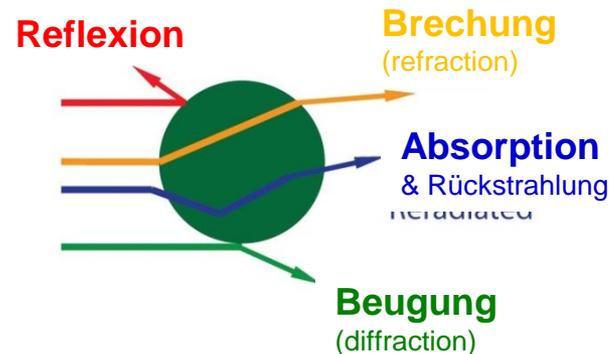
5. Durchführung

Korngrößenanalyse

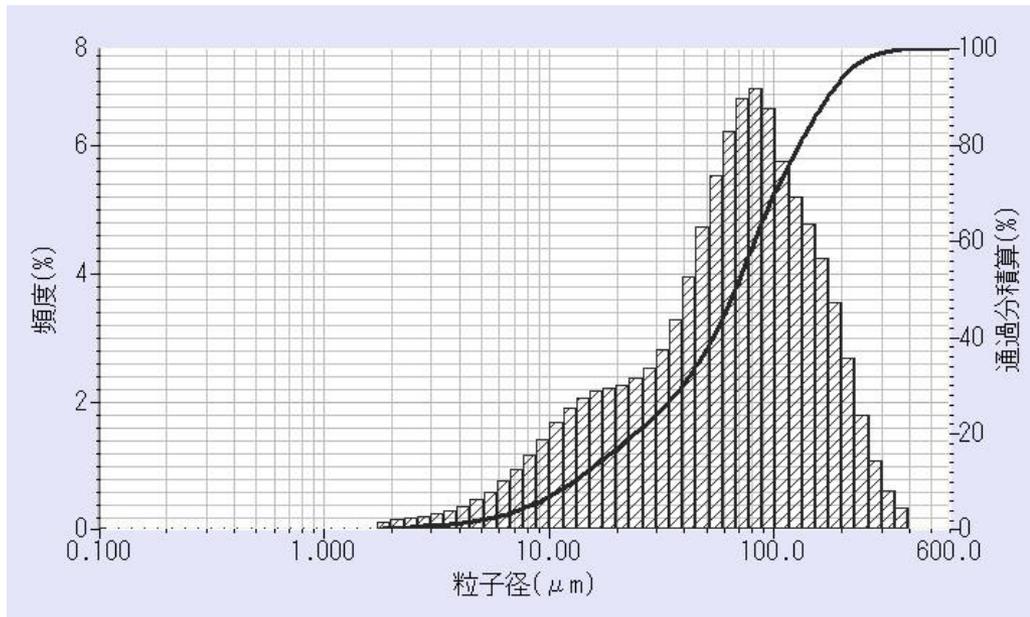
- Laser-Streulichtspektrometer Horiba LA-300 (Retsch Technology)

Messprinzip: Statische Laserlichtstreuung (Laser-Diffraktometrie, Laserbeugung)

- Zusammenhang zwischen Partikelgröße und Winkel sowie Intensität des gestreuten Lichtes
- Licht wird bei großen Partikeln intensiver und mit kleineren Winkeln gebeugt als bei kleinen Partikeln



5. Durchführung



Verteilungsdichte & Summenhäufigkeit

Probe V 1 U.txt - Editor

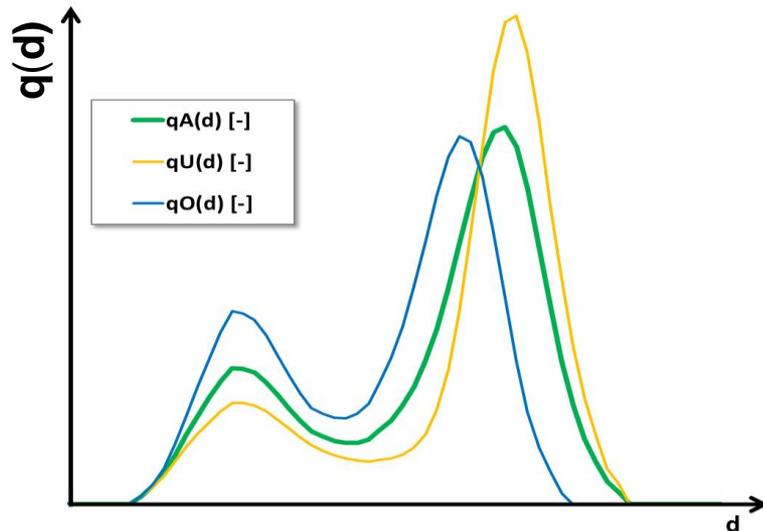
Probe V 1 U

Zirkulationsgeschwindigkeit 10
 Ultraschall OFF
 Laser Transmission % 91.8(%)
 D50 59.6445(μm)

