

## 14. KFKI-Seminar zur Küstenforschung

### **In situ Messungen und rheologische Analysen von Flüssigschlick**

Andreas Wurpts

Bremerhaven, 28. Oktober 2009



## **Beschaffenheit / Zusammensetzung sowie**

### **Mechanismen des Natursystems für**

- **Transport und**
- **dynamische Eigenschaften**

**von Flüssigschlick.**

### **Messungen der Dynamik von Flüssigschlicksuspension**

- **Dynamische Schichtung von Gezeitenströmungen**
- **Zeitliche Variation von hydrodynamischen Parametern**

### **Rheologische Parameter / Materialmodell für Flüssigschlick**

## Fragestellung und Relevanz

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

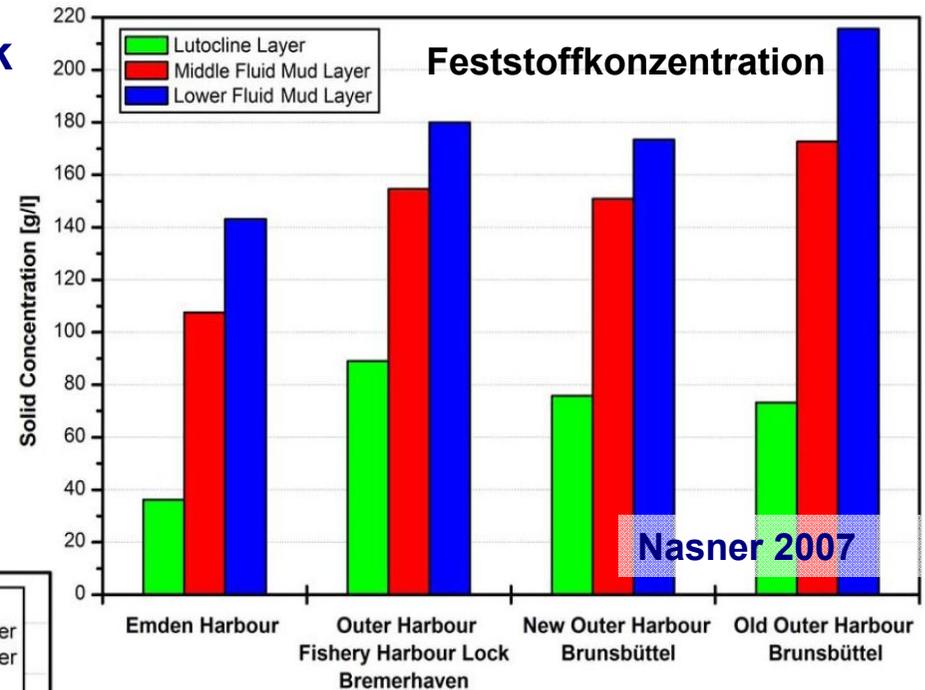
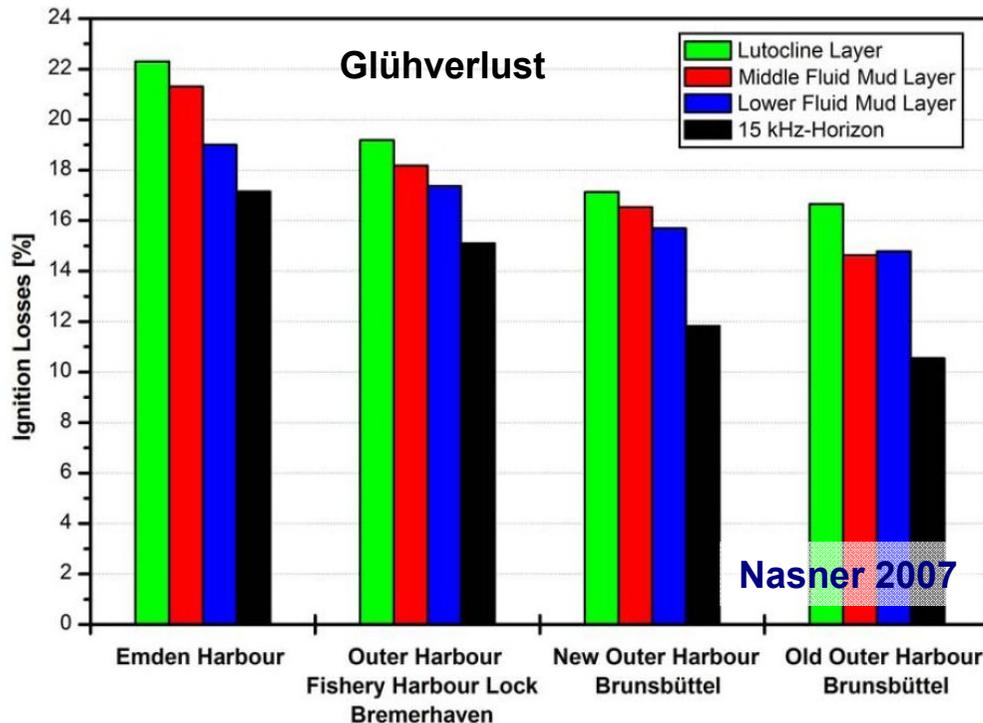
- Die zu beobachtenden Schwebstoffkonzentrationen liegen z.T. mehrere Größenordnungen oberhalb der ursprünglichen Werte
- Das fluidmechanische Verhalten der Flüssigschlicksuspension weicht von dem reinen Wassers ab
- Die Detektion der nautischen Sohle ist mit klassischer Technik nicht möglich

