

Korngrößenanalytik

- Messen (nur bei größeren Korngrößen)
- Sieben
 - Trockensiebung (rollige Materialien)
 - Naßsiebung (bindige Materialien)
- Sedimentationsmethoden
 - Aräometer
 - Pipette-Methode
- Laser Particle Sizer
- Sedigraph

Sedimentationsmethoden – Stokes'sches Gesetz

Das Stokes'sche Gesetz besagt, dass Kugeln gleicher Dichte in einer Flüssigkeit ab einer bestimmten Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit fallen. D.h. die auf die Kugeln wirkenden Kräfte (Reibung, Auftrieb und Gravitation) kompensieren sich.

Voraussetzungen:

- Laminare Strömung (gegeben bei Sinkgeschwindigkeiten < 0.5 cm/s, das entspricht einem Korndurchmesser von ca. $75\mu\text{m}$ bei 20°C in Wasser)
- Unendlich ausgedehnte Fallrohre
- Zwischen den fallenden Teilchen kommt es zu keinen Wechselwirkungen
- Die Teilchen sind kugelförmig, starr und glatt
- Teilchen $> 0.2\mu\text{m}$ (im Schwerefeld, darunter steigt der Einfluss der Brown'schen Molekularbewegung)

Stokes'sches Gesetz

$$v = \frac{d^2 * (\rho_k - \rho_w) * g}{18 * \eta} \quad \text{oder} \quad t = \frac{h}{v} = \frac{18 * \eta}{(\rho_k - \rho_w) * g} * \frac{h}{d^2}$$

mit:

- t: Fallzeit [s]
- h: Fallhöhe [m]
- v: Sinkgeschwindigkeit [m/s]
- η : dynamische Viskosität von Wasser (temperaturabhängig) [Pa*s]
- ρ_k : Korndichte [kg/m³]
- ρ_w : Dichte von Wasser (temperaturabhängig) [kg/m³]
- g: Erdbeschleunigung (breiten- und höhenabhängig) [m/s²]
- d: Korndurchmesser (Äquivalentdurchmesser) [m]

TABLE 3-3. Common logarithms of settling velocity and grain diameters at 20°C (Taira and Scholle, 1977, Table 1).

τ	Settling velocity (cm/s)	Microns	Phi
2.0	100.0	15,284.70	-3.934
1.9	79.4	10,136.62	-3.342
1.8	63.0	6,848.72	-2.776
1.7	50.1	4,728.46	-2.241
1.6	39.8	3,340.97	-1.740
1.5	31.6	2,416.17	-1.273
1.4	25.1	1,786.74	-0.837
1.3	20.0	1,348.65	-0.432
1.2	15.8	1,037.21	-0.053
1.1	12.6	811.15	0.302
1.0	10.0	644.02	0.635
0.9	7.94	518.52	0.948
0.8	6.30	422.74	1.242
0.7	5.01	348.68	1.520
0.6	3.98	290.67	1.783
0.5	3.16	244.67	2.031
0.4	2.51	207.75	2.267
0.3	2.00	177.79	2.492
0.2	1.58	153.17	2.707
0.1	1.26	132.74	2.913
0.0	1.00	115.62	3.113
-0.1	0.794	101.14	3.306
-0.2	0.630	88.78	3.494
-0.3	0.501	78.15	3.678
-0.4	0.398	68.97	3.858
-0.5	0.316	60.98	4.035
-0.6	0.251	54.01	4.211
-0.7	0.200	47.89	4.384
-0.8	0.158	42.52	4.556
-0.9	0.126	37.77	4.727
-1.0	0.100	33.58	4.896

Sinkgeschwindigkeit

Pettijohn et al., 1987

Stokes'sches Gesetz

In der Praxis:

Fallrohre von min. 60 mm Durchmesser

Suspensionen 1-10 (75) g/l

Partikelgrößen $<63\mu\text{m}$

Die ermittelten Korndurchmesser entsprechen einem

Äquivalentdurchmesser einer Kugel mit gleicher Sinkgeschwindigkeit

Was bedeutet das für Teilchen, die stark von der Kugelform abweichen,
z.B. Tonminerale?

Atterberg

- Verfahren zur vollständigen Gewinnung einzelner Kornfraktionen ($<63\mu\text{m}$)
- Abtrennung der Kornfraktionen durch Sedimentation
- Stokes'sches Gesetz
- Sehr zeitaufwändig!
- Beginn der Abtrennung mit der feinsten Fraktion
- Wiederholung der Schlämmung ca. 8-12 mal (je feiner, desto öfter)
- Gewinnung der Kornfraktionen durch Filtration