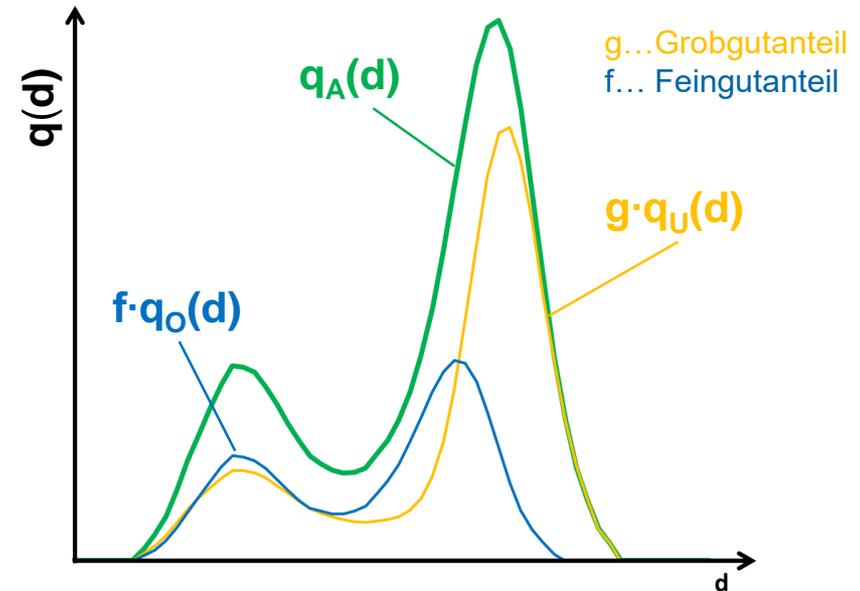
Durchmesser	q (%)	Q (in %)
0.115	0.000	0.000
0.131	0.000	0.000
0.150	0.000	0.000
0.172	0.000	0.000
0.197	0.000	0.000
0.226	0.000	0.000
0.259	0.000	0.000
0.296	0.000	0.000
0.339	0.000	0.000
0.389	0.000	0.000
0.445	0.000	0.000
0.510	0.000	0.000
0.584	0.000	0.000
0.669	0.000	0.000
0.766	0.114	0.114
0.877	0.176	0.290
1.005	0.258	0.548
1.151	0.342	0.890
1.318	0.435	1.325
1.510	0.531	1.856
1.729	0.618	2.474
1.981	0.631	3.105
2.269	0.637	3.742
2.599	0.608	4.350
2.976	0.552	4.902
3.409	0.483	5.385
3.905	0.411	5.796
4.472	0.345	6.140
5.122	0.288	6.428
5.867	0.246	6.674
6.720	0.214	6.888
7.697	0.192	7.079
8.816	0.180	7.259
10.097	0.190	7.449
11.565	0.203	7.652

6. Auswertung

Korngrößenanalyse →
Verteilungsdichte $q(d)$ mit $A = \int q(d) = 1$ für jede Probe →
qualitativer Vergleich



für quantitativen Vergleich →
Normierung notwendig



Normierte Dichtefunktionen: $q_A(d) = g \cdot q_u(d) + f \cdot q_o(d)$

6. Auswertung

Grobgutanteil/Abscheidegrad

$$g = \frac{m_U}{m_A} = \frac{\dot{m}_U}{\dot{m}_A}$$

Feingutanteil/Durchlassgrad

$$f = \frac{m_O}{m_A} = \frac{\dot{m}_O}{\dot{m}_A}$$

$$f + g = 1$$

Feststoffmassenstrom:

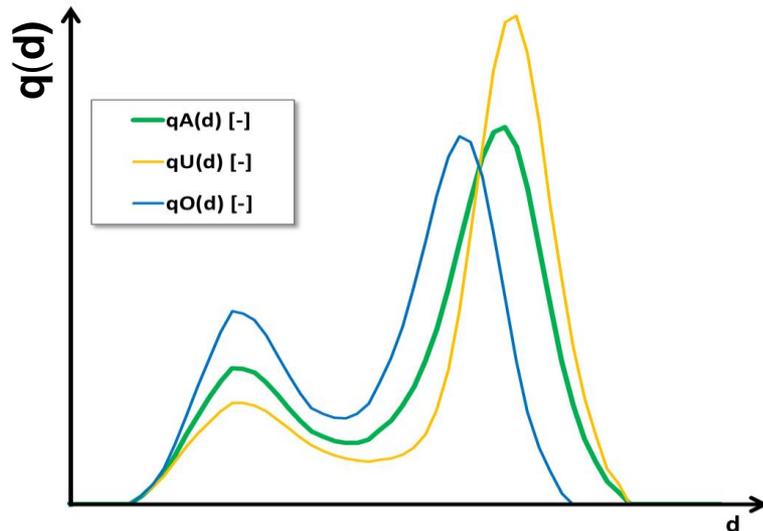
$$\dot{m} = \rho_s \cdot \frac{\rho_{Su} - \rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot Q$$

Indizes:
 f... Fluid,
 s... Feststoff,
 Su... Suspension

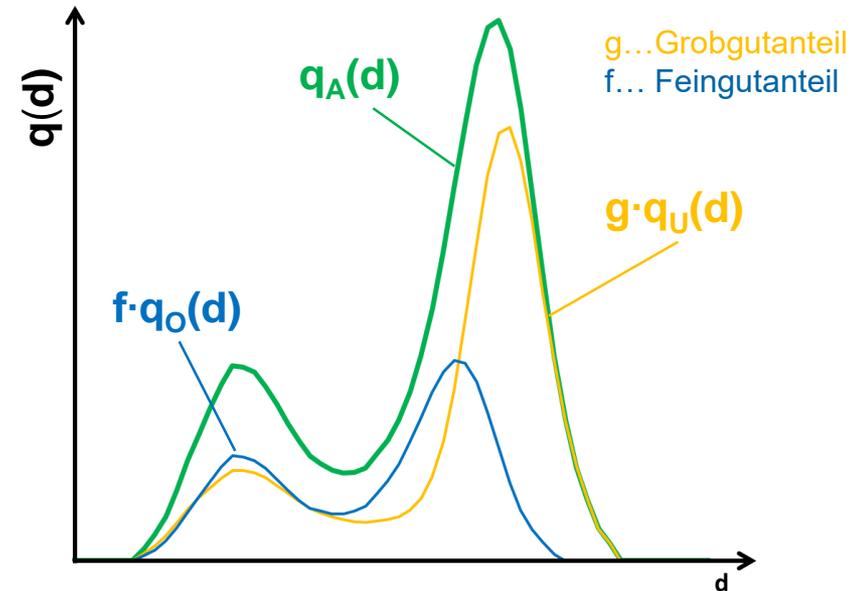
$$\dot{m}_{Su} \neq \rho_{Su} \cdot Q!!!$$

6. Auswertung

Korngrößenanalyse →
Verteilungsdichte $q(d)$ mit $\mathbf{A} = \int q(d) = \mathbf{1}$ für jede Probe →
qualitativer Vergleich