- Anpassung von
- a) Unterhaltungsstrategien
  - b) Numerischen Simulationswerkzeugen



## Zusammensetzung von Flüssigschlick

- Feinsedimente (Tonminerale, Silikat)
- Organische Beimengungen (Mikroorganismen)
- Gasförmige Stoffwechselprodukte (Methan)

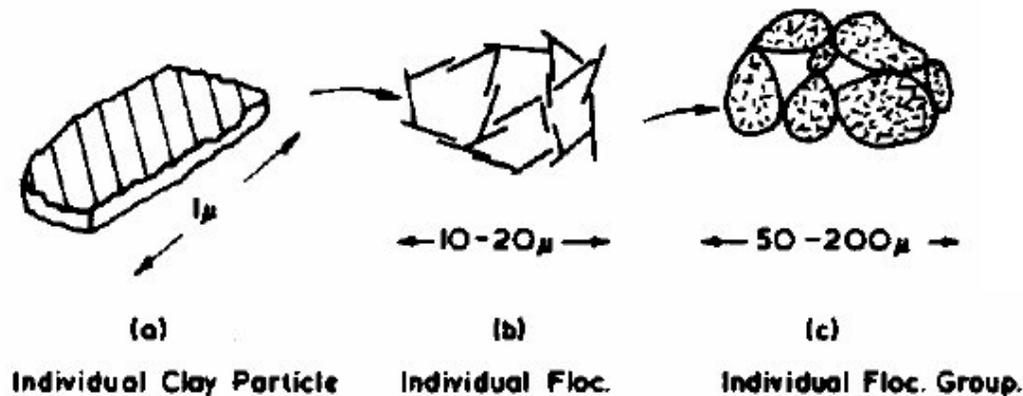


Der Anteil der biogenen Einflüsse variiert zwischen Fluß und Hafen

- Glühverlust
- Biogene Verfestigung (EPS)

