

7. Kolloquium des Forschungszentrum Küste

In-situ Messungen und numerische Simulation des Verhaltens von Flüssigschlick

Andreas Wurpts

Hannover, 26. März 2009

Zusammensetzung und Eigenschaften von Flüssigschlick

- **Materielle Zusammensetzung**
- **Organische Einflüsse**
- **Dynamisches Verhalten**

Messungen der Dynamik von Flüssigschlicksuspensionen

- **Geschichtete Strömungen**
- **Zeitliche Variation**
- **Rheologische Parameter**

Ansatz zur numerischen Simulation

Fragestellung und Relevanz

Die Flüssigschlickdynamik in den deutschen Tideästen hat sich infolge der fortwährenden Vertiefungen der Fahrrinnen z. T. erheblich verändert.

- Die zu beobachtenden Schwebstoffkonzentrationen liegen z.T. mehrere Größenordnungen oberhalb der ursprünglichen Werte
- Das fluidmechanische Verhalten weicht von dem reinen Wassers ab
- Die Detektion der nautischen Sohle ist mit klassischer Technik nicht möglich

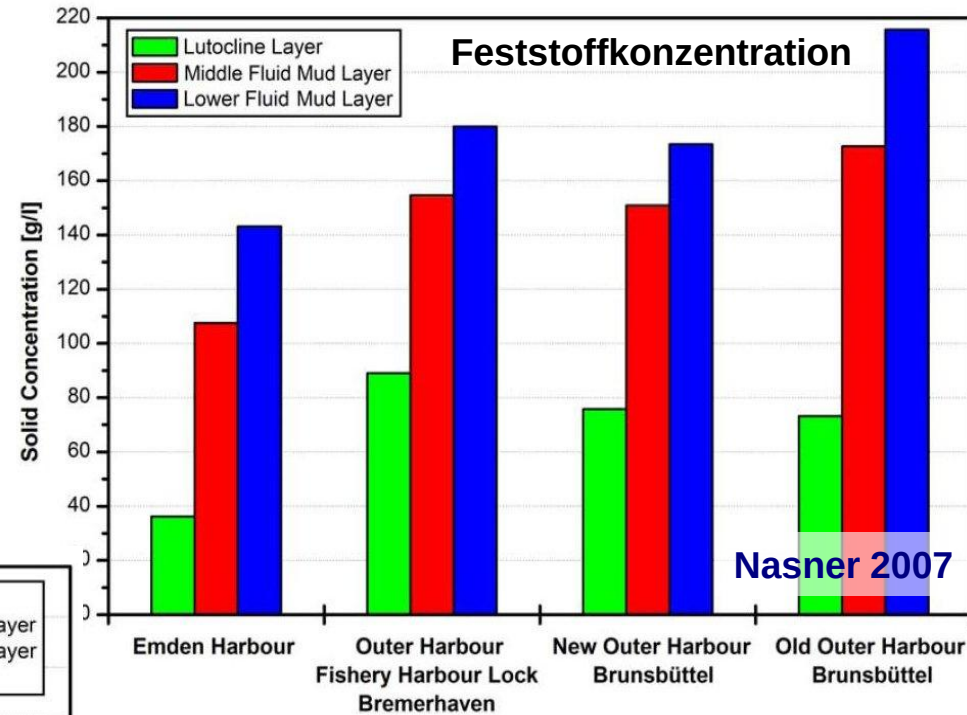
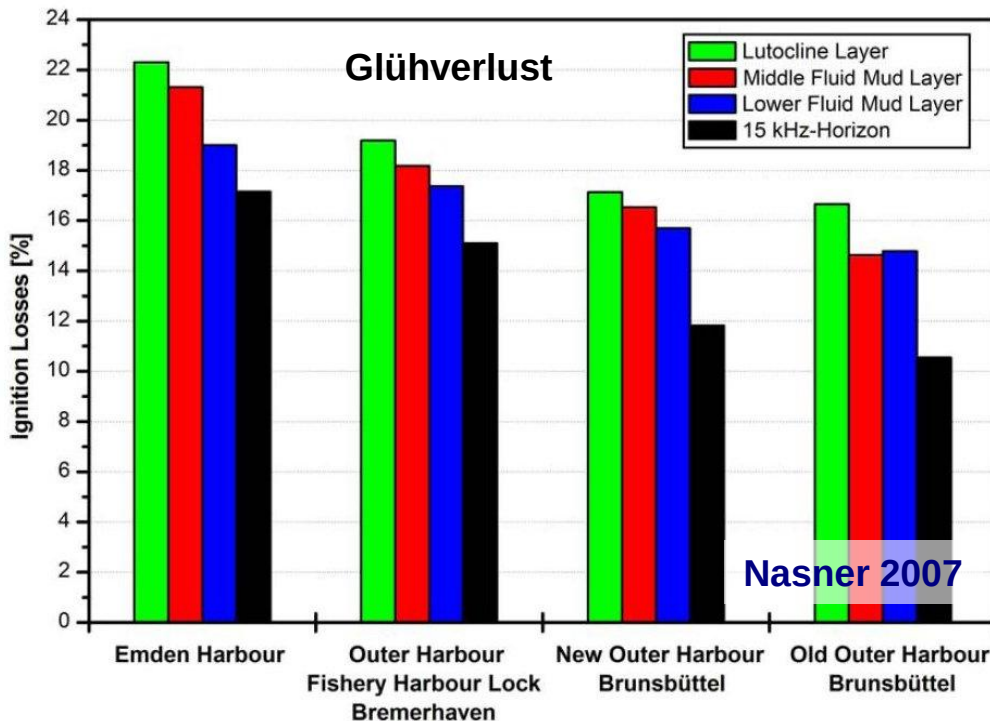
→ Anpassung von

- a) Unterhaltungsstrategien
- b) Numerische Simulationswerkzeugen



Materielle Zusammensetzung

- Tonminerale
- Organische Beimengungen
- Feinsedimente (Silikat)
- Gasförmige Stoffwechselprodukte (z.B. Methan)