für quantitativen Vergleich →
Normierung notwendig



Normierte Dichtefunktionen: $q_A(d) = g \cdot q_u(d) + f \cdot q_o(d)$

6. Auswertung

Trennfunktion

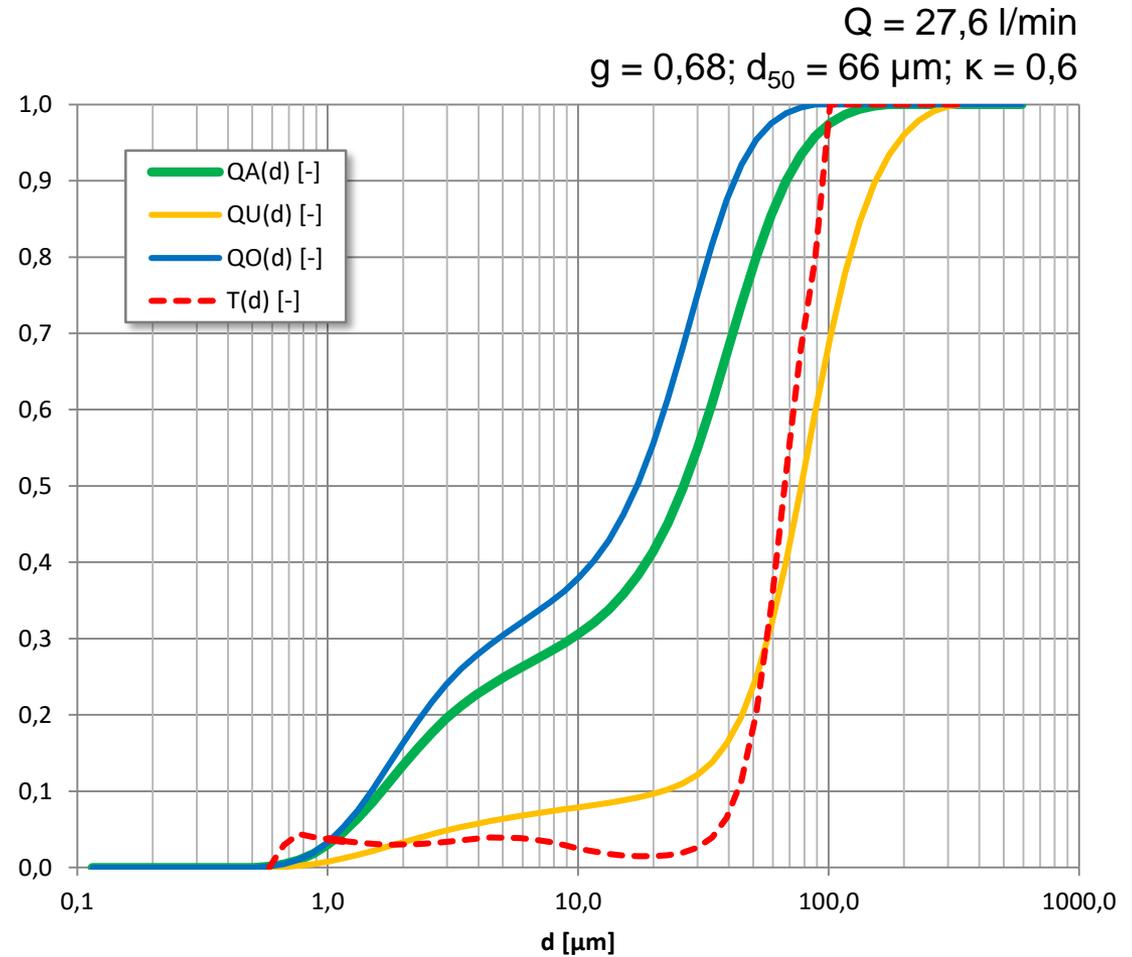
$$T(d) = \frac{g \cdot q_U(d)}{g \cdot q_U(d) + f \cdot q_O(d)}$$

Trennkorngröße

$$d_T = d_{50}(T)$$

Trennschärfe

$$\kappa = \frac{d_{25}(T)}{d_{75}(T)}$$



7. Protokoll

- Jede/r eigenständiges Protokoll
- Einführung – Grundlagen, Zielstellung
- Versuchsaufbau
- Versuchsplan, Probenahmeplan
- Beschreibung der Versuchsdurchführung
- Auswertung (Rechenwege nachvollziehbar, Messwerte evtl. im Anhang)
- Diskussion der Ergebnisse
- Abgabetermin: 4 Wochen (bis zum 13.01.2023) nach dem
Praktikumstermin

8. Literatur

BEDNARSKI, S. (1968): Vergleich der Methoden zur Berechnung von Hydrozyklonen. In: Chemische Technik I, Vol. 20, S. 12-18.

BRADLEY, D. (1965): The Hydrocyclone. In: Danckwerts, P.V. (Hrsg.): International Series of monographs in chemical engineering. Bd. 4, Pergamon Press, Oxford, S. 1-106.

BRAUN, T. (1989): Theoretische und experimentelle Untersuchungen des Einflusses der Feststoffkonzentration und der Partikelgrößenverteilung auf das Trennverhalten von Hydrozyklonen. Dissertation. TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik.

BUNGE, R. (2012): Mechanische Aufbereitung – Primär- und Sekundärrohstoffe. Wiley-VCH-Verlag, Weinheim.

Fontain, F.J. (1961): Wirkung des Hydrozyklons und des Bodensiebes sowie deren Anwendungen. In: Aufbereitungstechnik II, S.85.

LUCKERT, K. (2004): Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung. Vulkan-Verlag.

PLITT, L.R. (1976): Mathematical model of the hydrocyclone classifier. CIM Bulletin 69, S. 114-123

TRAJAN, G. (1961): Some theoretical questions on classifying and separating hydrocyclones. Acta techn. Acad. Sci. Hung. 32, S. 357-388.

TRAWINSKI, H. (1953): Der Hydrozyklon als Hilfsgerät zur Grundstoff-Veredelung. Chemie Ingenieur Technik, Vol. 25, Issue 6, S. 331-341.

Fragen?

Termin

Donnerstag, 15.12.2022 (Protokoll 13.01.2023)