## Grundbestandteil von Flüssigschlamm – Kohäsive Feinstsedimente

Elektrostatische Kräfte führen zu Partikel-Partikel Wechselwirkungen



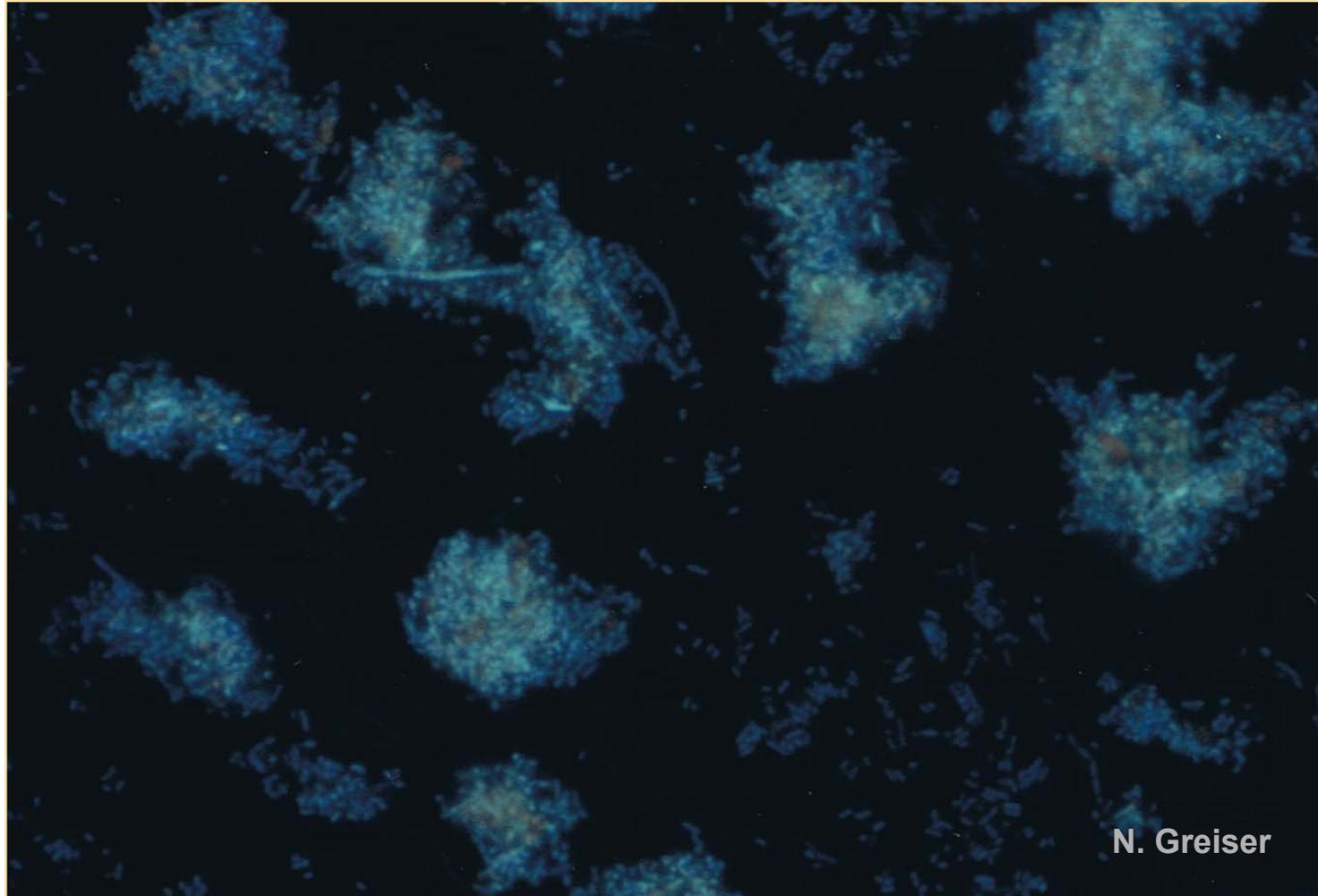
Weitere Wechselwirkungen infolge biogener Einflussfaktoren (z.B. EPS)

