

MudSim:

Numerische Simulation von Flüssigschlick

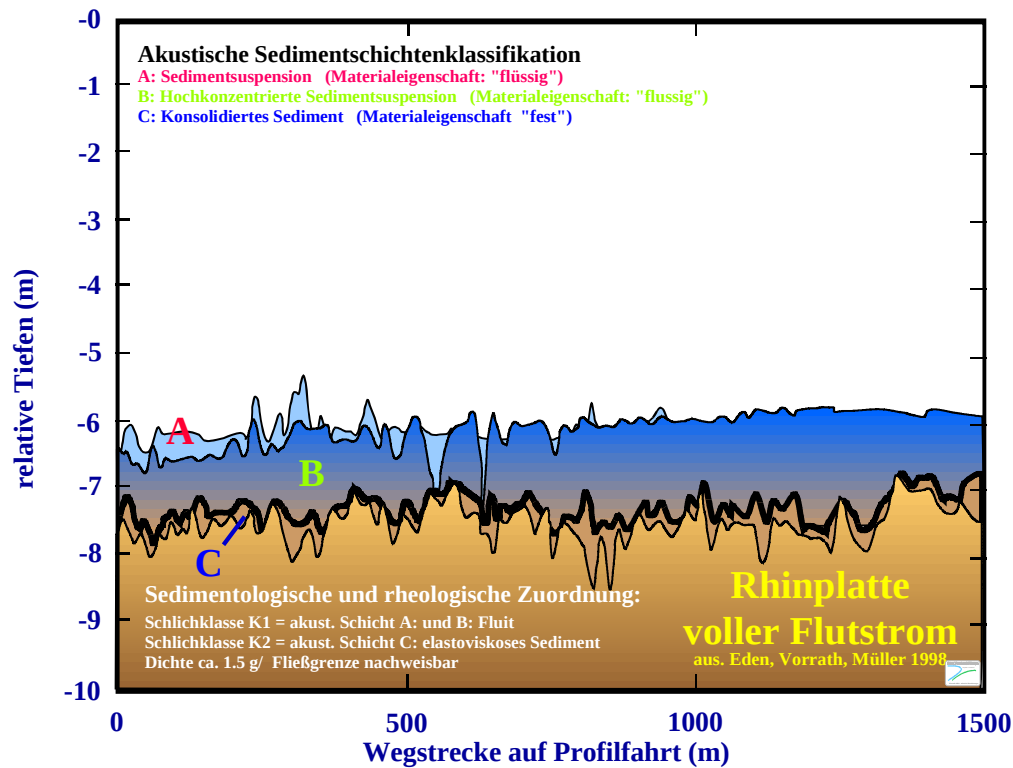
- Rheologische Untersuchungen und Parametrisierungen -
- Aufbau eines isopyknischen Modells –

Denise Knoch
Kristina Terheiden
Andreas Malcherek

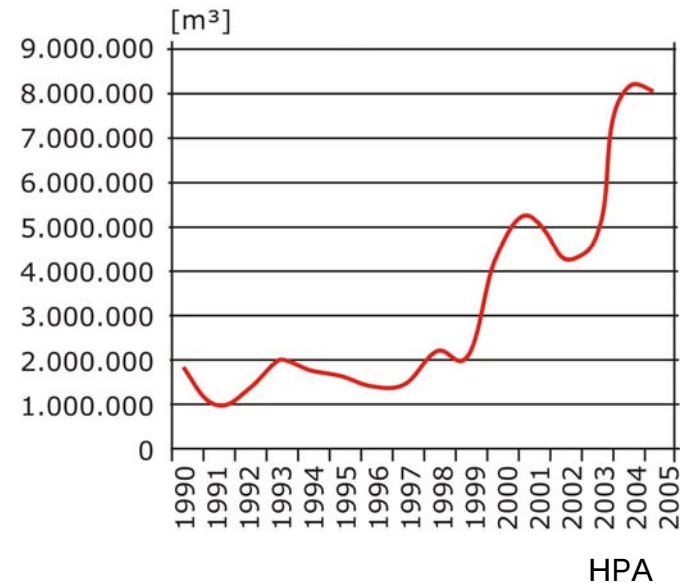
Quelle: WSA Emden

der Bundeswehr

Vorkommen in Ästuaren und Häfen



Baggermenge (Schlick-Sediment)



Vorkommen an Stränden (Cassino, Brasilien)

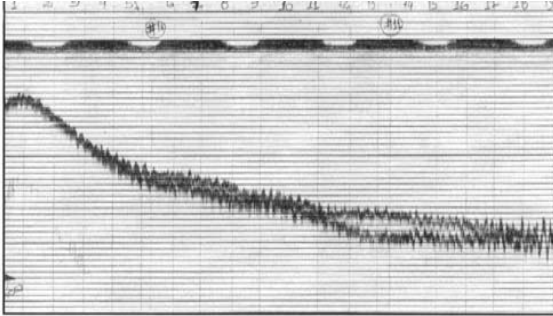
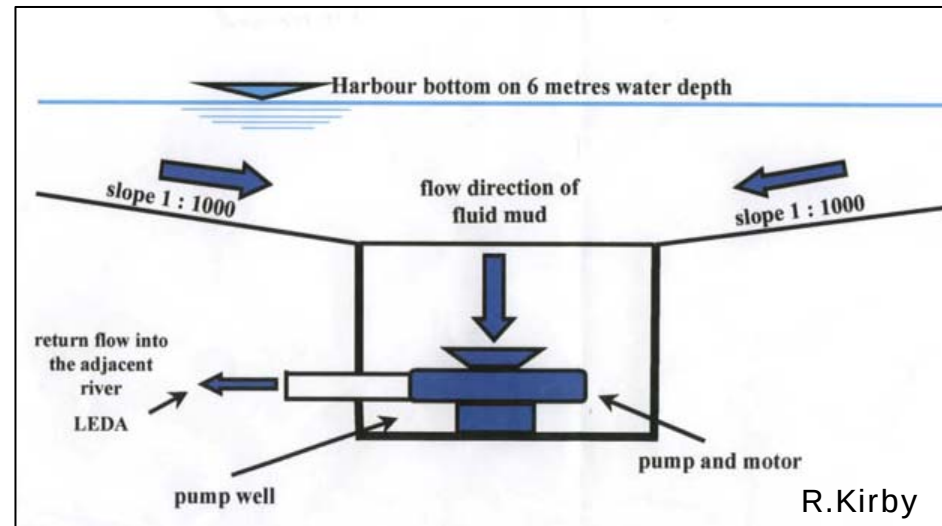


Fig. 24 - Ecograma do perfil da rua Bahia, onde se pode observar o bolsão de lama fluida encontrado. A linha de costa se encontra à esquerda. Escala vertical de 1:100, onde cada linha representa 20cm de profundidade.