Atterberg-Zylinder

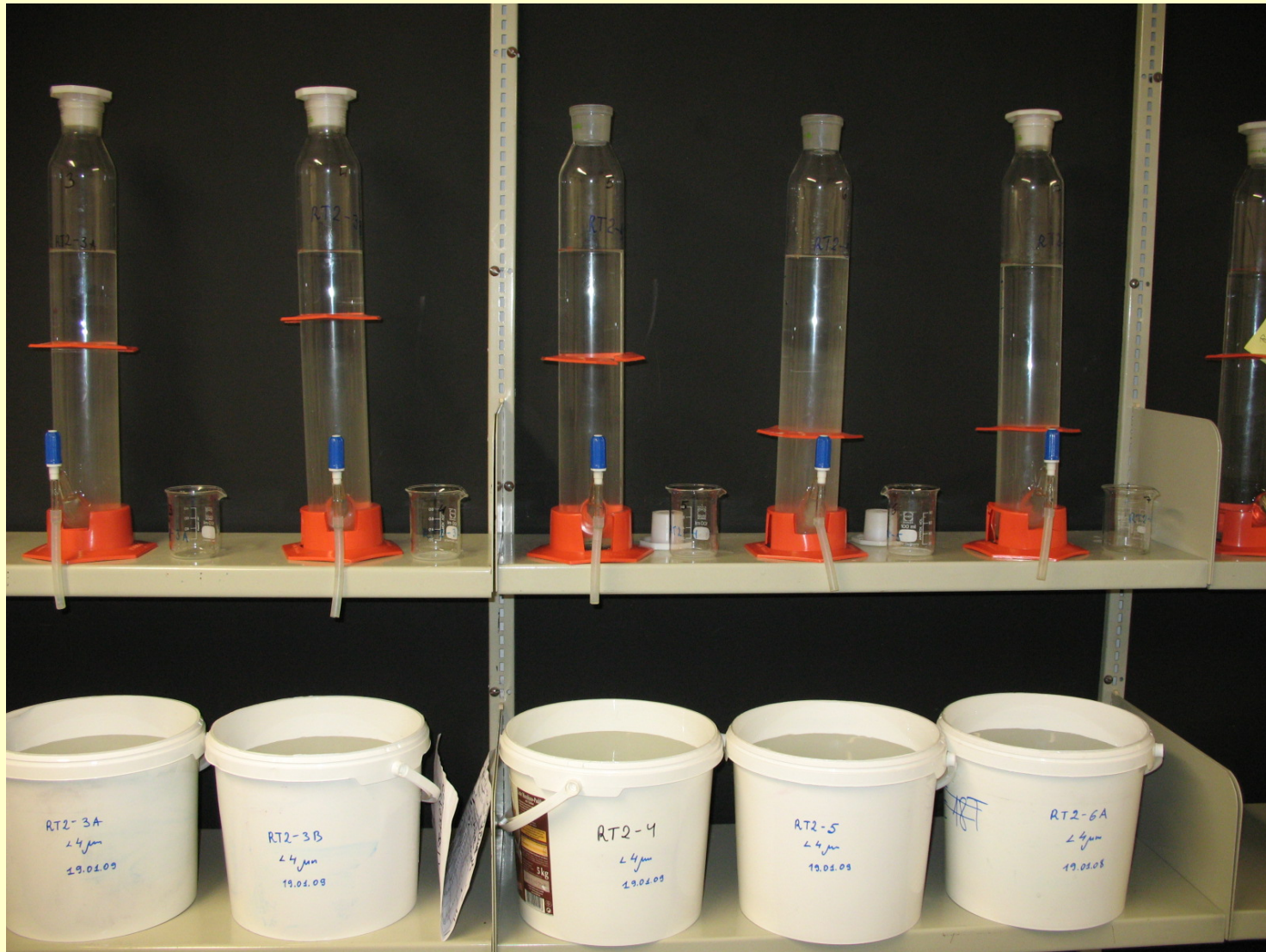




Quantitative Trennung

Die Korntrennung ist quantitativ, wenn die Grenzlinie zwischen partikelfreiem Wasser und Suspension den Ablaufhahn passiert hat.

Falsch!



Richtig!



Gewinnung der Feinfraktion durch Filtration

Überdruckfiltration



Überdruckfiltration



Überdruckfiltration



Überdruckfiltration





LÜ-Sedimentologie

Vakuumfiltration



Vakuumfiltration



Zentrifuge

- Abtrennung der Tonfraktion im Zentrifugalfeld
- Vorteil: deutlich schneller als Atterberg
- Nachteil: Nicht alle Zentrifugen arbeiten temperaturkonstant
- Nachteil: Beschleunigungs- und Bremsphase sind schwer zu kalkulieren

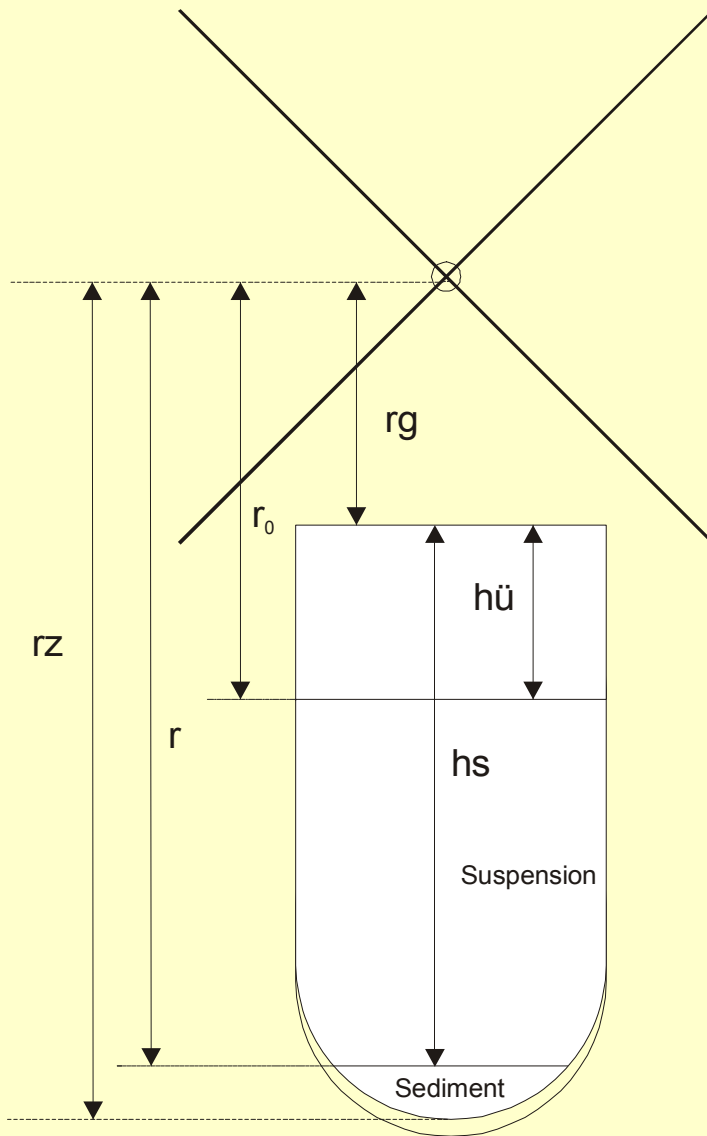
Stokes'sches Gesetz im Zentrifugalfeld

$$t = \frac{18 * \eta}{(\rho_k - \rho_w) * 4\pi^2 * f^2 * d^2} * \ln \frac{r}{r_0}$$

mit:

- t: Fallzeit [s]
- r: Entnahmeradius [m]
- r₀: Startradius [m]
- f: Umdrehungszahl [s⁻¹]
- η: dynamische Viskosität von Wasser (temperaturabhängig) [Pa*s]
- ρ_k: Korndichte [kg/m³]
- ρ_w: Dichte von Wasser (temperaturabhängig) [kg/m³]
- d: Korndurchmesser (Äquivalentdurchmesser) [m]

Zentrifuge (Maße)



Zentrifugenarbeitsdiagramm

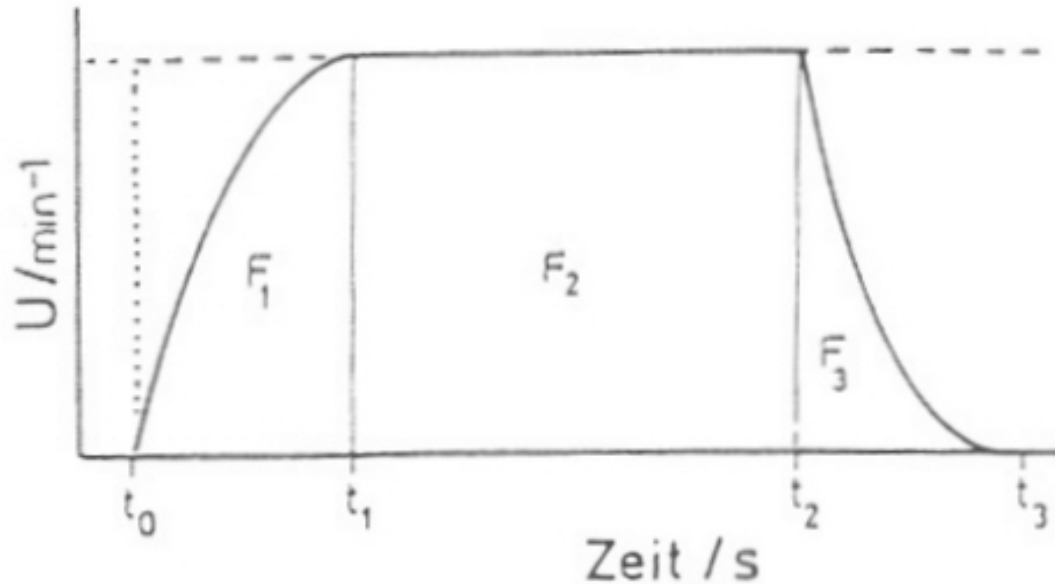
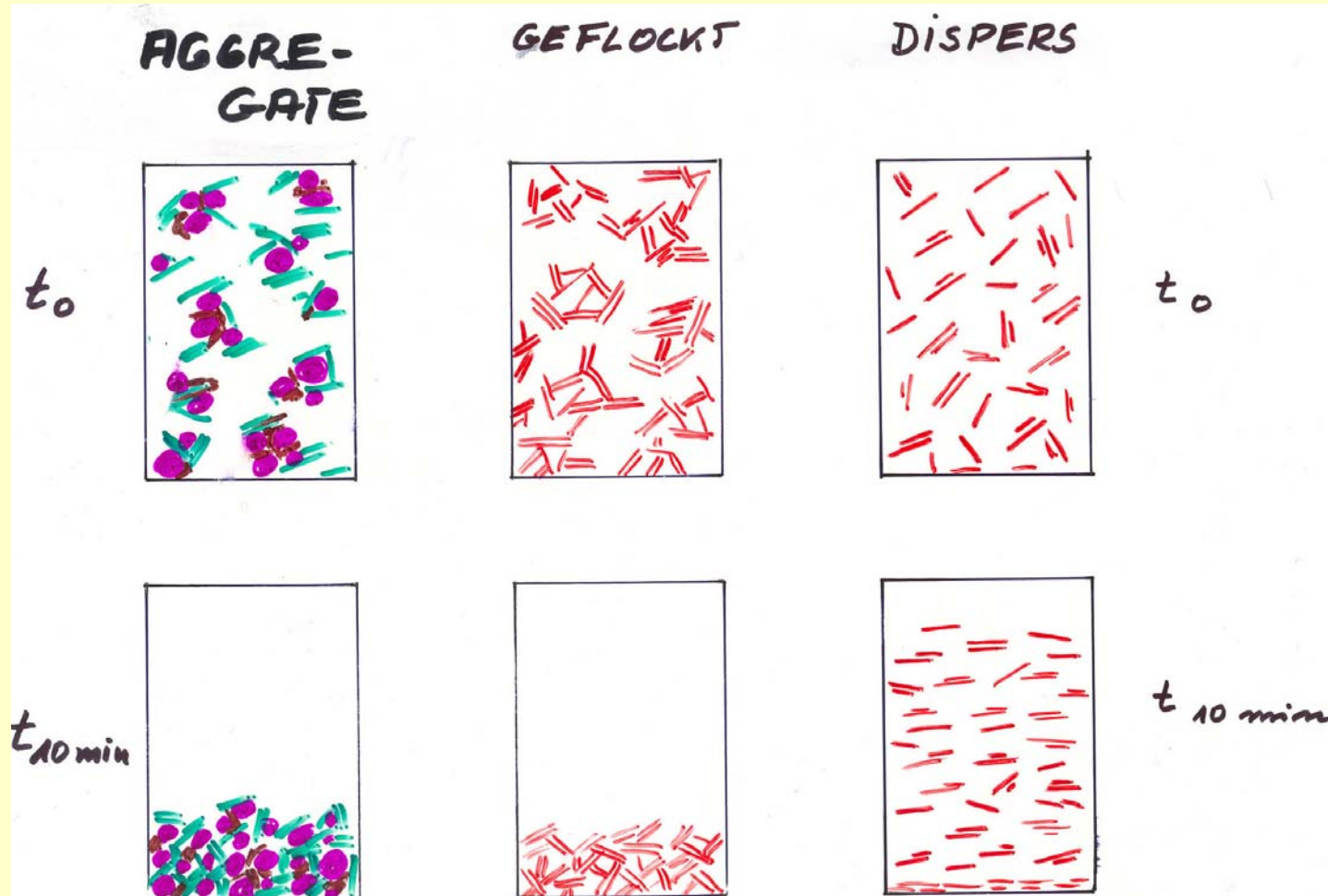