Im suspendierten Zustand Flocken- und Aggregatbildung

- Beeinflussung des Absinkverhaltens
- Pseudo-plastische Eigenschaften

## Aggregatbildung in Suspension

Tonmineralpartikel mit angelagerten Mikroorganismen

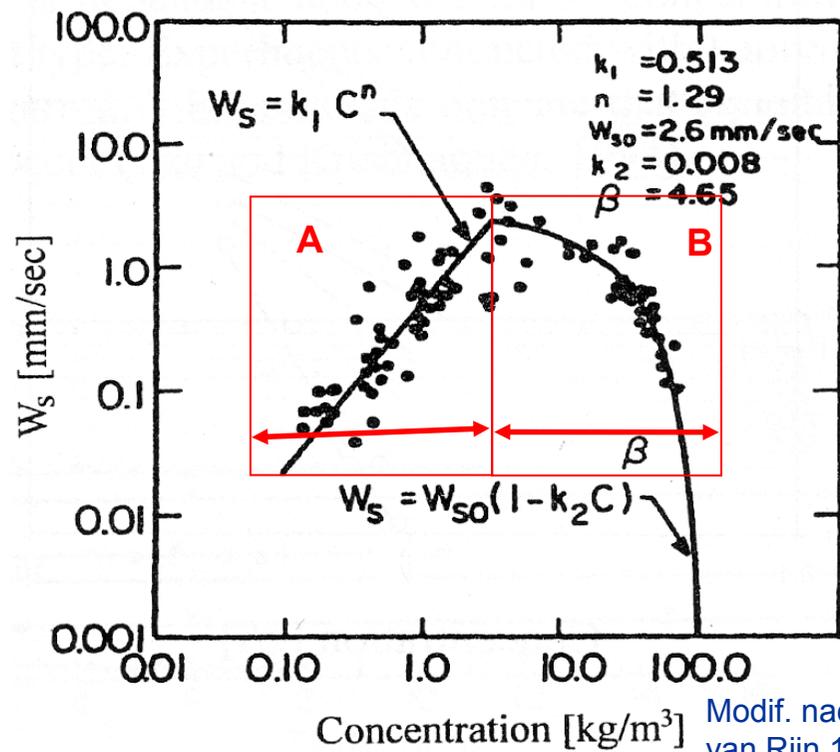


N. Greiser

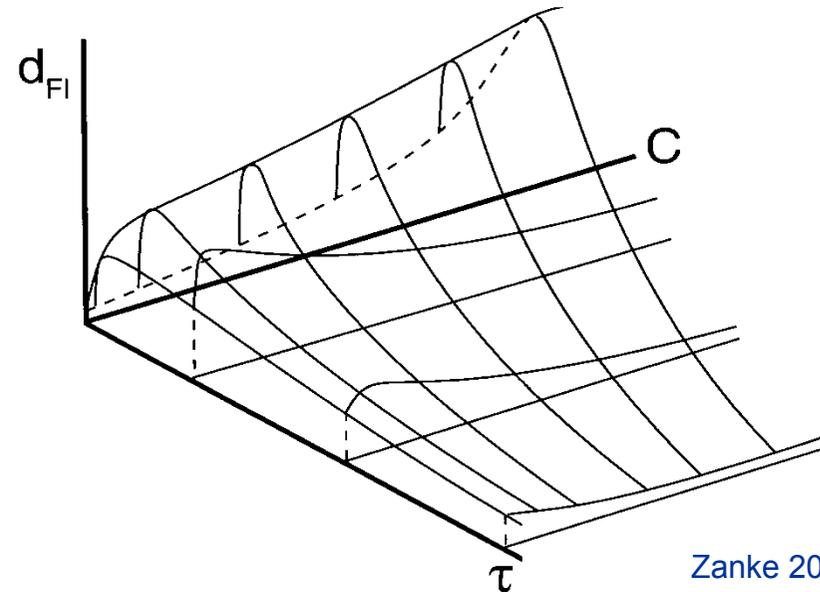
## Dynamische Eigenschaften der Suspension - Absinkverhalten

Flocken- und Aggregatbildung bewirken

- Konzentrationsabhängig steigende Sinkgeschwindigkeiten
- Reduzierte Sinkgeschwindigkeiten bei hohen Konzentrationen