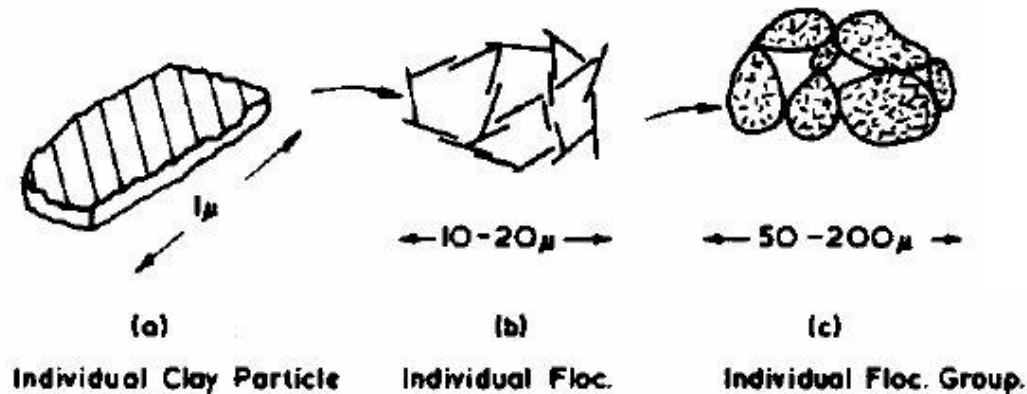


Der Anteil der biogenen Einflüsse variiert zwischen Fluß und Hafen

- Glühverlust
- EPS Anteil

Grundbestandteil von Flüssigschlick – Kohäsive Feinstsedimente

Elektrostatische Kräfte führen zu Partikel-Partikel Wechselwirkungen

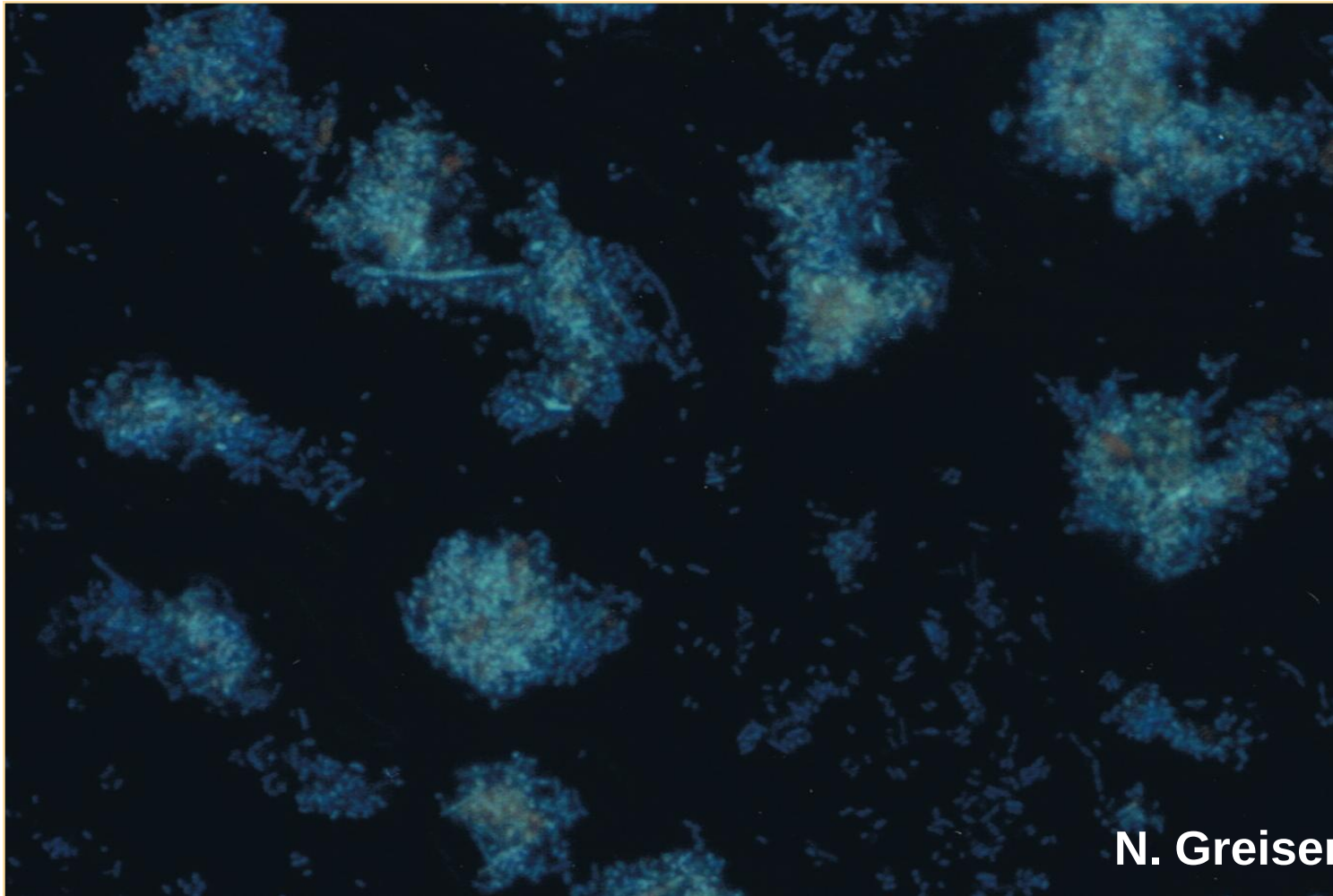


Im suspendierten Zustand:

- Flockenbildung
 - Aggregatbildung (auch durch biogene Einflüsse)
- > Beeinflussung des Absinkverhaltens, pseudo-plastische Eigenschaften

Aggregatbildung in Suspension

Mineralische Partikel mit angelagerten Bakterien

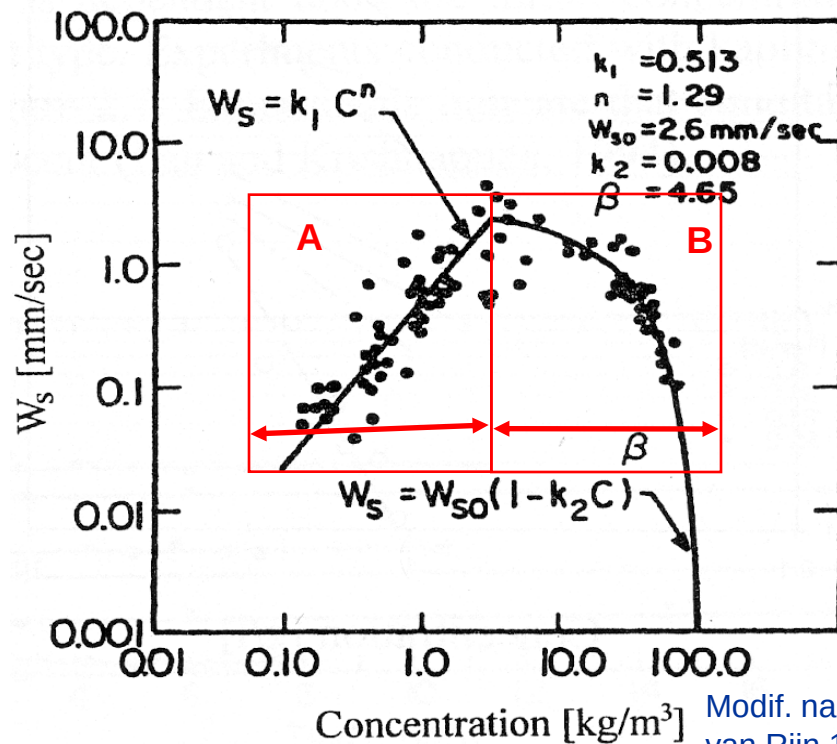


N. Greiser

Dynamische Eigenschaften der Suspension - Absinkverhalten

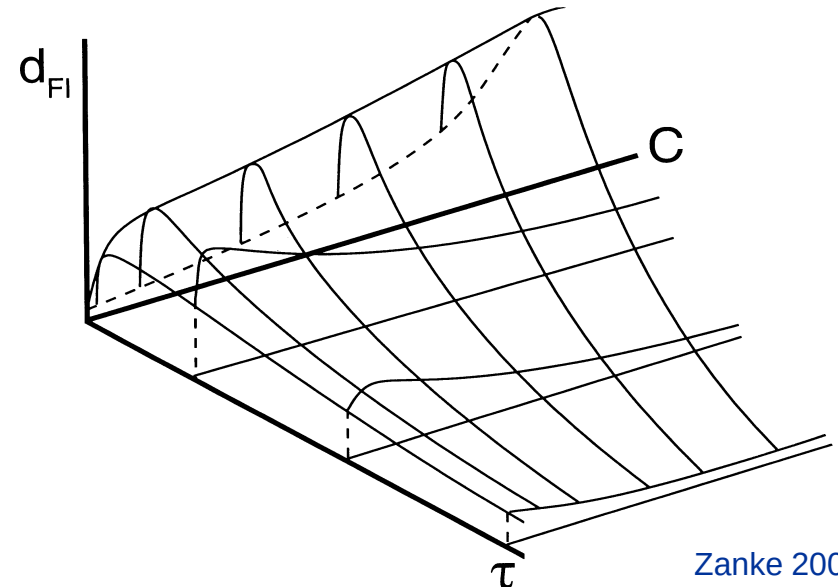
Flocken- und Aggregatbildung bewirken

- Konzentrationsabhängig steigende Sinkgeschwindigkeiten
- Reduzierte Sinkgeschwindigkeiten bei hohen Konzentrationen