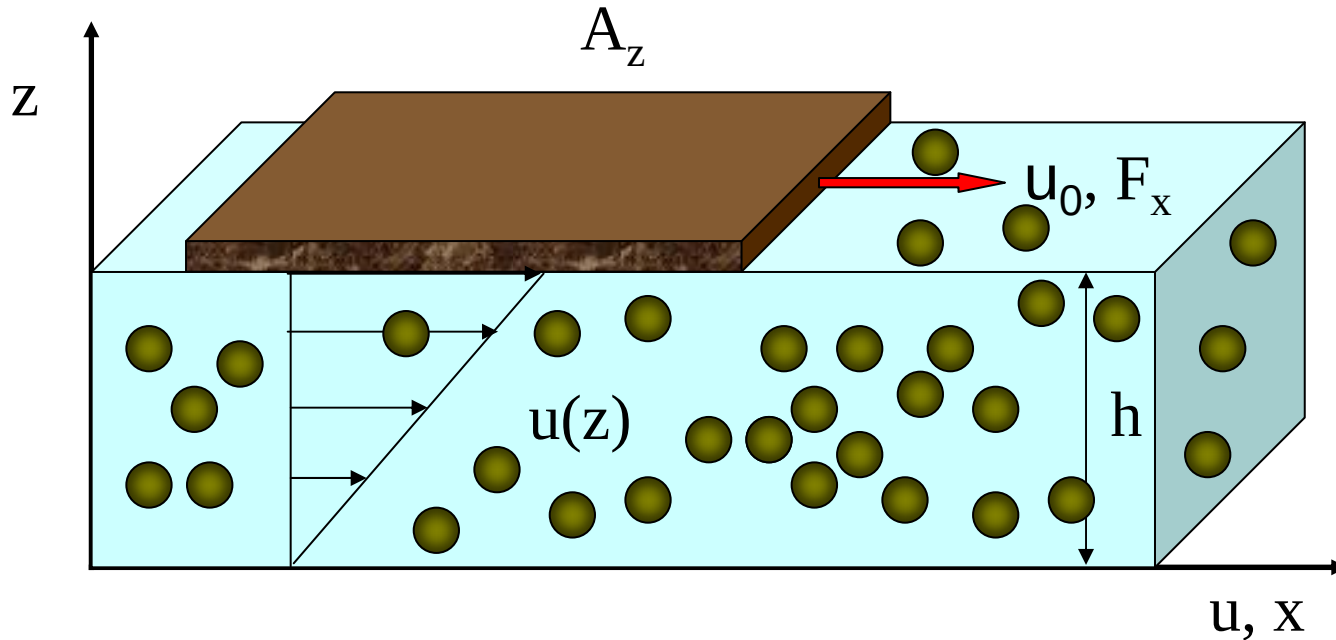


Ziel des MudSim-Projektes

- Erweiterung des Methodenrepertoires der HN-Simulation auf Flüssigschlick
- Erforschung der rheologischen Eigenschaften von Flüssigschlick
- Bestimmung der Parameter zur Beschreibung von Flüssigschlick
- Entwicklung einer Methode zur numerischen Simulation der Dynamik von Flüssigschlick
- Optimierung von Unterhaltungsmaßnahmen für Häfen und Ästuare



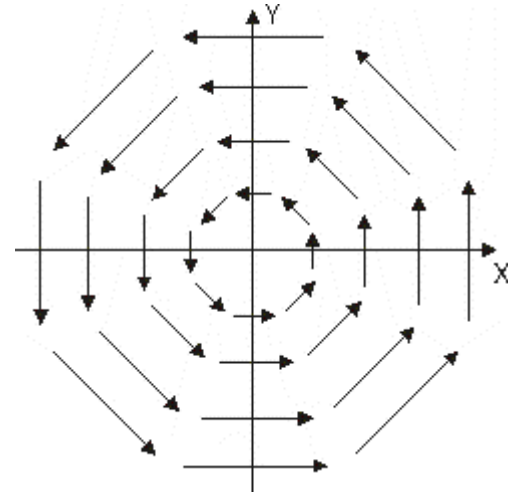
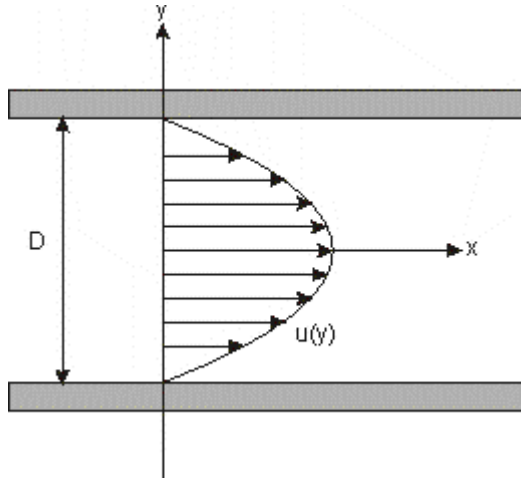
Die Grundfrage der Rheologie



Scherspannung: $\tau = \frac{F_x}{A_z}$

Scherrate: $\dot{\gamma} = \frac{u_0}{h} = \frac{\partial u}{\partial z}$

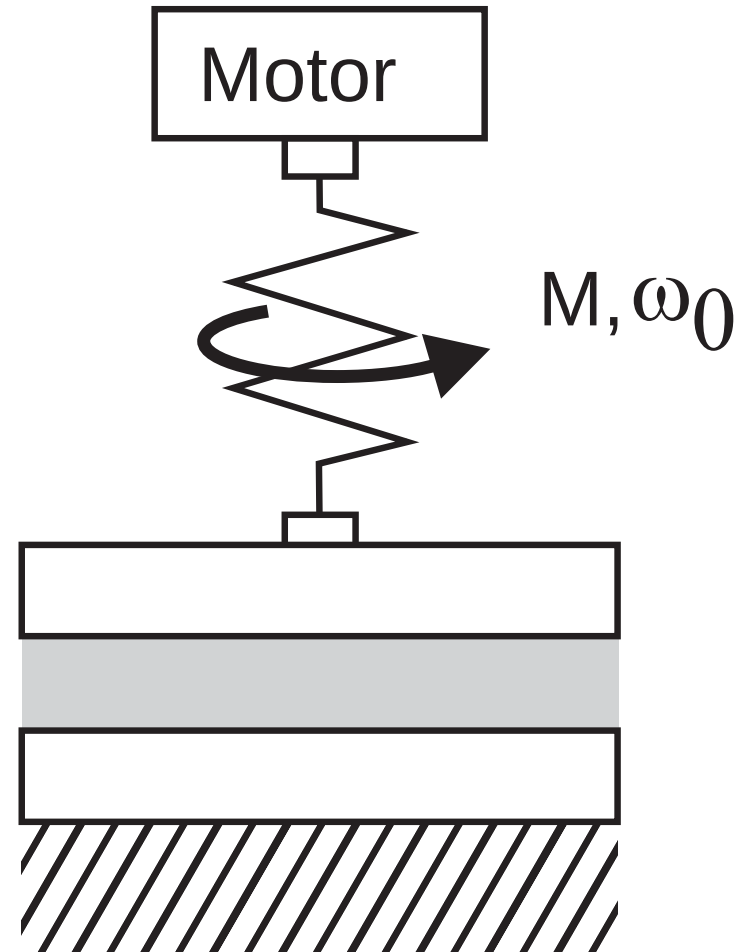
Warum Rheologie ?



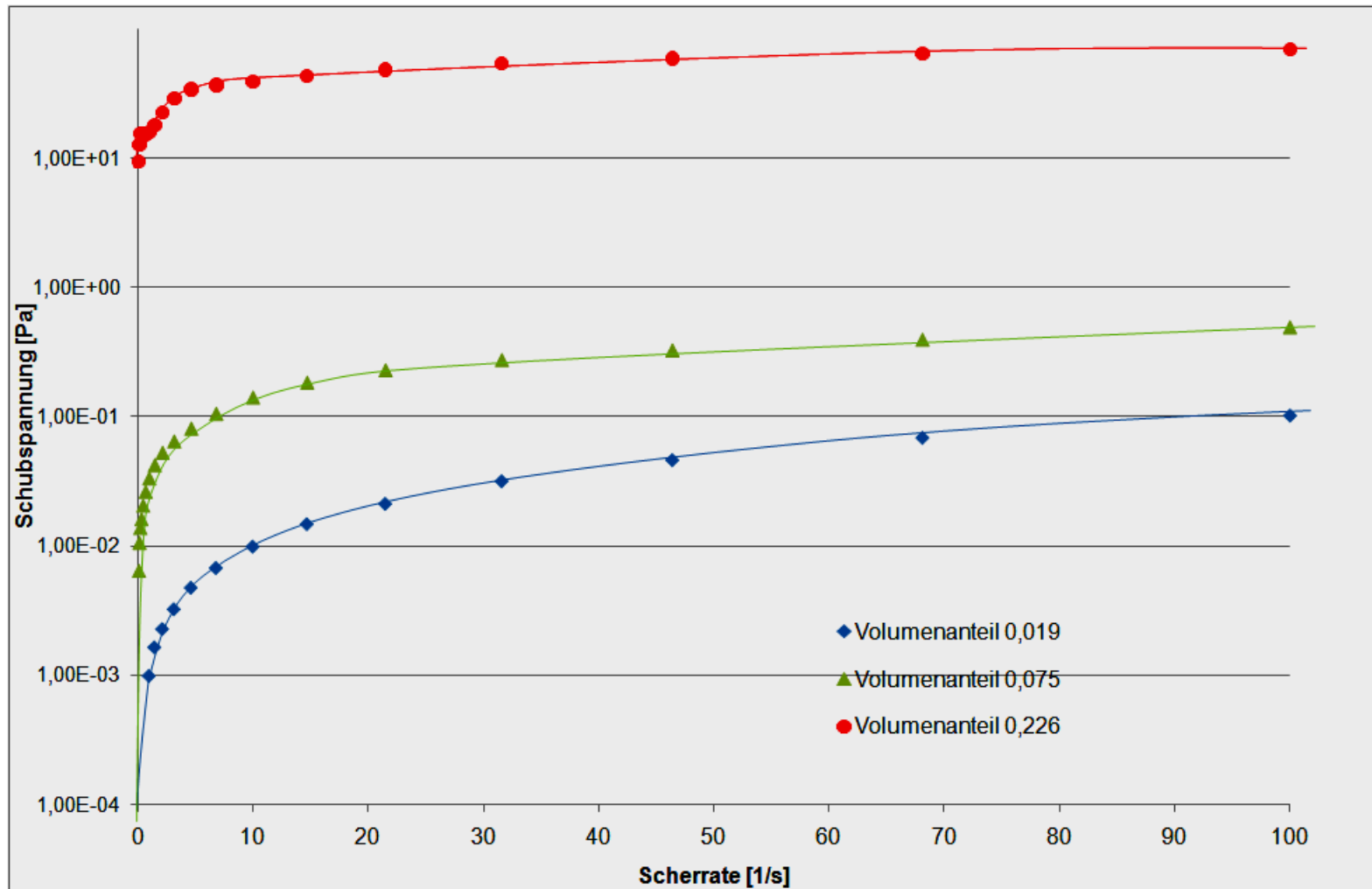
Energiedissipation pro Zeit: $P_{FF} = Fu_0 = \tau A_z u_0 = \mu_0 \frac{\partial u}{\partial z} A_z u_0$