Abb. 3: Arbeitsdiagramm einer Zentrifuge: t_0 : Anschaltzeitpunkt, t_1 : Zeit bei Erreichen der maximalen Drehzahl, t_2 : Abschaltzeitpunkt, t_3 : Stillstand

aus: Tributh&Lagaly, 1986

Dispergierung



- Die elektrische Doppelschicht
 - Permanente Ladungen
 - Variable Ladungen

EDL

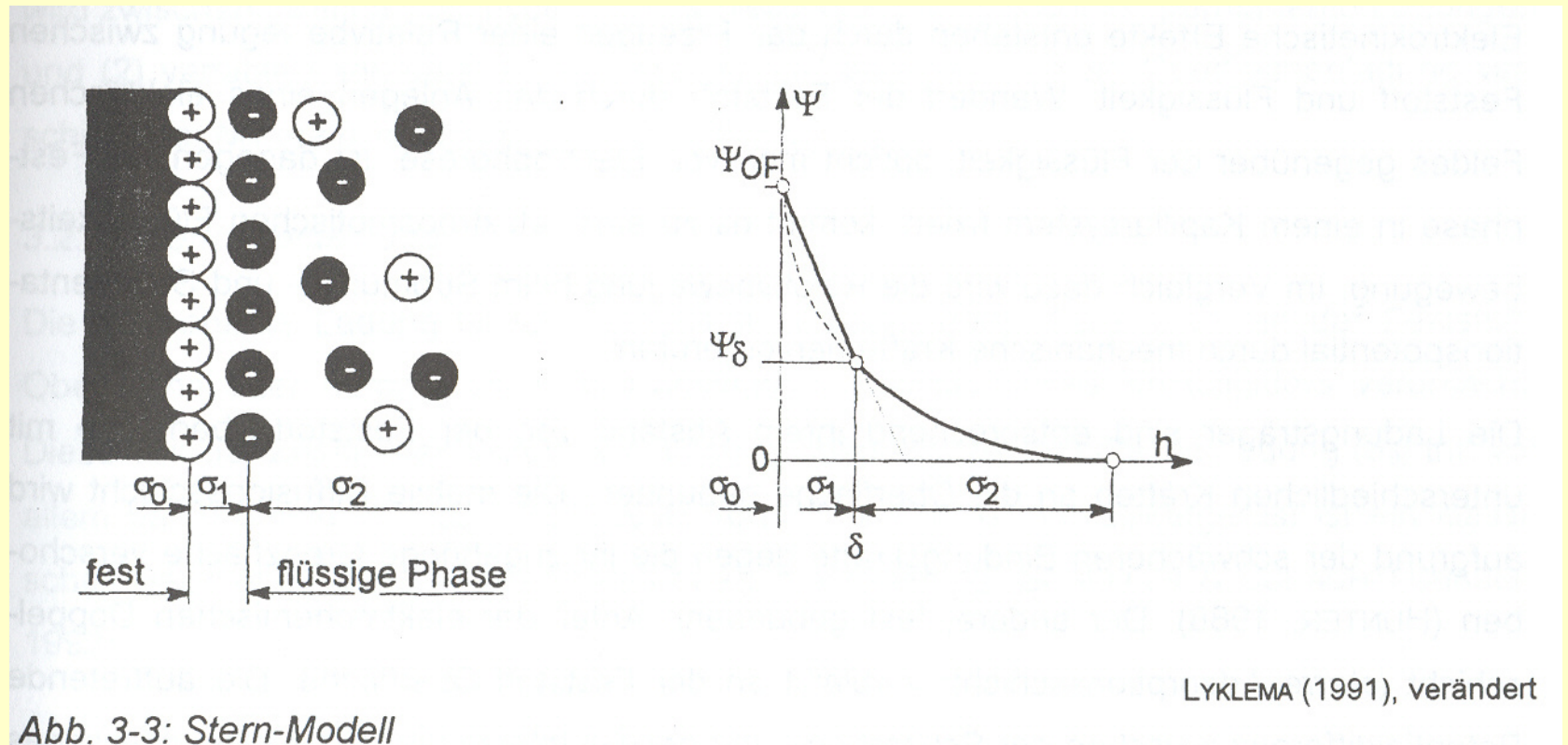
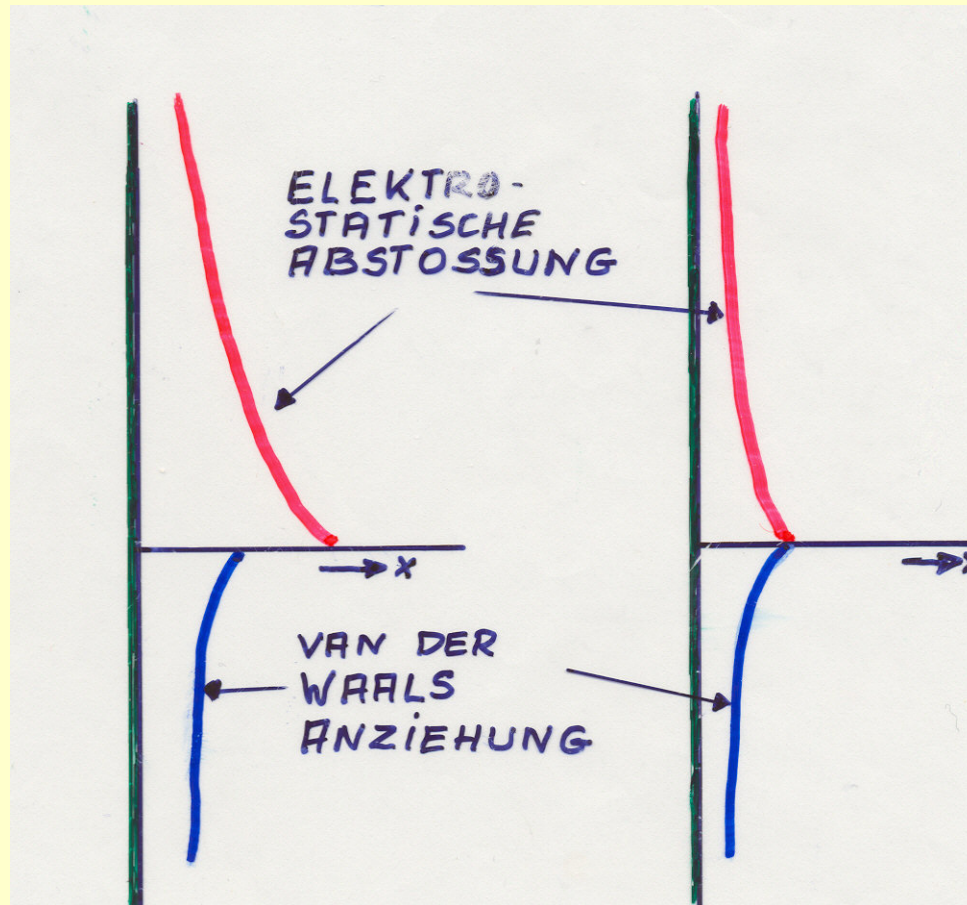