A = range of
floc growth

B = range of
hindered settling



Zanke 2001

Modif. nach
van Rijn 1993

Dämpfung turbulenter Austauschprozesse an Dichtesprüngen

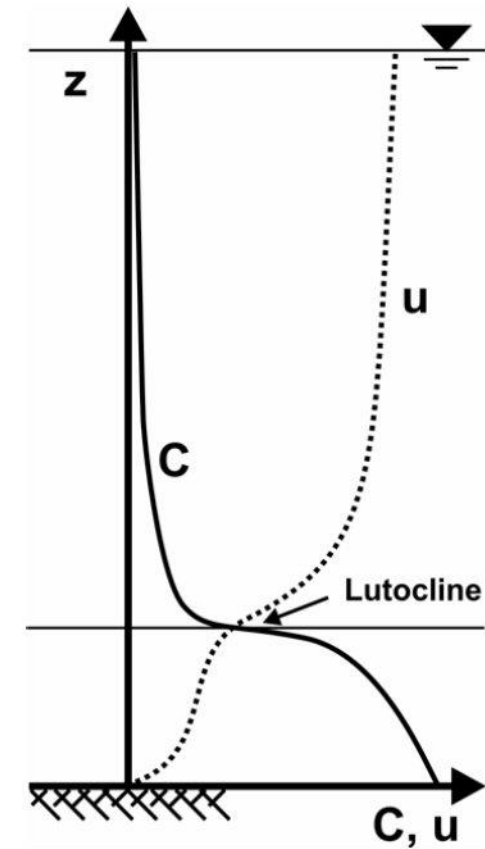
Betrifft

- turbulenten Impulsaustausch
- turbulenten Stoffaustausch

Bewirkt die 'Entkopplung' der Schichten unterschiedlicher Dichte voneinander

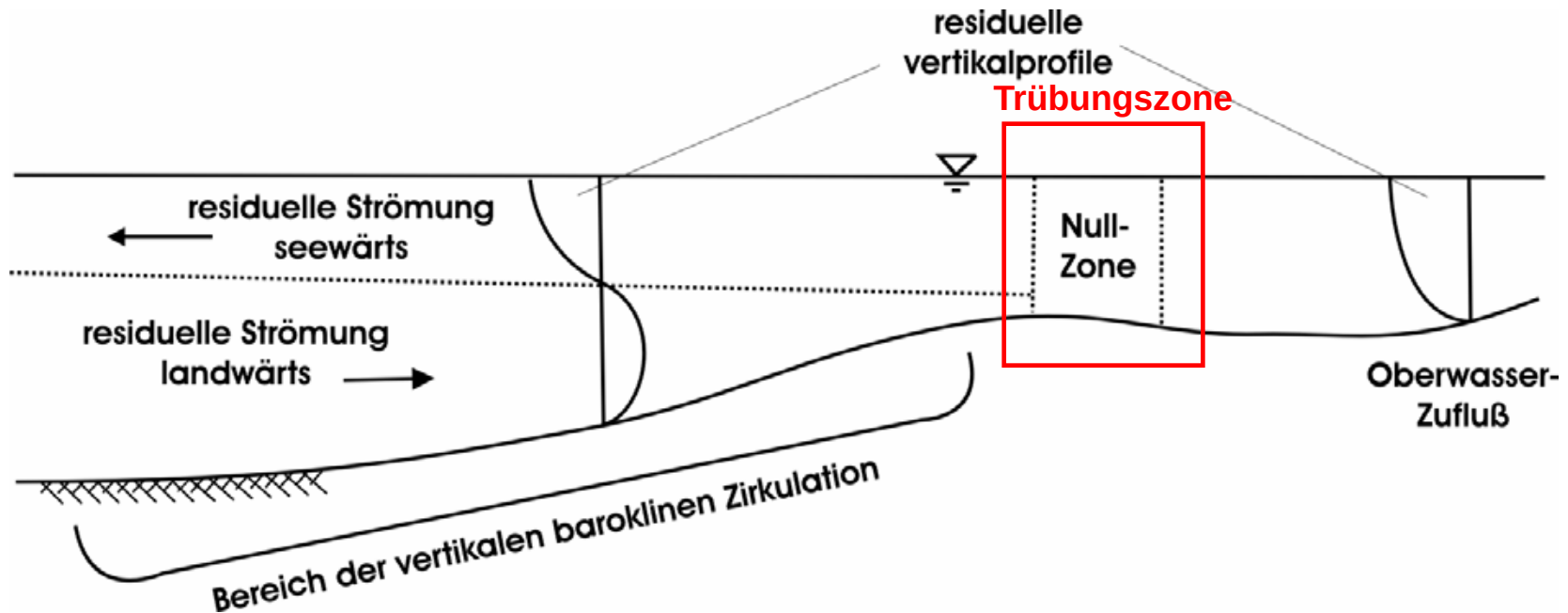
Auswirkung:

- Turb. Impulsaustausch: Eigendynamik von Dichteströmen
- Turb. Stoffaustausch: Stabilisierung von geschichteten Strömungen, Bildung von Lutoklinen
- großräumig: Barokline Zirkulation