Viskosität (molekulare, turbulente oder rheologische)
steuert kleinskalige und großskalige Energetik und damit die
vollständige Dynamik einer Strömung.

Das MCR 301 Rheometer



Rheologisches Verhalten von Kaolinit (Kaolin)



Dimensionsanalyse

$$\mu = \mu(d_i, \rho_s, n_i, \mu_0, \rho, kT, \dot{\gamma}, t, \text{Biologie, Chemie, ...})$$



Sediment Fluid Zustand

Vereinfachung: Harte Kugeln eines Durchmessers

$$\mu = \mu(d, \rho_s, n, \mu_0, \rho, kT, \dot{\gamma}, t)$$

Relative Viskosität: $\mu_r = \mu / \mu_0$

Feststoffanteil: $\phi = 1/3\pi d^3 n$

Relative Dichte: $\rho_r = \rho_s / \rho_0$

Rheologische Reynoldszahl: $Re = \rho_0 d^2 \dot{\gamma} / (4\mu_0)$

Rheologische Pecletzahl: $Pe = 3/4\pi\mu_0 d^3 \dot{\gamma} / kT$

Rheologische Zeit: $t_r = 8tkT / (\mu_0 d^3)$

Der Einfluss des Feststoffgehalts

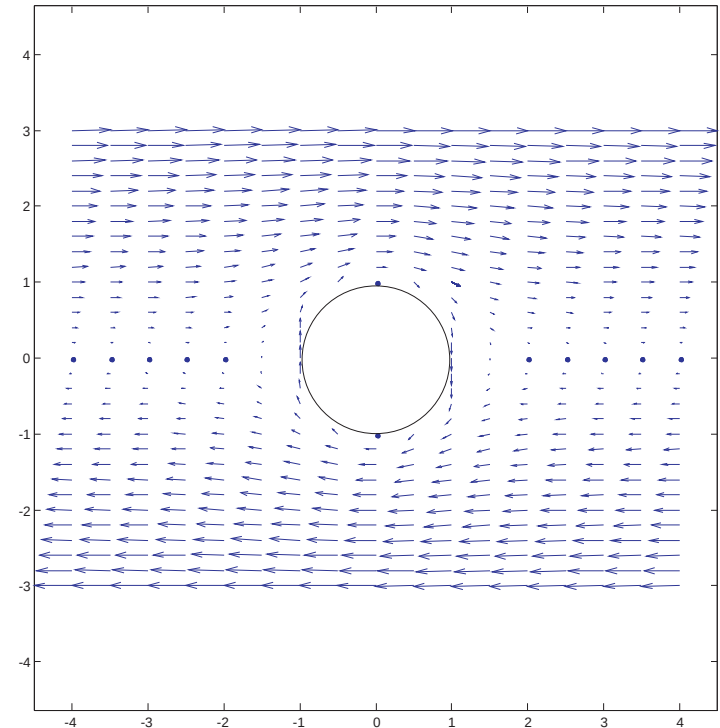
Einstein (1906): $\mu_r = 1 + \frac{5}{2}\phi$

Batchelor (1977):

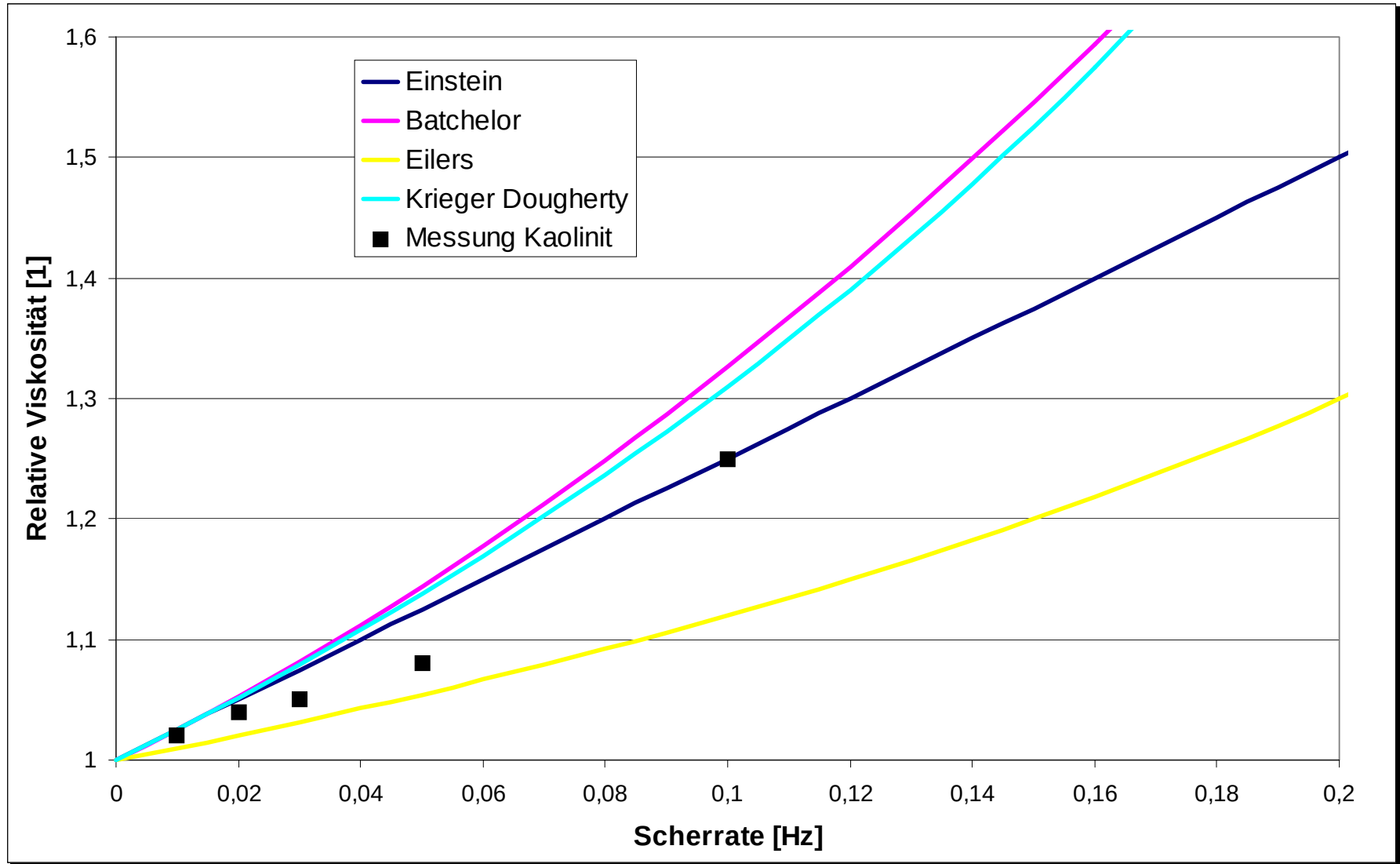
$$\mu_r = 1 + \frac{5}{2}\phi + 7.6\phi^2$$