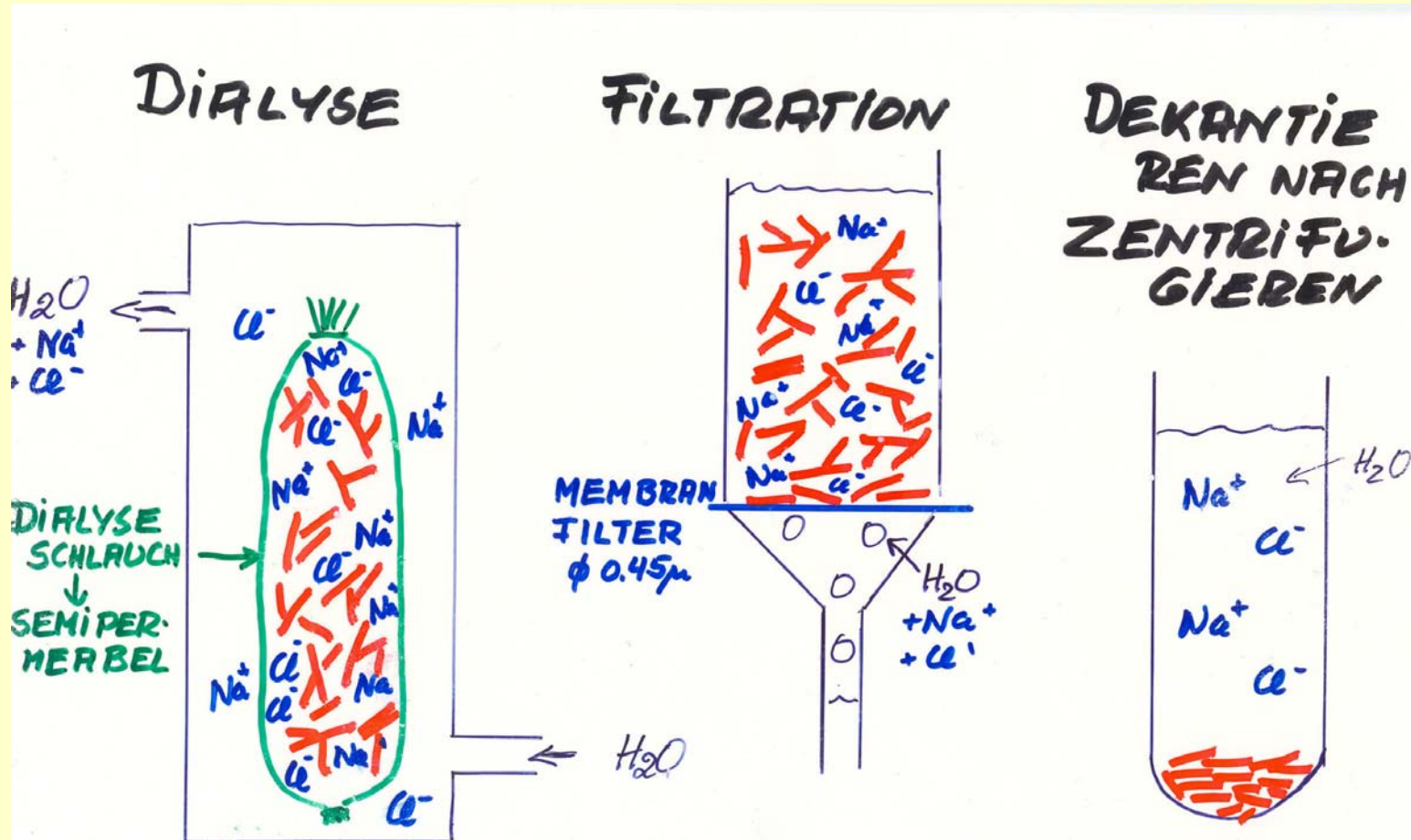
Abb. 3-3: Stern-Modell

Kompression der EDL durch Salzzugabe



Heydemann

Entfernen des Salzes



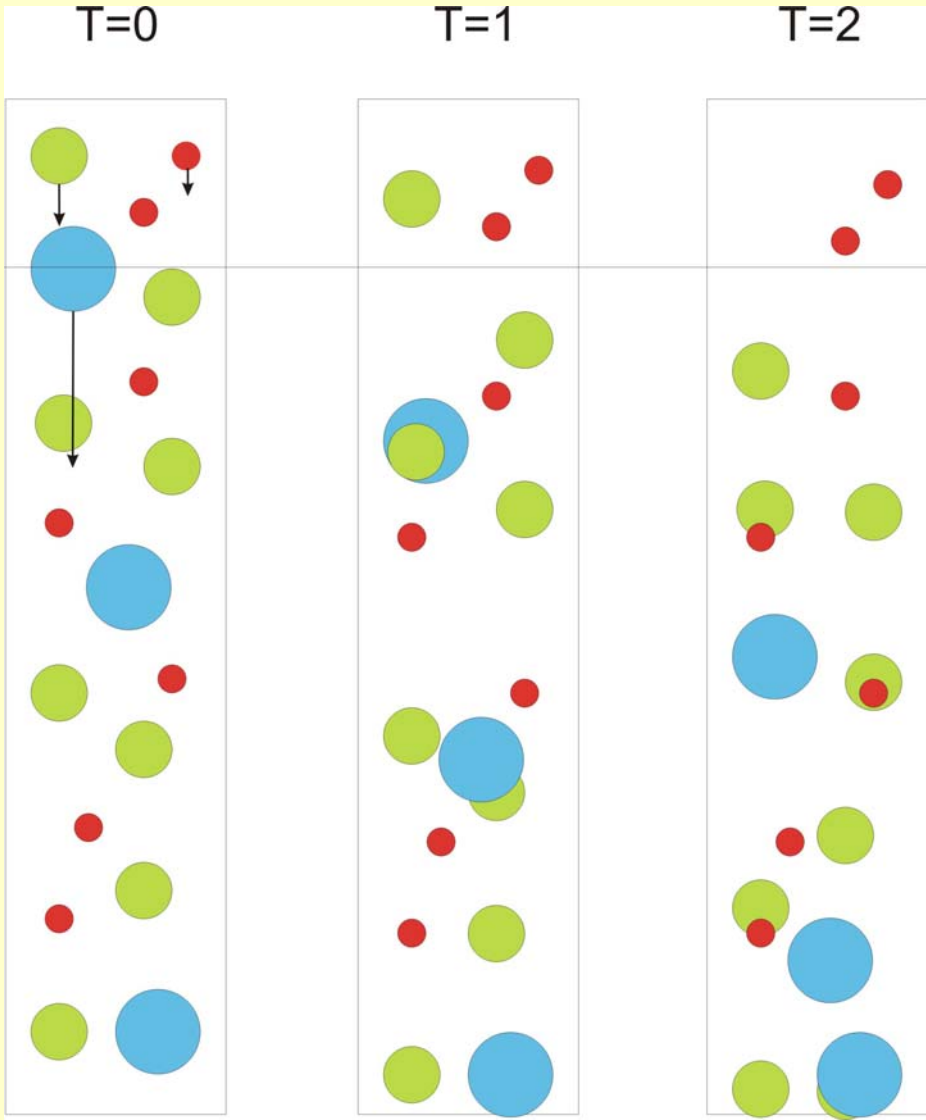
Pipette-Methode

- In der Sedimentologie und Bodenkunde gebräuchlich
- Relativ einfache Handhabung
- Unkomplizierte Auswertung
- Korngrößen $<63\mu\text{m}$

Pipette-Methode (Prinzip)

- Aus einer Suspension werden zu bestimmten Zeiten 10ml Aliquote mit eine Spezialpipette entnommen.
- Die Partikel in der Suspension sedimentieren gemäß dem Gesetz von Stokes.
- Nach einer bestimmten Zeit befinden sich oberhalb des Entnahmepunktes nur noch Partikel $<$ einer berechenbaren Korngröße
- Der Anteil dieser Korngröße im Aliquot entspricht dem Anteil in der homogenen Suspension zu Beginn der Sedimentation

Sedimentation



Berechnung der Fallzeiten

- 63 μm 10 cm
- 20 μm 10 cm
- 6.3 μm 5 cm
- 2 μm 5 cm
- T=20°C (21°C)

Aräometer

- Die Methode wird bevorzugt in der Bodenmechanik angewendet, um Korngrößenverteilungen $<125 \mu\text{m}$ zu bestimmen
- Die Auswertung erfolgt graphisch mit Hilfe eines von A. Casagrande 1934 entwickelten Nomogramms
- Beschreibung der Methode in DIN 18123