Entstehung und Eigenschaften von Flüssigschlick: Trübungszone

Wesentlicher großräumiger Prozess:
Barokline Zirkulation

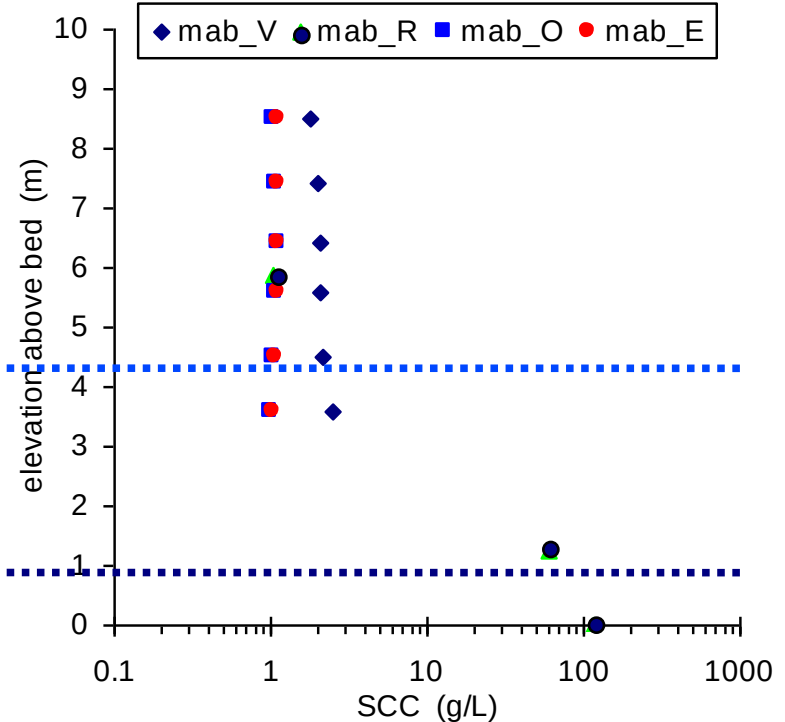
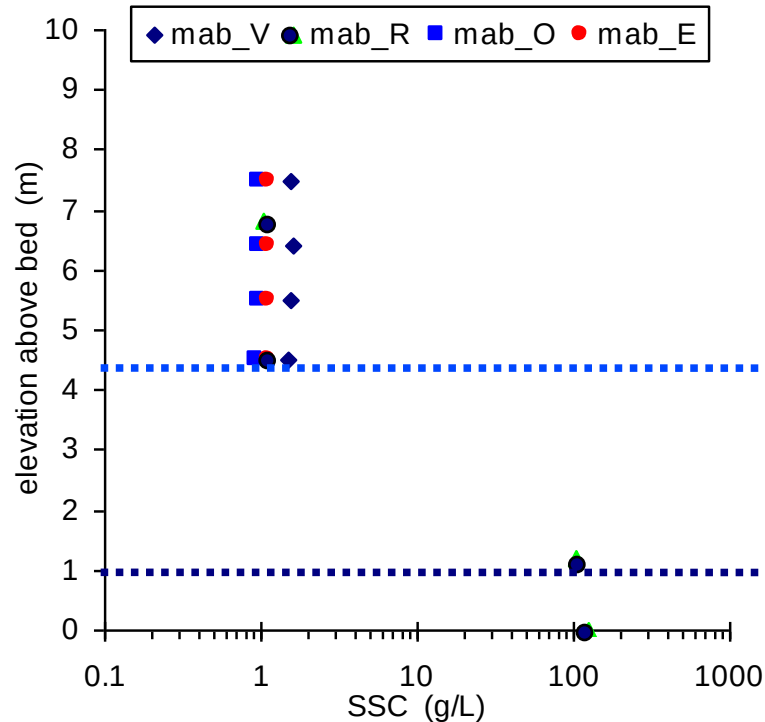


- Geschichtete Verhältnisse begünstigen die Bildung von Flüssigschlick
- Flüssigschlick verstärkt die Tendenz zu geschichteten Zuständen

Vertikalprofile der Suspensionskonzentration

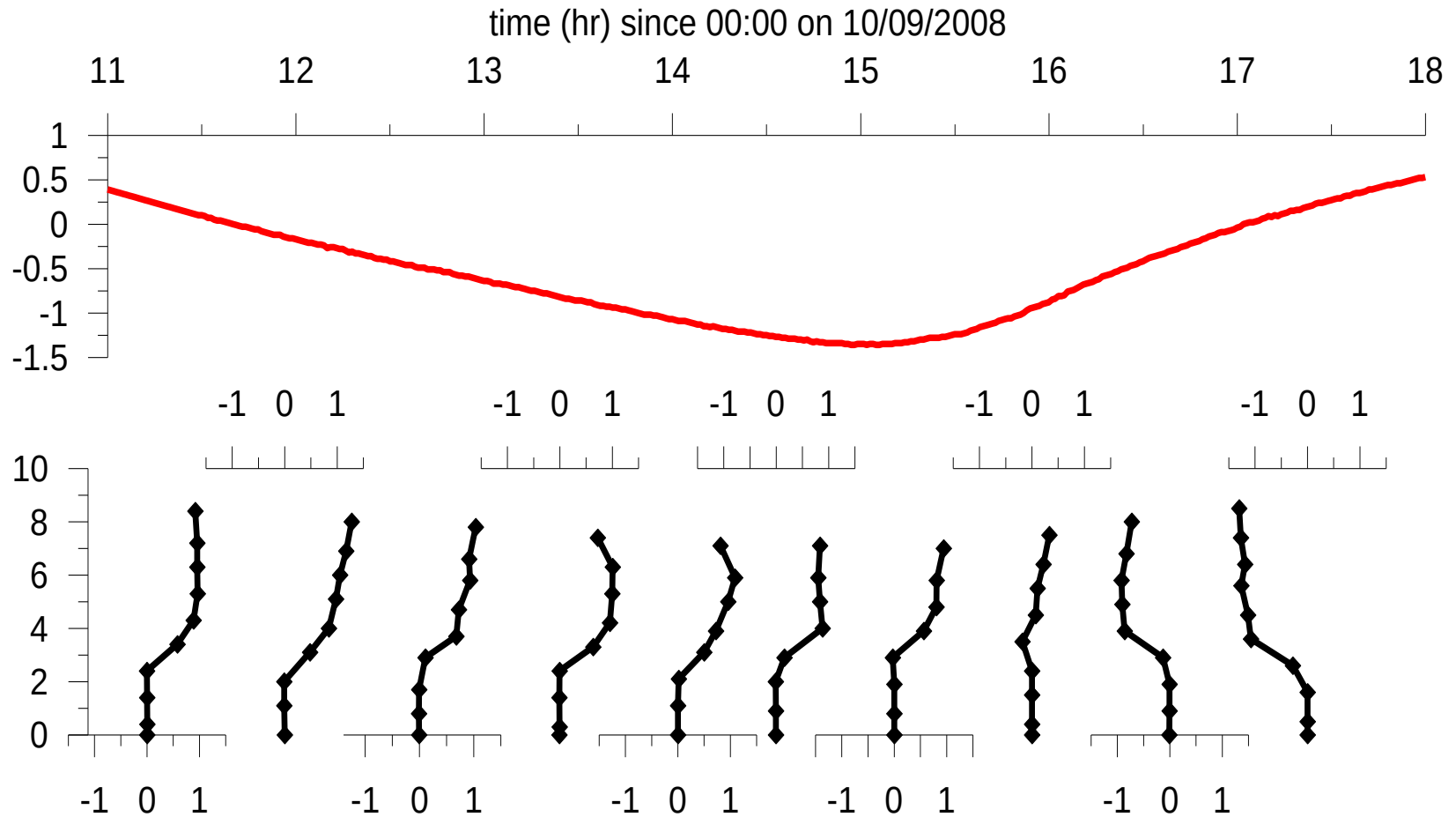
Zwei exemplarische Zeitpunkte
OBS und Probennahme