Eilers (1941):

$$\mu_r = \left(1 + \frac{1}{2} \frac{2.5\phi}{1 - \phi / \phi_{\max}} \right)^2$$

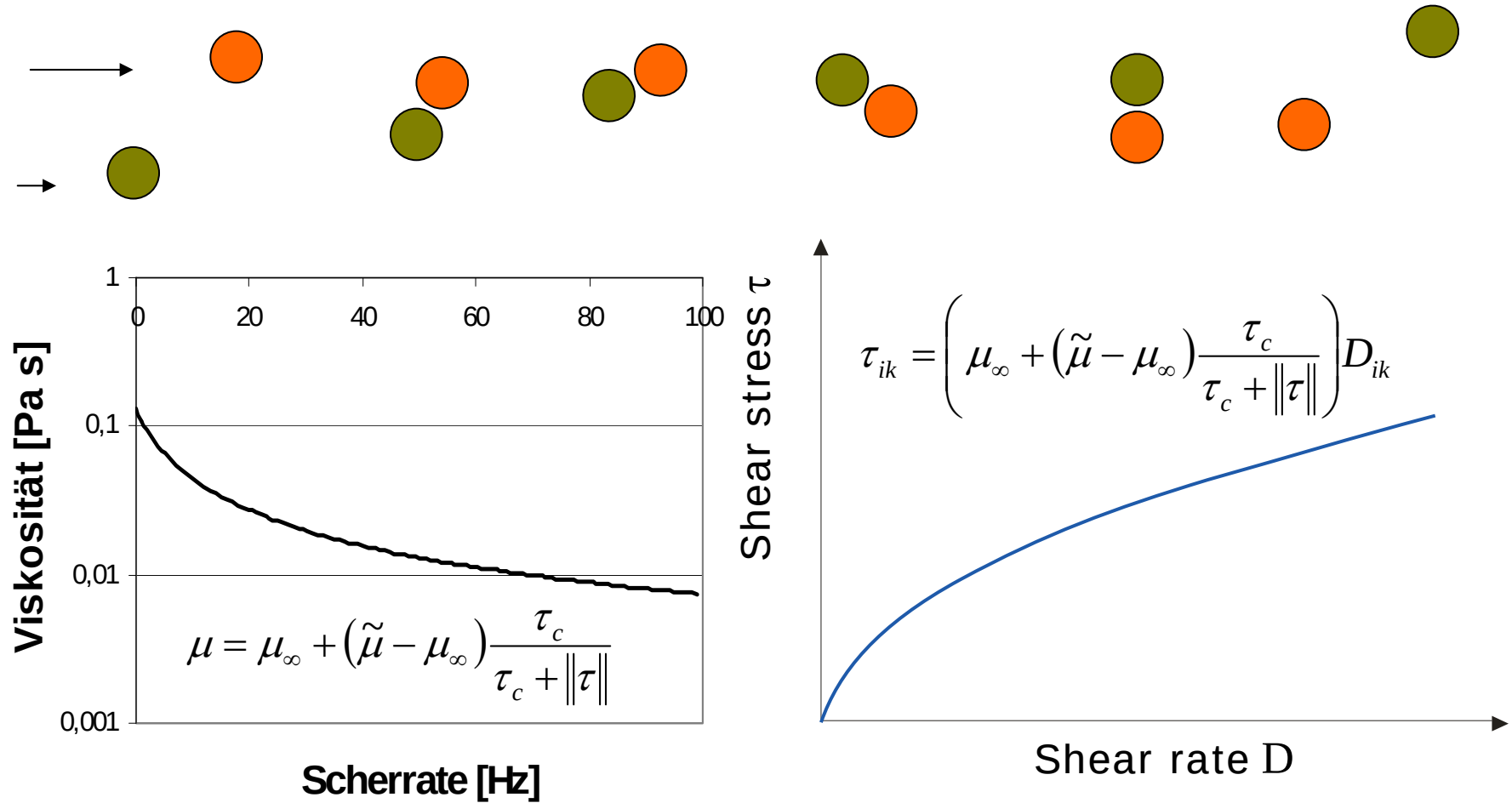


Der Einfluss des Feststoffgehalts



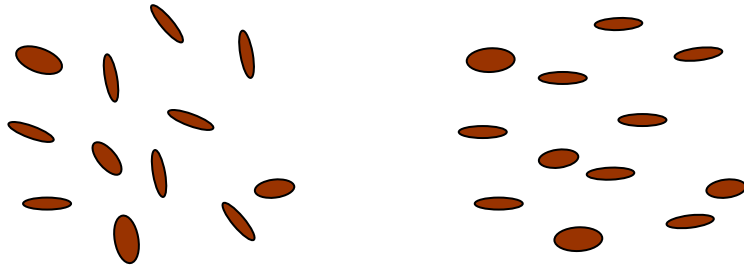
Der Einfluss der Scherrate

Krieger-Dougherty(1959):