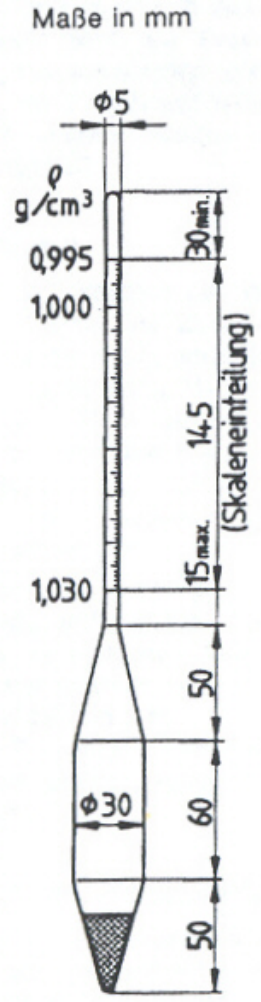


Bild 1: Aräometer

Aräometer

aus: DIN 18123



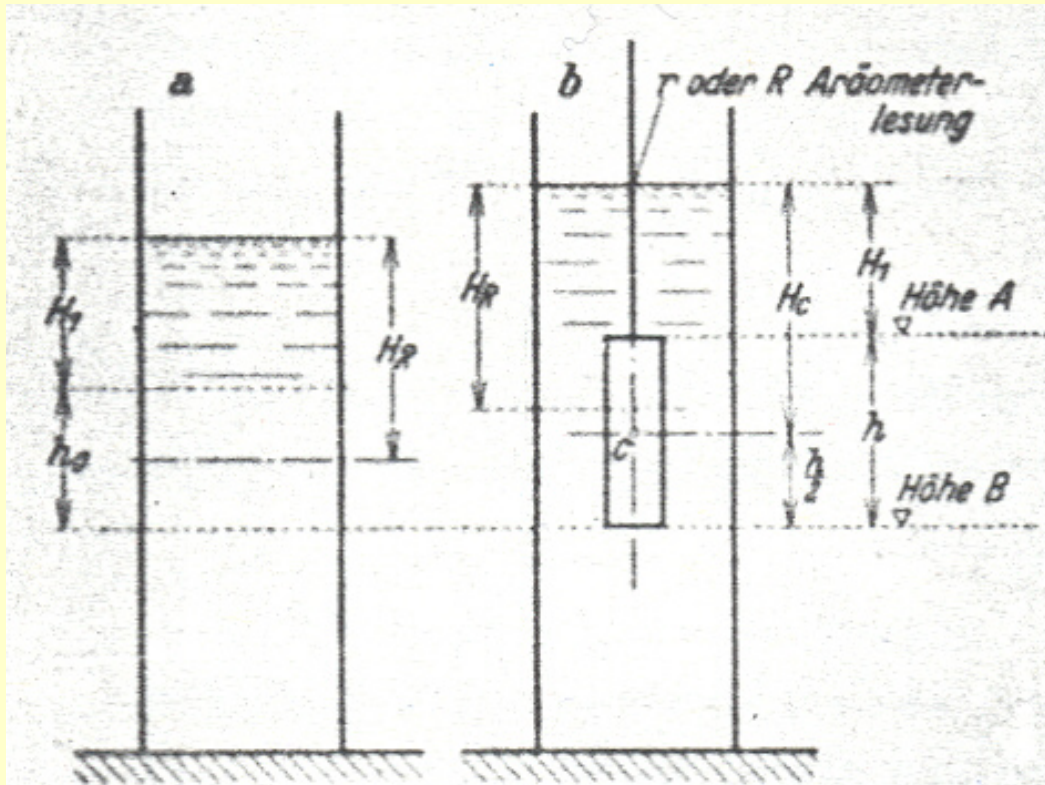
Aräometer - Prinzip

- Mit einem Aräometer wird die Dichte einer Suspension in einer bestimmten Tiefe der Suspension bestimmt.
- Die Dichte der Suspension in einer bestimmten Tiefe wird zu einer gegebenen Zeit von einem Korngemisch bestimmt, das für Korngrößen unterhalb einer von der Zeit und der Tiefe abhängigen Korngröße dem der homogenen Ausgangssuspension entspricht.
- Kennt man also die Dichte, die Tiefe (Fallhöhe) und die Zeit, so läßt sich daraus die Masse der Teilchen einer bestimmten Kornfraktion berechnen.

Aräometer- Vorbereitung

- Nullpunktkorrektur
 - Meniskuskorrektur
 - Dispergierungsmittelkorrektur
 - Berechnung der reduzierten Höhen (Die Bedingung des unendlich ausgedehnten Fallrohres wird durch das Aräometer verletzt)
- Entspricht in der Summe der Meniskuskorrektur C_m nach DIN 18123

Reduzierte Höhen



$$H_R = H_1 + 0.5h_0$$

$$h_0^* A = h^* A - V$$

$$h_0 = h - V/A$$

$$H_R = H_1 + 0.5(h - V/A)$$

Abb. 9. Beziehung zwischen wirksamer Tiefe und Durchmesser des Schlammzylinders.

V_1 = Volumen der Aräometerbirne.

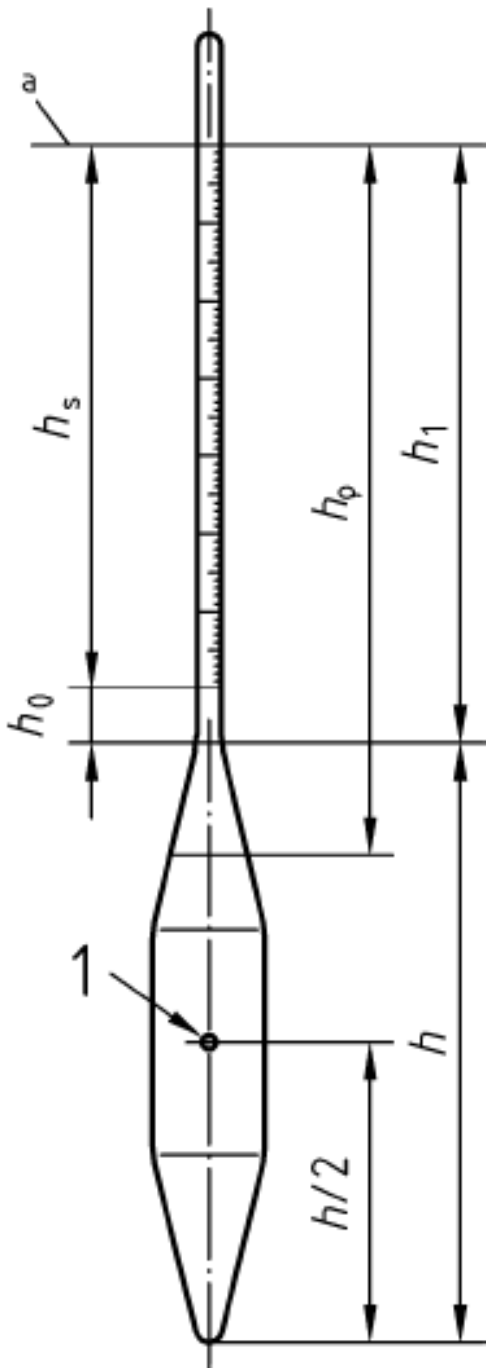
A = Querschnittsfläche des Schlammzylinders.

Reduzierte Tiefe $H_R = H_1 + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_1}{A} \right)$.