Lage der Lutokline variiert über Tidezyklus



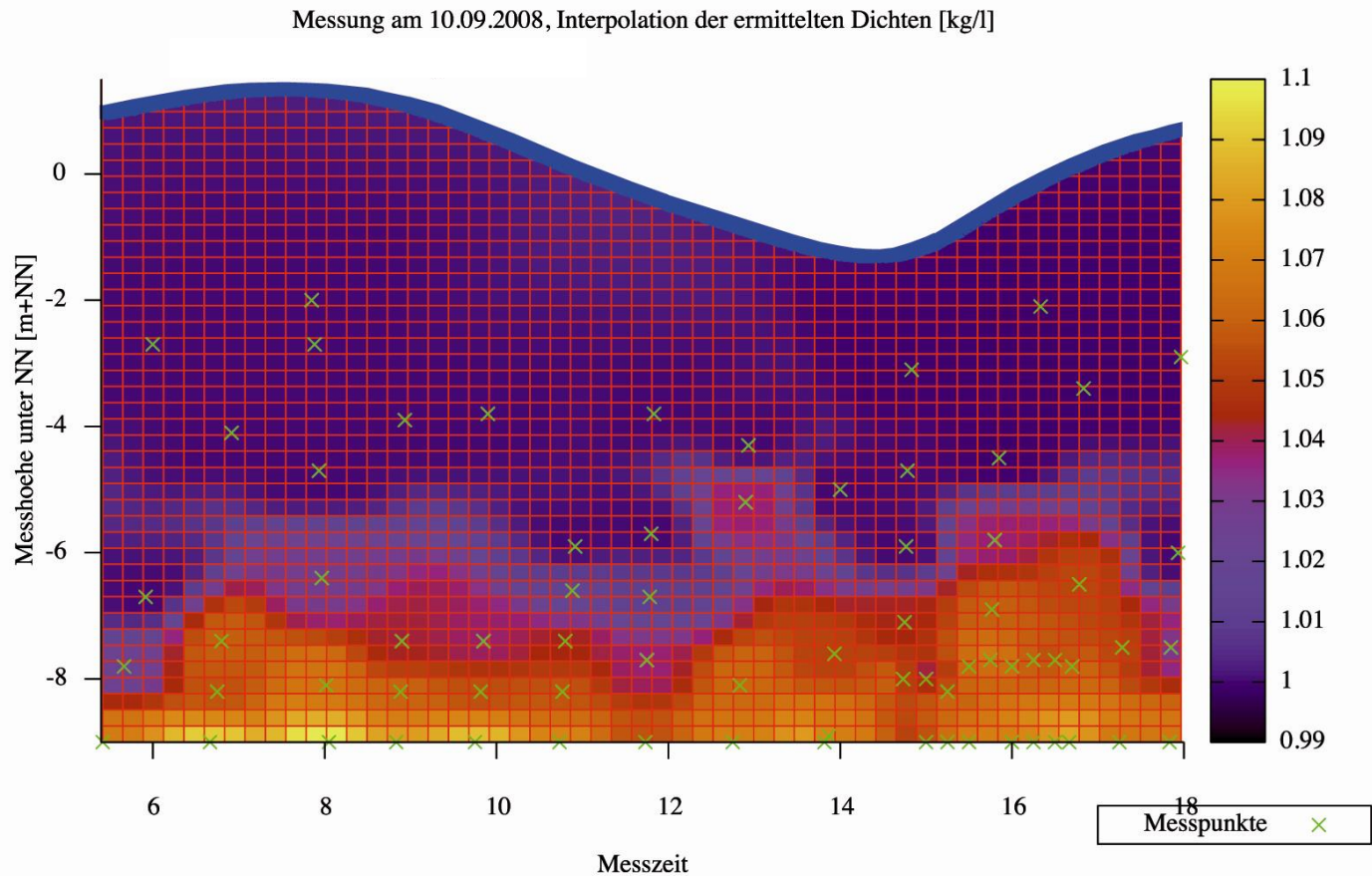
Trevethan & Wurpts 2009

Flüssigschlickdynamik über den Tidezyklus



Trevethan & Wurpts 2009

Zeitliche Verteilung der Fluidichte



A. Zorndt 2009

Komplexe Rheologie von Flüssigschlicksuspension

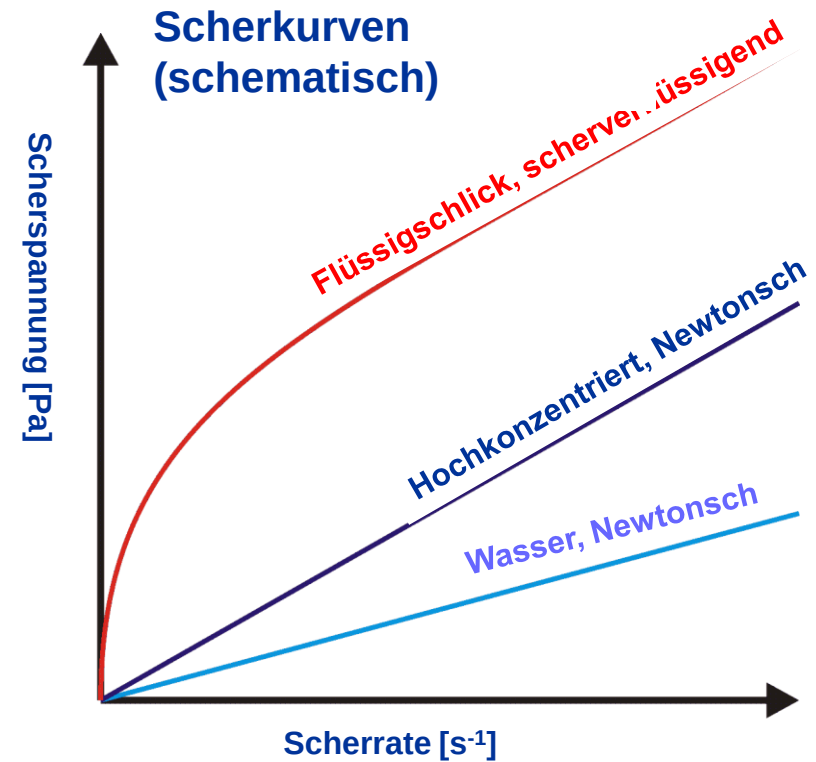
Nicht-Newtonsches Verhalten, d.h. die Viskosität des Fluids ist vom Bewegungszustand abhängig

Flüssigschlick:

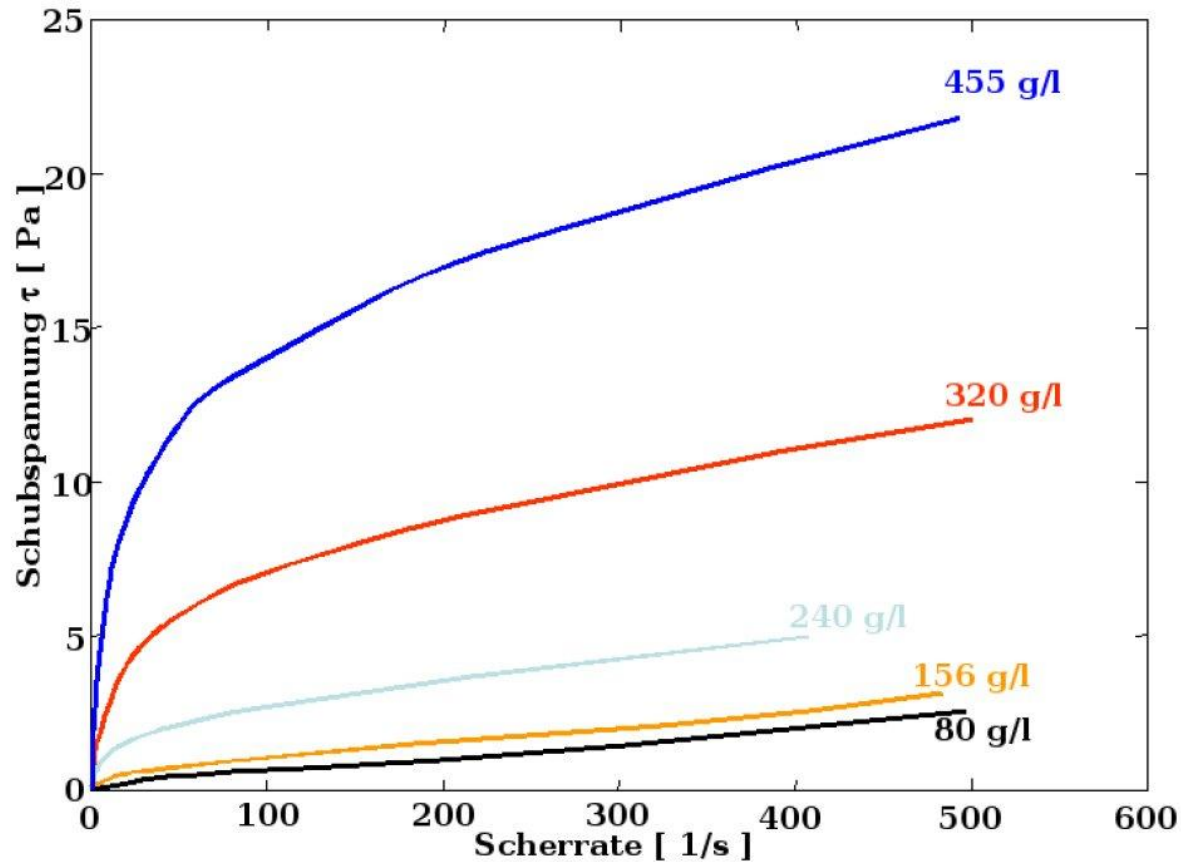
- Fließgrenze
- Scherverflüssigend

Problem: Strukturviskosität

- Zustand der internen ‚Struktur‘ bestimmt Scherfestigkeit
- Schervorgang ist zeitabhängig, thixotrop



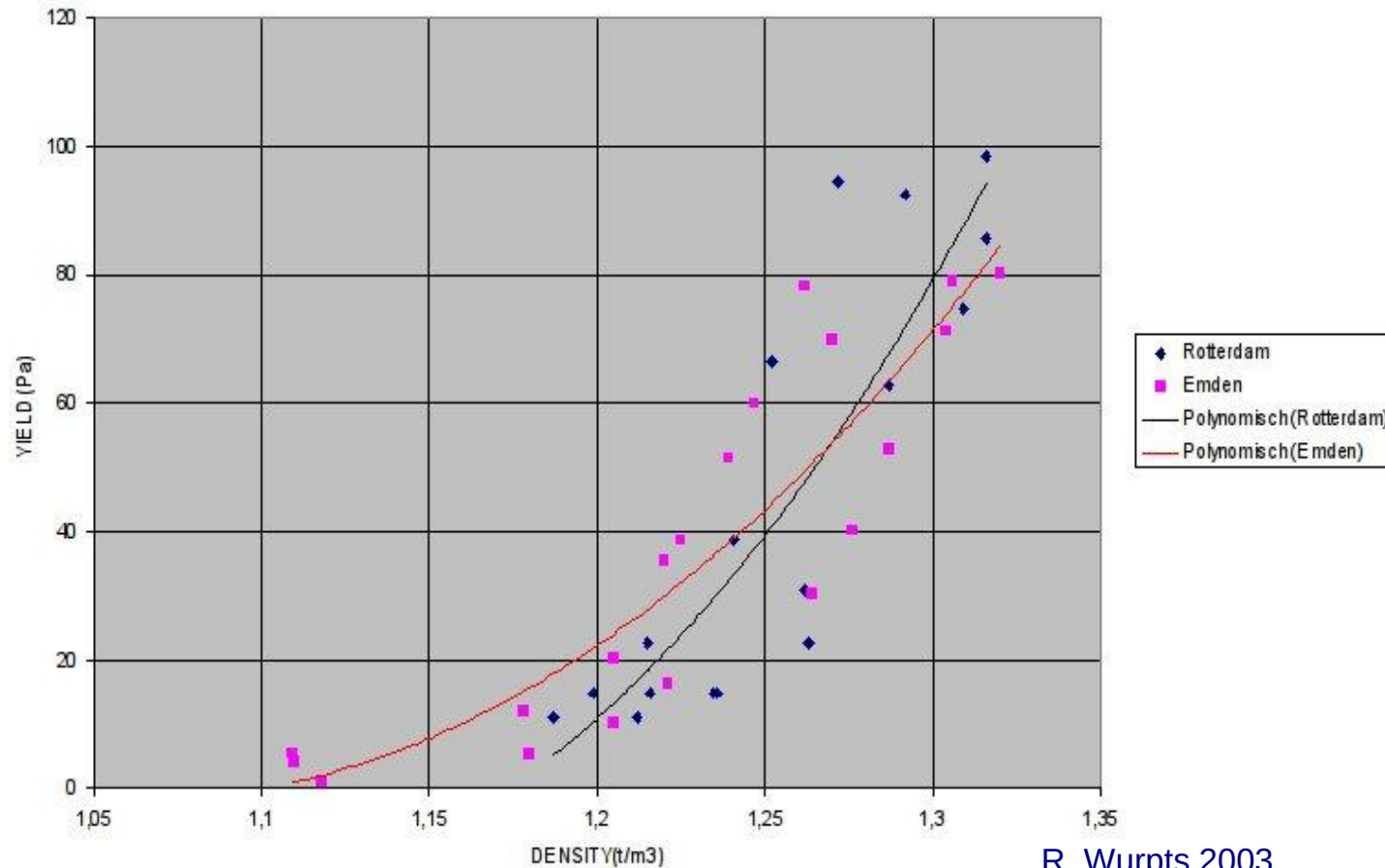
Strukturviskosität: Dichteabhängigkeit der Scherkurven



R. Wurpts 1999

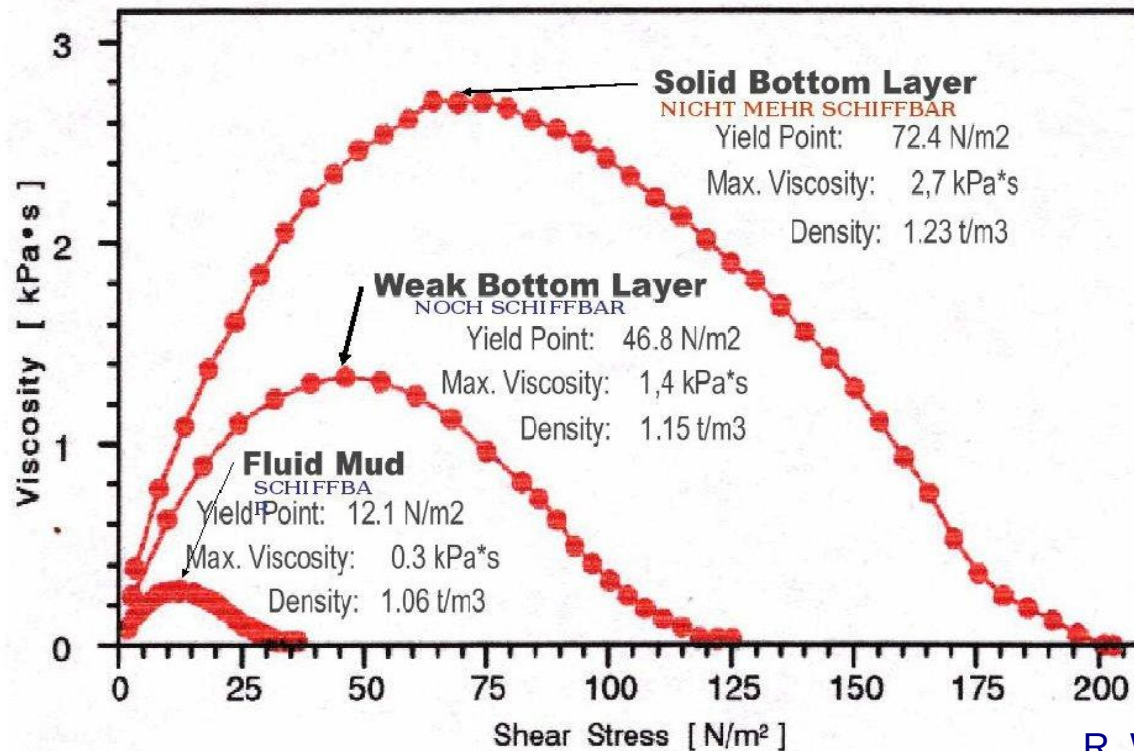
Strukturviskosität: Fließgrenzen-Dichte-Korrelation