Strukturviskosität jenseits der harten Kugel

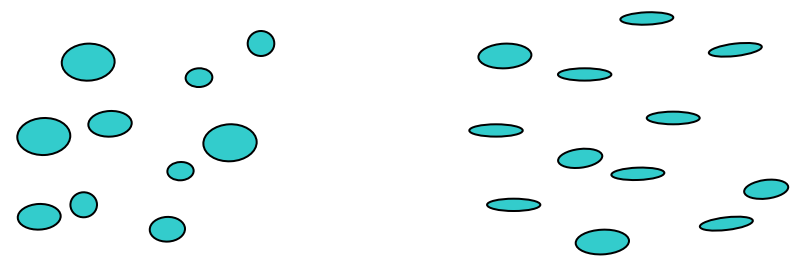
Orientierung



ohne

mit Scherströmung

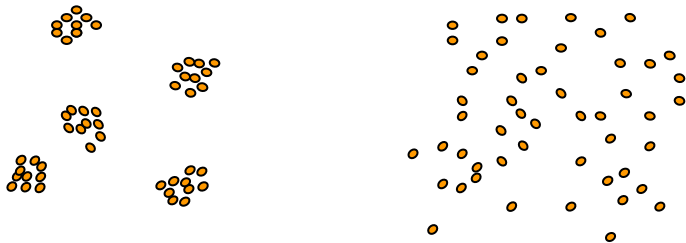
Formänderung



ohne

mit Scherströmung

Aufbrechen von Aggregaten



Streckung von Fasern

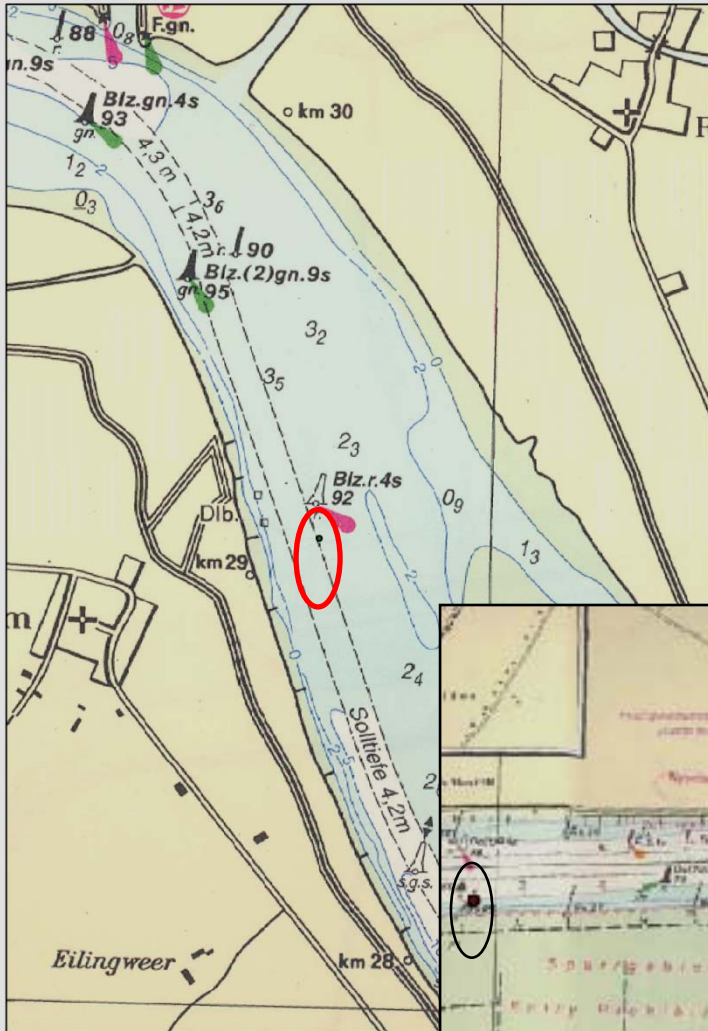


thixotrophe Materialien

Probennahme in Weser und Ems

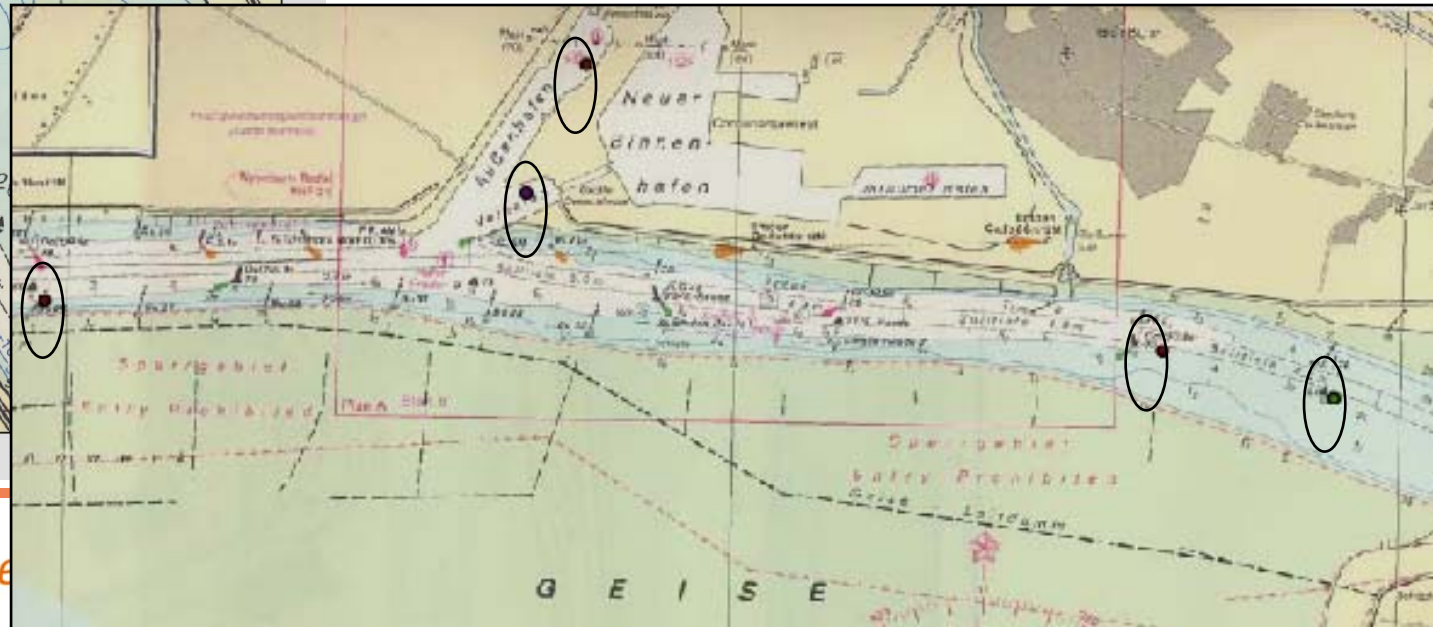


Probeorte in der Ems



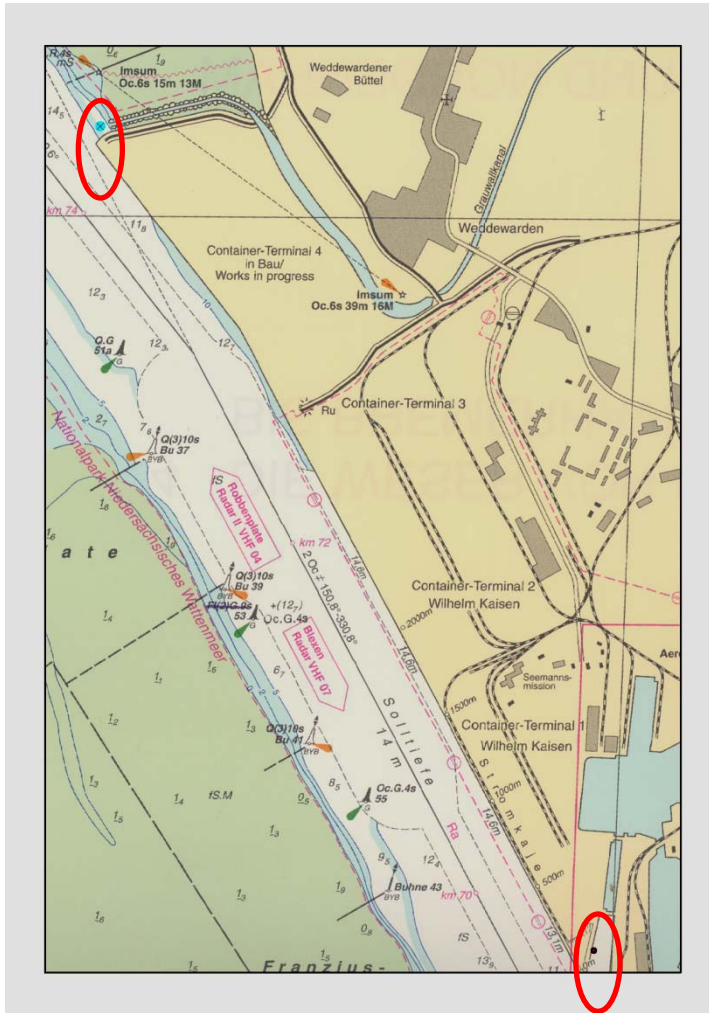
Meßstelle: Ems 1

Meßstelle: Ems 2-6

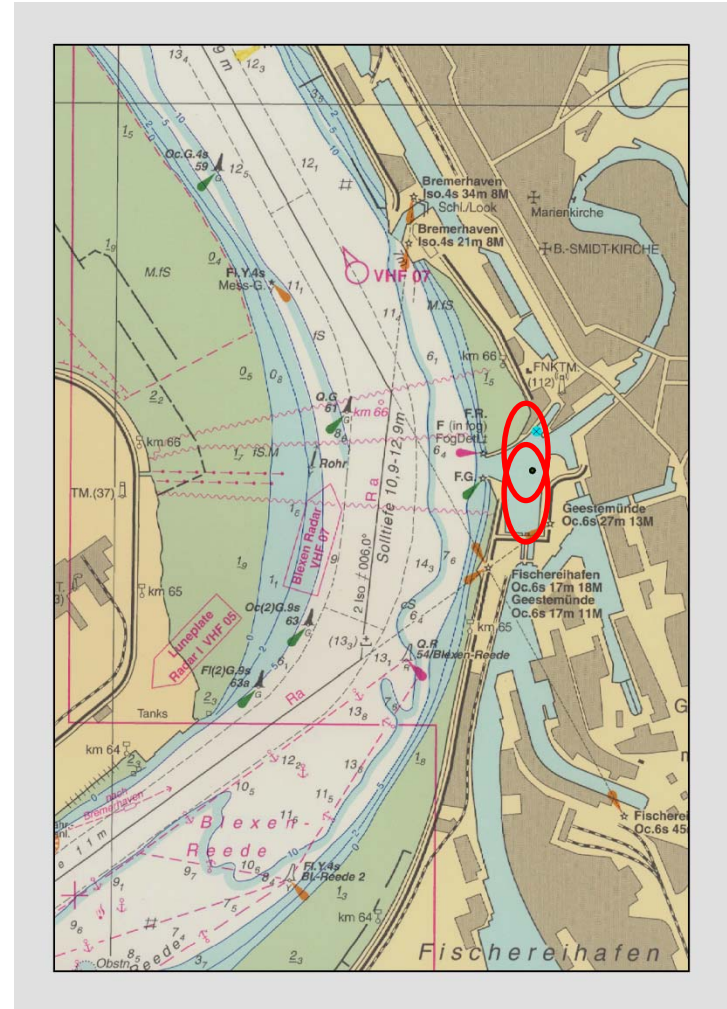


Probeorte in der Weser