Casagrande, 1934

Reduzierte Höhen

$$h_p = h_s + h_0 + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_A}{A_Z} \right)$$



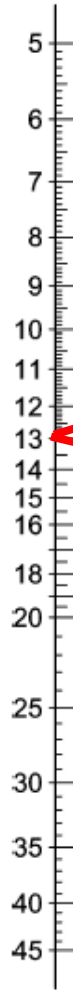
aus: DIN 18123

Berechnung der reduzierten Höhen unter Berücksichtigung der Meniskuskorrektur						
Aräometermaße						
Aräometer	h [cm]	h ₀ [cm]	h _{smax} (0.9950) [cm]	V _a [cm ³]	A _z [cm ²]	Skalenlänge [cm]
1047565	15.8	0.93	12.12	64	28.32	12.12
1047579	16	0.94	12.21	64	28.30	12.21
1047584	16	0.94	12.21	64	28.34	12.21
2034660	16.7	0.93	11.62	?	28.32	11.62
R' min	-5					
R' max	30					
hs(R) = Skalenlänge/(R' max-R' min)*(R' max-R)						
hp(R) = hs(R) + h ₀ + 0.5*(h-V _a /A _z)						
Aräometer:						
Meniskuskorrektur Cm:						
R'	R=R'+Cm	hs von R	hp von R			
-5	-5					
0	0					
5	5					
10	10					
15	15					
20	20					
25	25					
30	30					

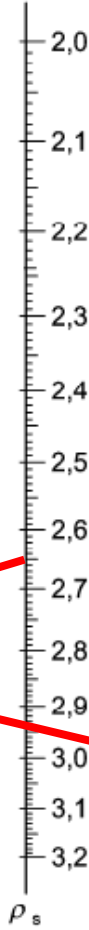
Gesetz von Stokes

$$d = \sqrt{\frac{18,35 \cdot \eta \cdot v}{\rho_s - \rho_w}}$$

$$v = \frac{h_p}{t}$$

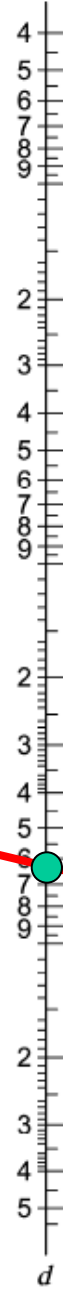


Temperatur T
(nur für Wasser)



ρ_s

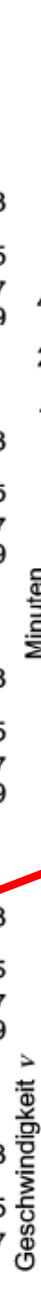
Korndichte ρ_s



Korndurchmesser d



Geschwindigkeit v



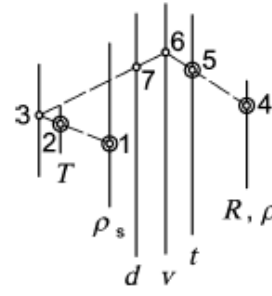
Minuten



Sekunden

Zeit t

Schlüssel



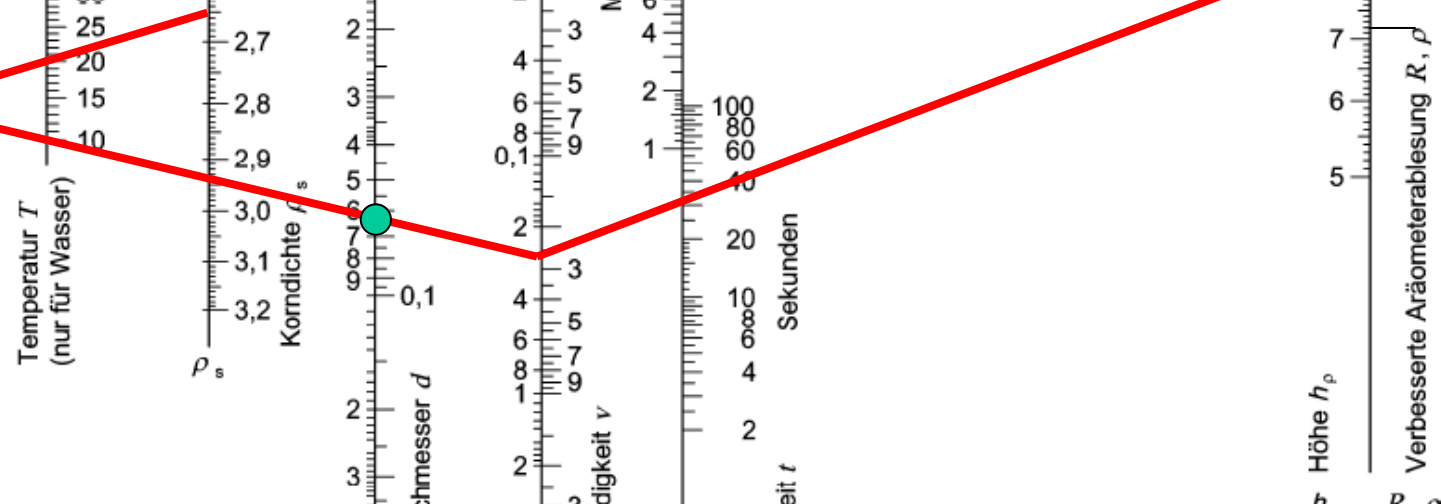
$$\sqrt{\frac{18,35 \cdot \eta \cdot v}{\rho_s - \rho_w}}$$



Höhe h_p

Verbesserte Aräometerablesung R, ρ

R, ρ



Aräometer- Fehlermöglichkeiten

- Auf dem Aräometerkörper sammelt sich etwas Sediment, was die Dichte der Suspension kleiner erscheinen läßt
- Durch das Einsetzen des Aräometers wird der Sedimentationsvorgang gestört (Verwirbelungen)
- Ablesefehler bei schneller Änderung der Dichte (grobe Korngrößen)

Proben / Gruppen

- Alle Gruppen HAM-12-1