Flüssigschlick aus Hafenbecken (Emden und Rotterdam)



R. Wurpts 2003

Strukturviskosität: Dichteabhängigkeit der Viskositätskurven

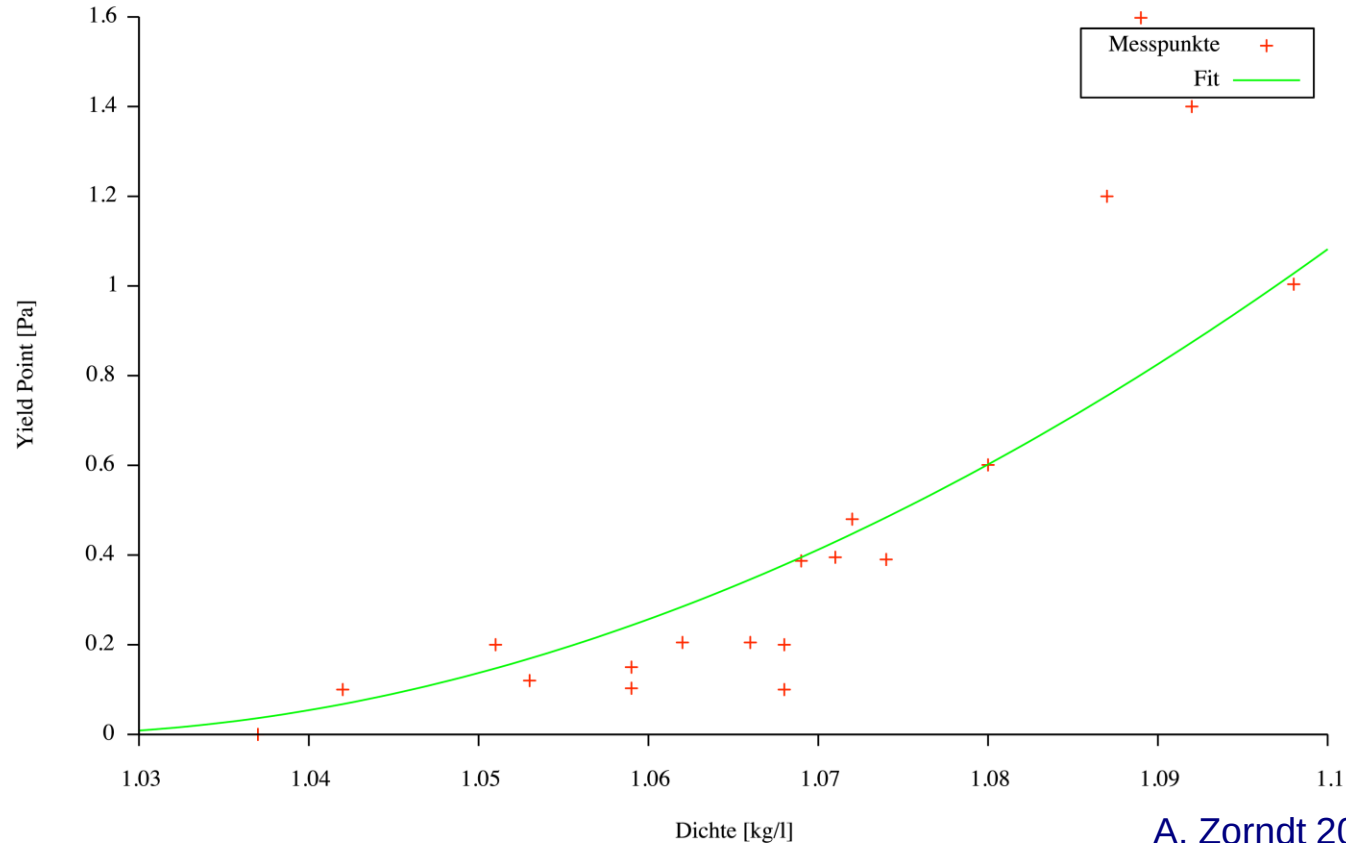


R. Wurpts 2003

- Die Strukturviskosität bewirkt ein Ansteigen der Viskosität bis zur Fließgrenze, danach setzt Scherverflüssigung ein
- Die dynamische Viskosität erreicht und überschreitet Werte der turbulenten Scheinviskosität

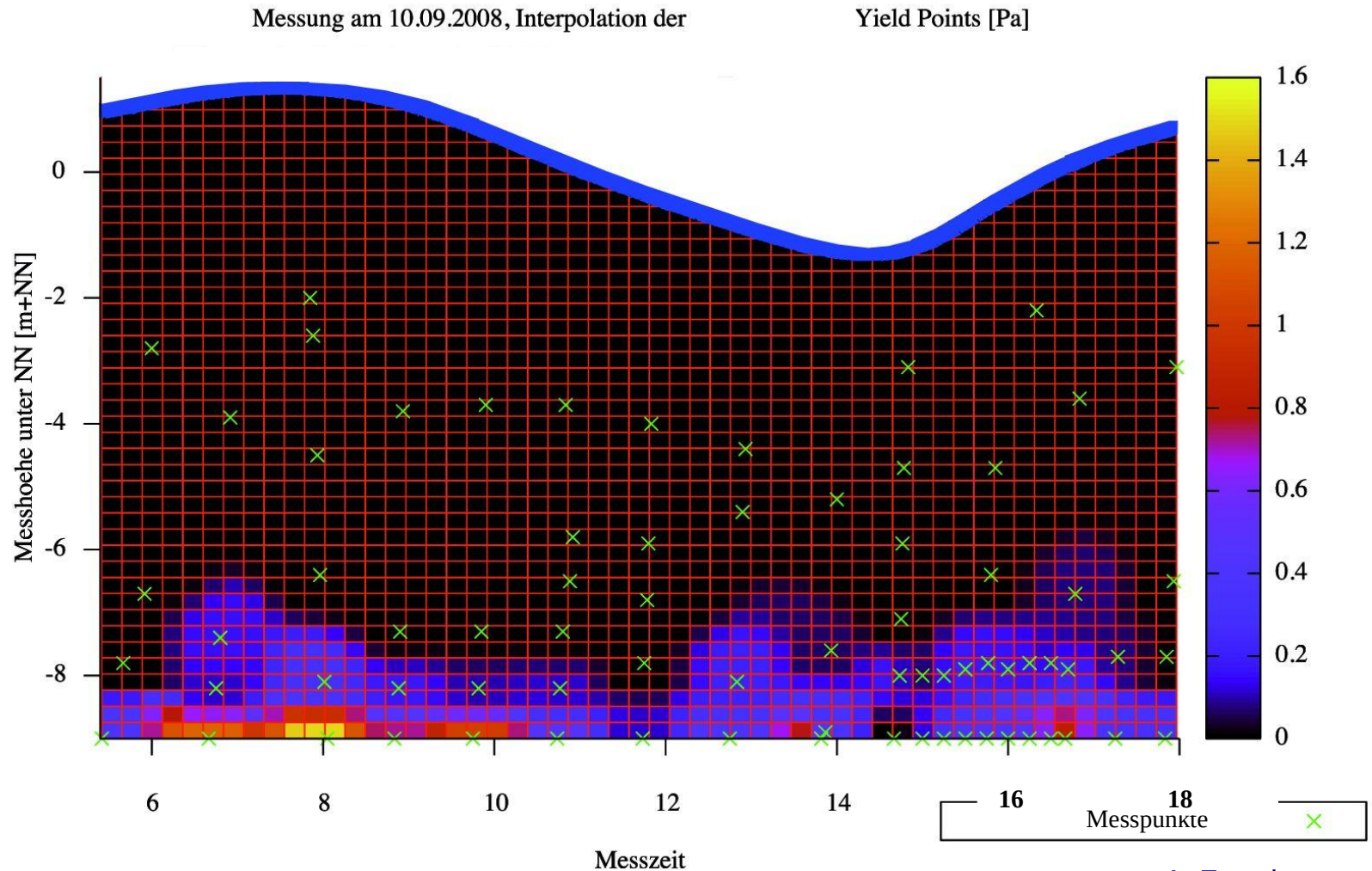
Strukturviskosität: Fließgrenzen-Dichte-Korrelation