Meßstelle: Weser 1 und 2



Meßstelle: Weser 3 und 4



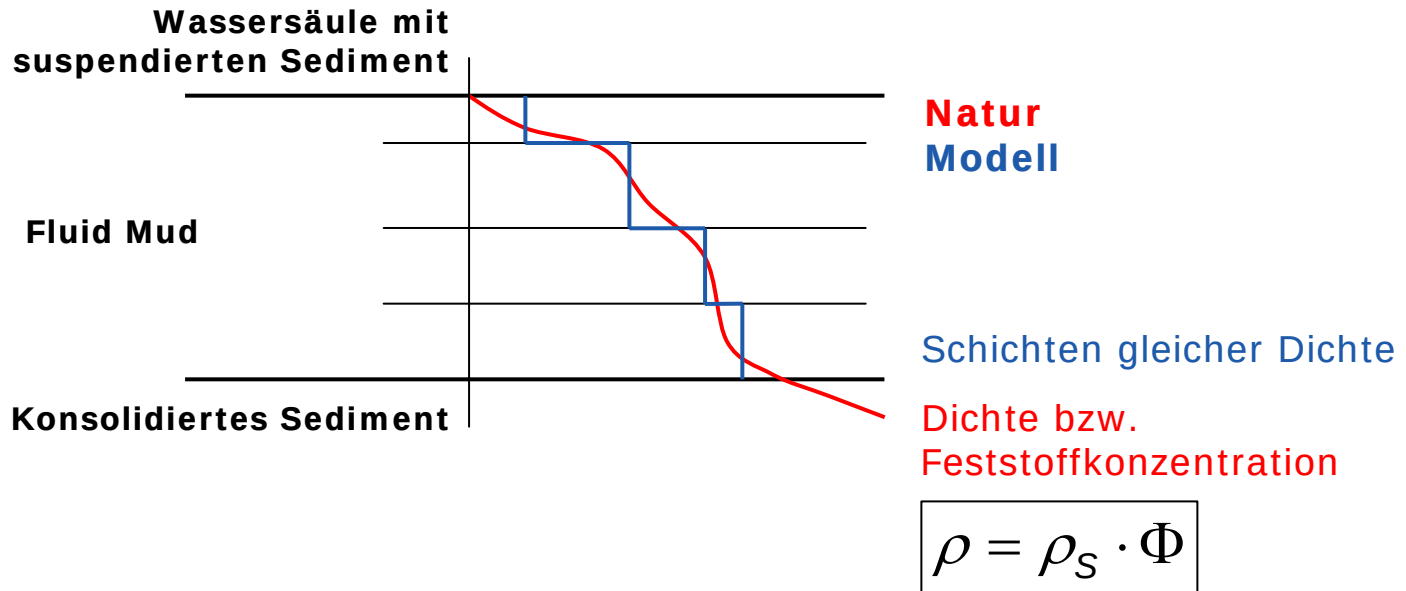
Analyseprogramm der Proben

- Selektion (Ausschlämmen) der Feinfraktion
- Bestimmung der (verbleibenden) Korngrößenverteilung
- Bestimmung der Sedimenttrockendichte
- Erstellen von Suspensionen verschiedenen Feststoffgehalts
- Rheometrie

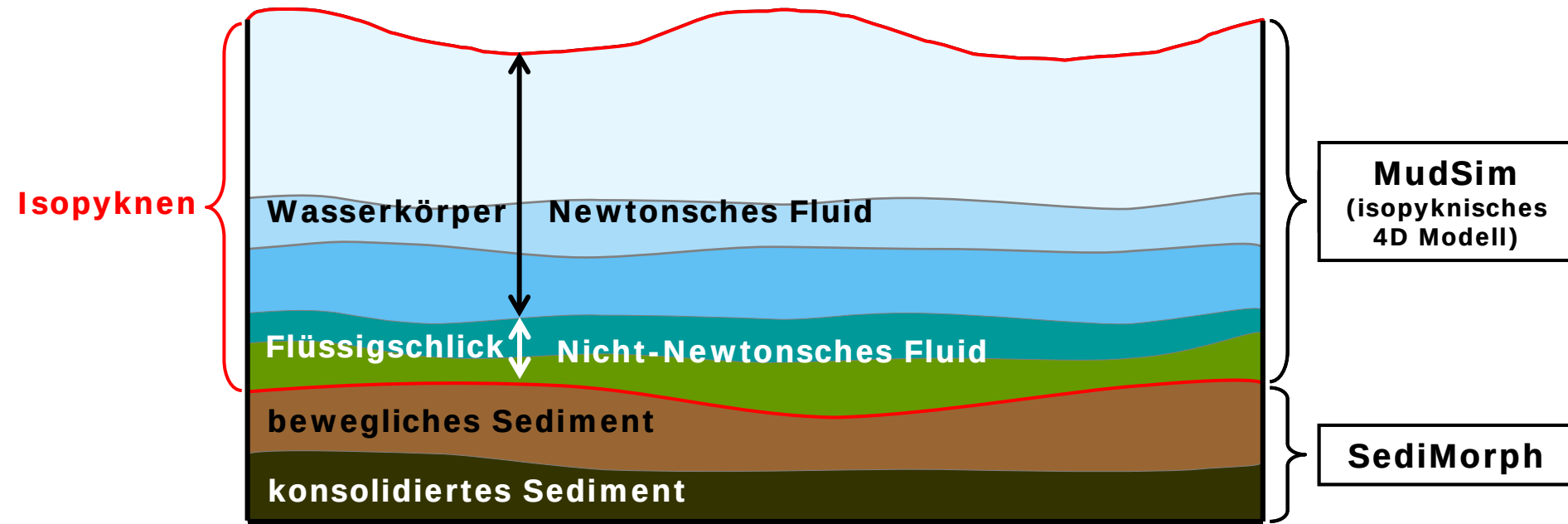


Wichtigste Annahmen für die numerische Simulation

- Dichte ist charakterisierender Parameter für das rheologische Verhalten von Flüssigschlick
- Annahme einer stabilen Schichtung