Flüssigschlick aus der Ems



**Streuung der Werte u.a. aufgrund nicht berücksichtigter Thixotropie
sowie biogener Einflüsse**

Zeitliche Verteilung der Fließgrenze über den Tidezyklus



A. Zorndt
2009

Ansatz zur numerischen Simulation

Simultane Lösung verschiedener gekoppelter Gleichungssysteme:

- Strömung
- suspendierte Stoffe (Sedimente)
- gelöste Stoffe (Salz), Temperatur

Wechselwirkungen zwischen den berücksichtigten Größen:

- Dämpfung des turb. Impulsaustausches an Dichtesprungschichten
- Dämpfung des turb. Stoffaustausches an Dichtesprungschichten
- Konzentrationsabhängige Sinkgeschwindigkeiten
- Kinematische Viskosität und Fließgrenze anhand einer Zustandsgleichung

Konzept zur numerischen Simulation nicht-Newtonscher Viskosität

Kinematische Viskosität der Flüssigschlicksuspension

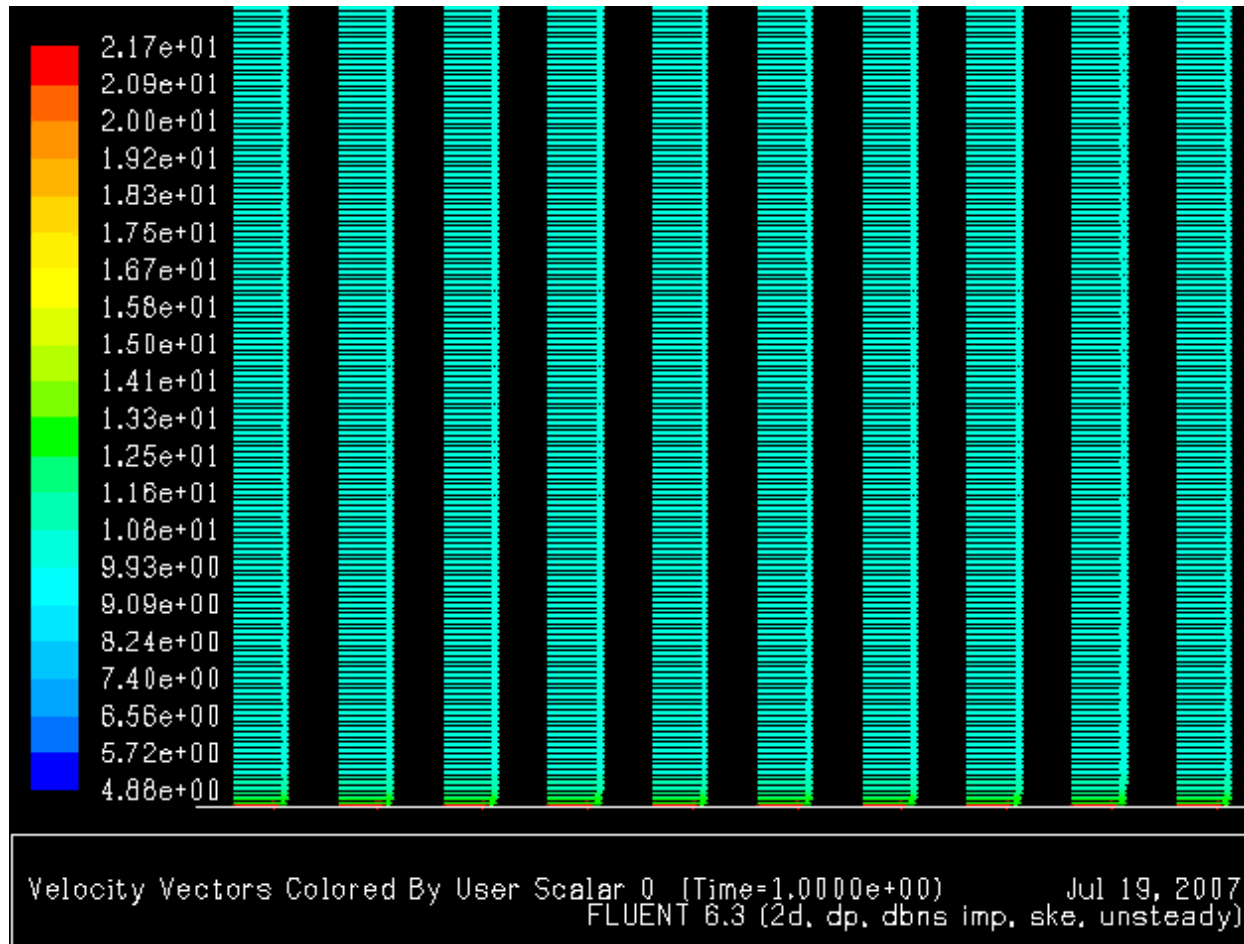
- kann die Größenordnung der turbulenten Scheinviskositäten erreichen und überschreiten und
- ist zeit- und verformungsabhängig.

Die Berücksichtigung der komplexen rheologischen Einflüsse erfolgt über einen zusätzlichen viskosen Term in der Impulsbilanz

Kinematische Viskosität muß aus Zustandsgleichung entsprechend des momentanen Strömungs- /Scherungszustandes ermittelt werden

Zeitabhängigkeit wird durch zusätzlichen Parameter der 'strukturellen Integrität' berücksichtigt.

Berechnungsbeispiel mit inst. Zustandsgleichung



M. Brenda 2007

Weiterer Ausblick

Am Franzius-Institut wurde ein Messboot beschafft, u. a. um die Datenbasis an Naturmessungen weiter ausbauen zu können.

Eine Ausweitung der Kooperationen mit anderen Wissenschaftlern und Behörden/Hafenbetreibern wird angestrebt.

Zur Verifikation von Austausch- und Dämpfungsfunktionen wird zur Zeit ein Laborversuch in einer Strömungsrinne des Franzius-Instituts eingerichtet

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasserbau der TU Darmstadt wird dort zur Zeit ein numerisches Verfahren zur großräumigen Simulation von Ästuaren unter Berücksichtigung von Flüssigschlick entwickelt.

Ankündigung:

DWA-Seminar Flüssigschlick am 2. September in Norden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!