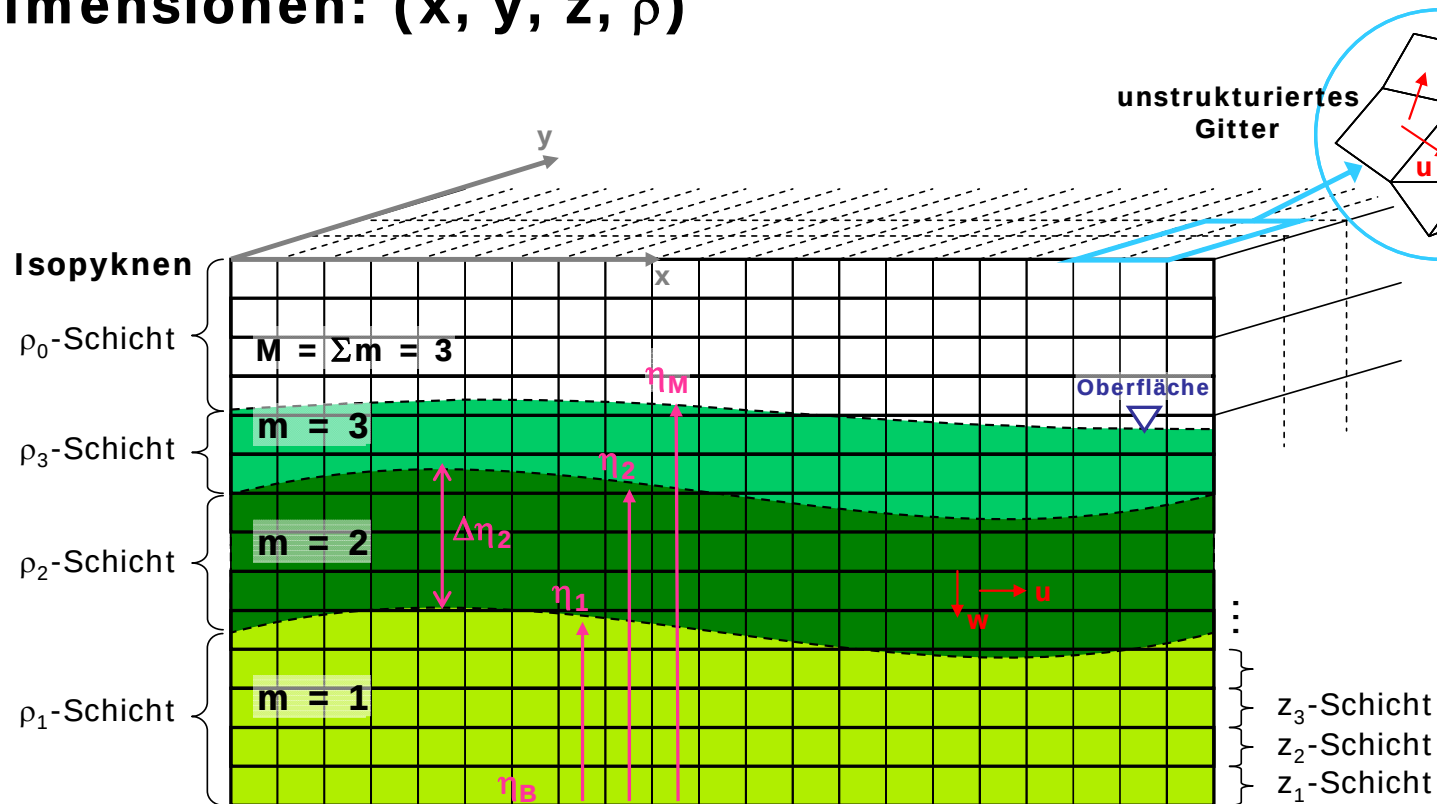


Schematische Darstellung des isopyknischen MudSim-Modells



Das Isopyknische HN-Modell (Casulli 2003)

Dimensionen: (x, y, z, ρ)



- m Isopyknische Schicht
- η Höhe der Isopyknenoberkante
- $\Delta\eta_k$ Schichtdicke der Isopykne
- u, v, w Geschwindigkeitskomponenten
- ρ Dichte

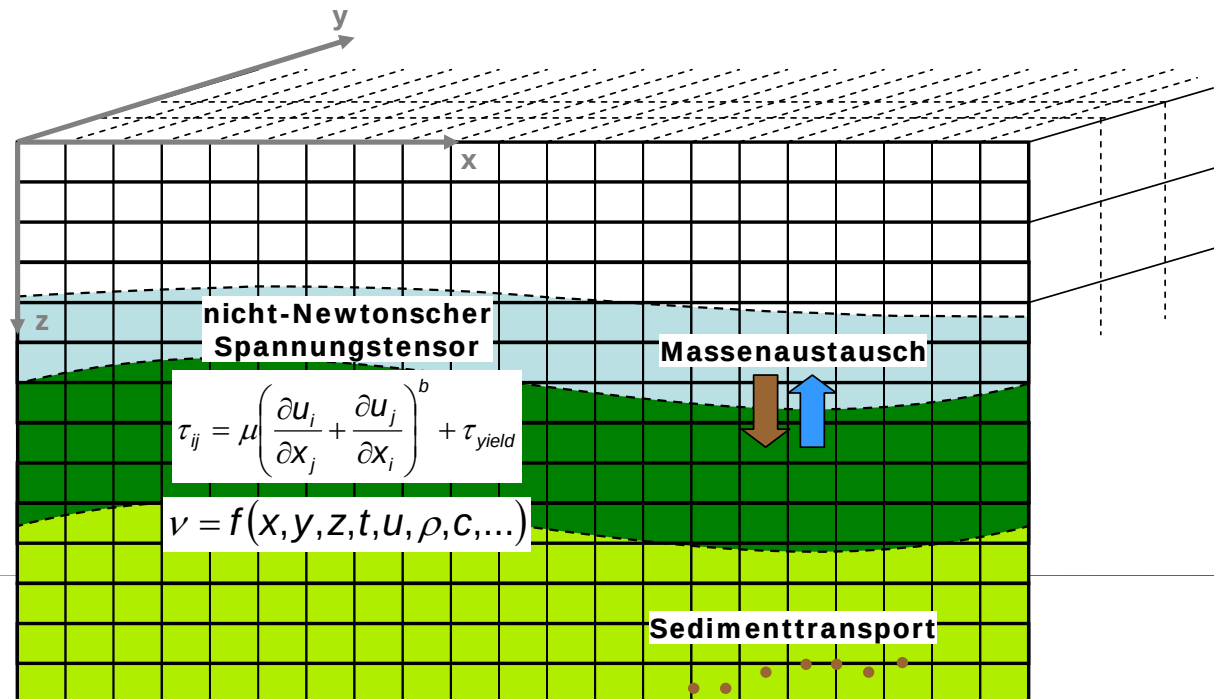
Erweiterung des isopyknischen Modells

isopyknisches Modell (Casulli, 2003)

- Newtonsches Fluid
- kein Massenaustausch zwischen isopyknischen Schichten

Fluid-Mud-Modell MudSim

- Integration des nicht-Newtonschen Spannungstensors (variable Viskosität)
- Integration von Feststofftransport
- Massenaustausch zwischen isopyknischen Schichten

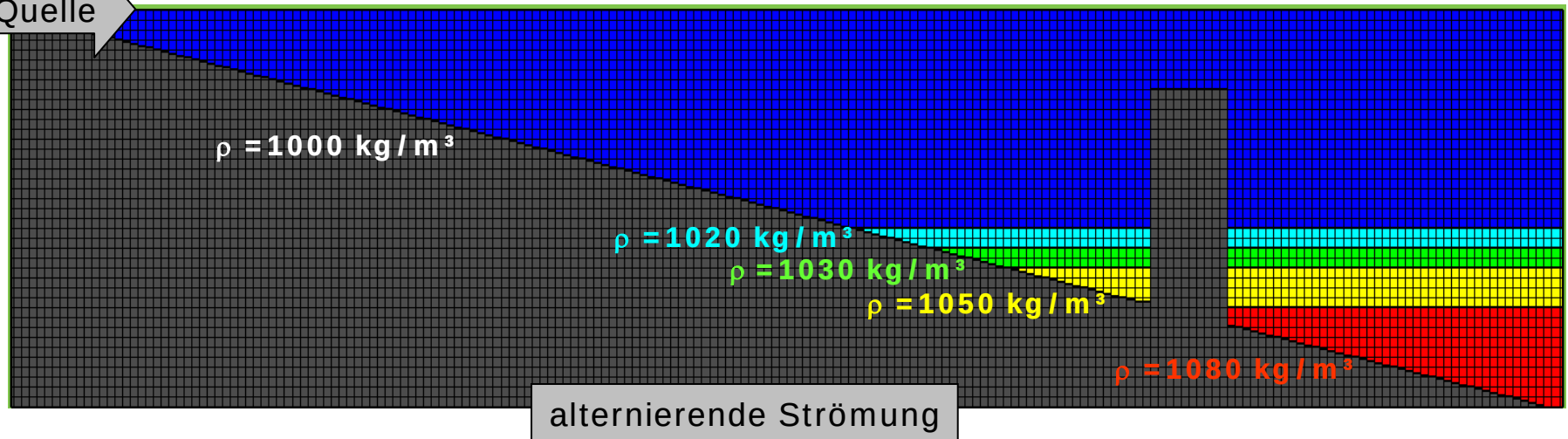


Testfall: Strömung entlang eines Hangs

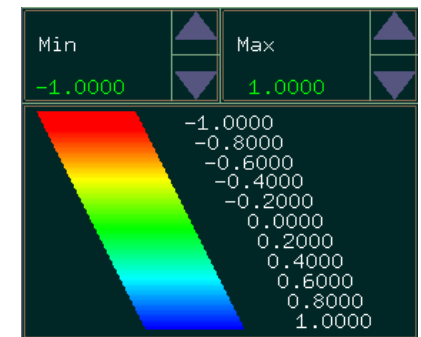
Isopykne 2 und 3

Längsschnitt

Quelle



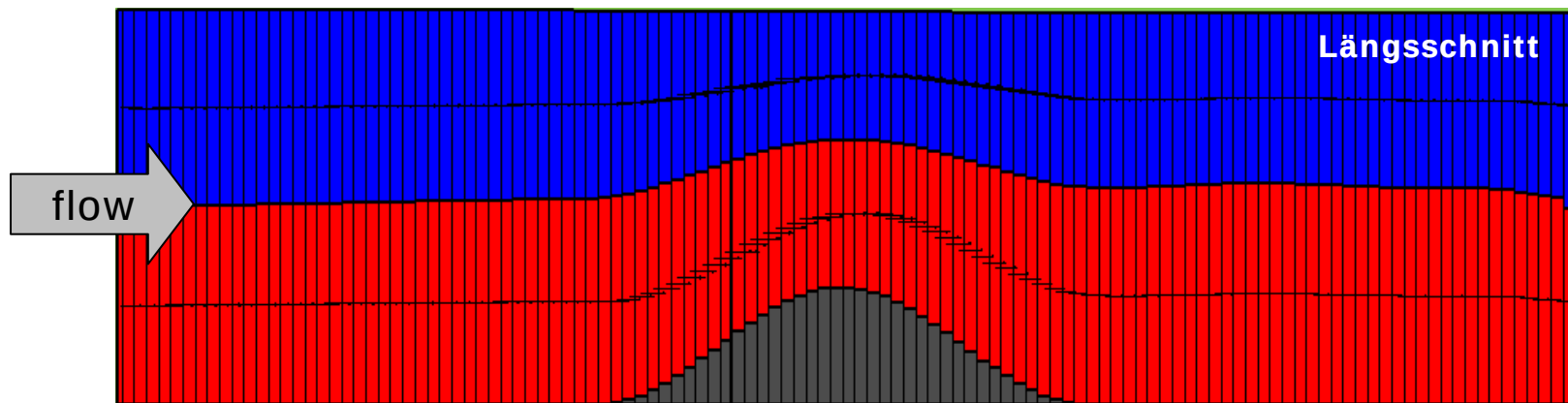
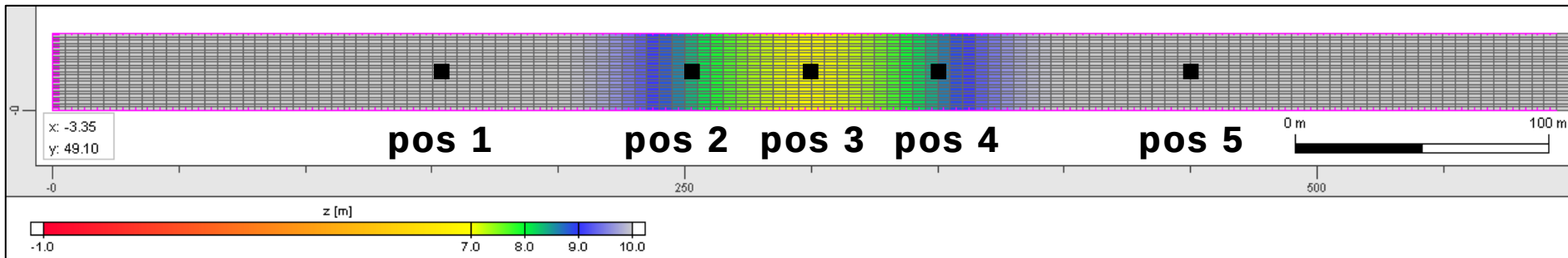
Höhe der Isopyknenoberfläche



der Bundeswehr

Validierungsbeispiel: Überströmen einer Sohlschwelle

Draufsicht

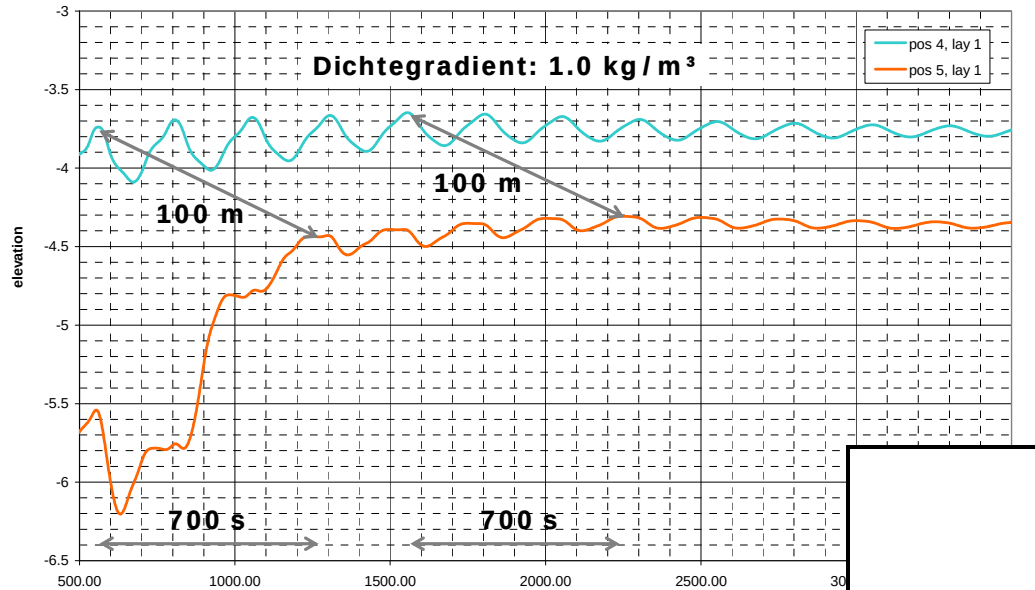


- 2 Isopyknen
- Viskosität in Abhängigkeit von der Dichte/Feststoffgehalt
- Simulationen mit unterschiedlichen Dichtegradienten

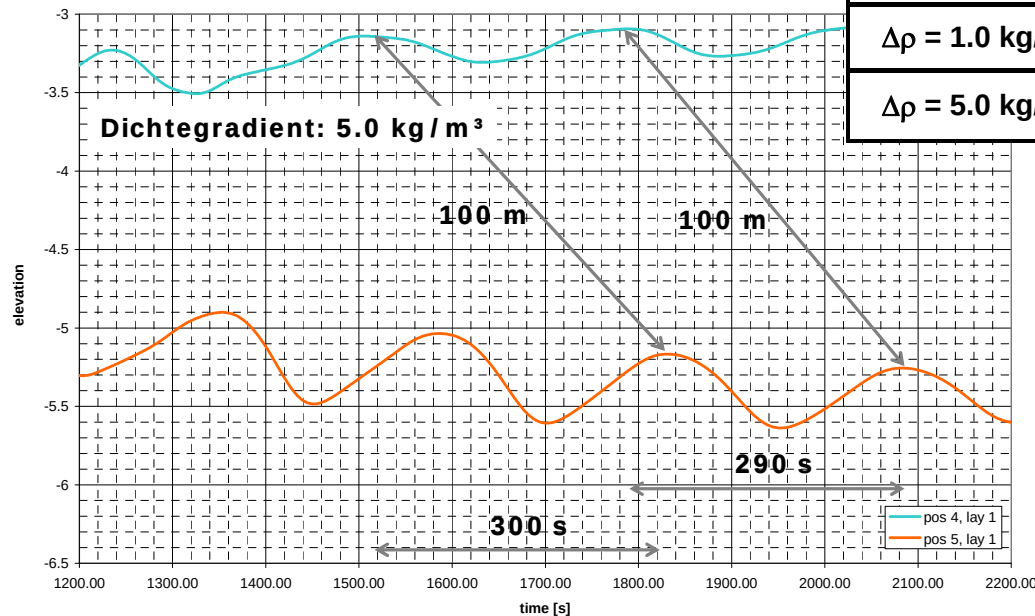
Phasengeschwindigkeit

Phasengeschwindigkeit
für geschichtete Strömung:

$$c = \sqrt{\frac{g \cdot h_{fm} \cdot h_w (\rho_{fm} - \rho_w)}{h_{fm} \cdot \rho_{fm} + h_w \cdot \rho_w}}$$



				Phasen-geschwindigkeit [m/s]		Abweichung [%]
	Zeit [s]	Δx [m]	Δt [s]	analytische Lösung	Modell-ergebnis	
Δρ = 1.0 kg/m ³	1900	100	700	0.149	0.143	4.1
	2150	100	700	0.149	0.143	4.1
Δρ = 5.0 kg/m ³	1650	100	300	0.308	0.333	8.1
	1950	100	290	0.346	0.345	0.4



Position 4

Position 5

Ausblick

- Rheologie und Turbulenz
- Hafenmodell
- Einbindung des Feststofftransports in MudSim
- Massenaustausch zwischen Isopyknen
- Seminare:
 - Die Cauchygleichungen (April 2008)
 - Modulare Programmierung (November 2008)
 - Rheologie granularer Suspensionen (Febr. 2009)

Quelle: WSA Emden