**A** = range of floc growth      **B** = range of hindered settling



Zanke 2001

## Dämpfung turbulenter Austauschprozesse an Dichtesprüngen

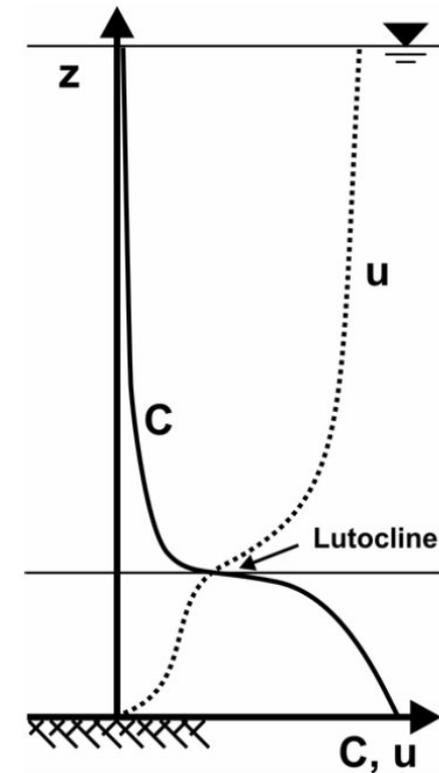
### Betrifft

- turbulenten Impulsaustausch
- turbulenten Stoffaustausch

Der Dichteunterschied infolge Salz und suspendiertem Sediment bewirkt die hydrodynamische 'Entkopplung' der Schichten voneinander.

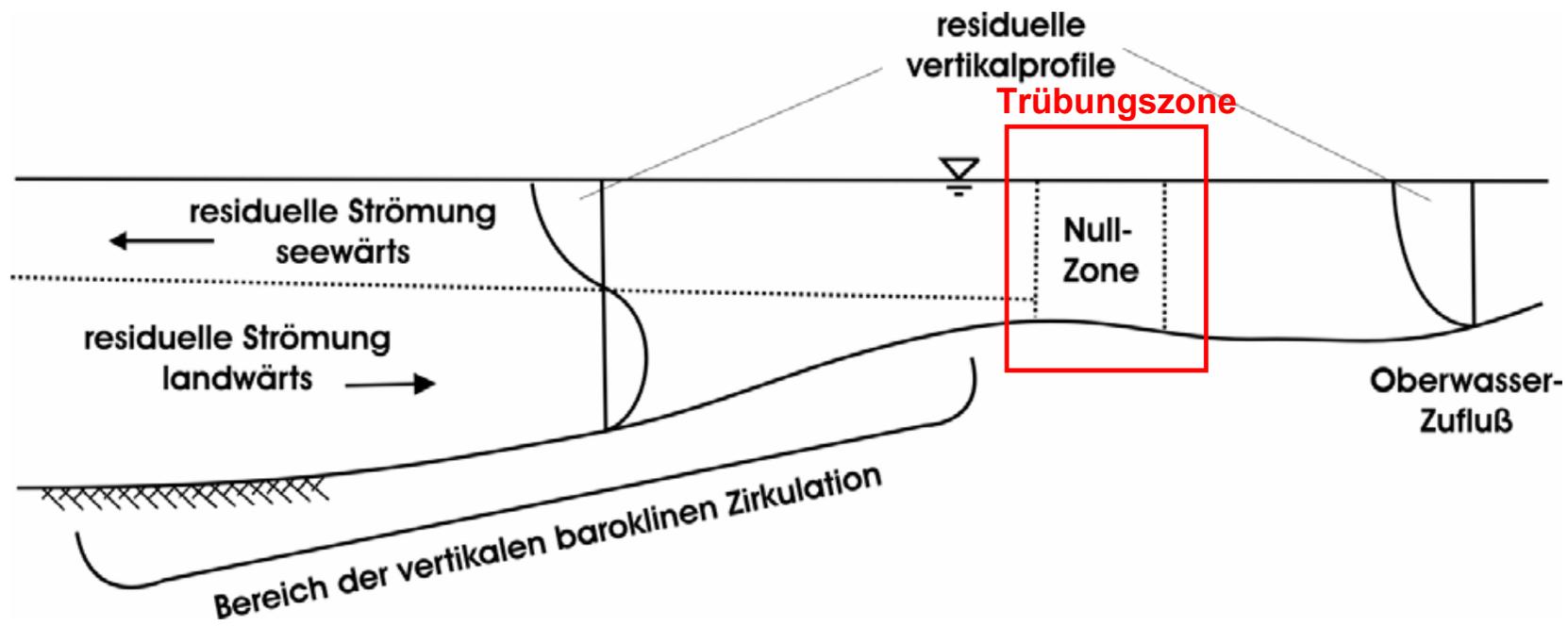
### Auswirkungen:

- 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**

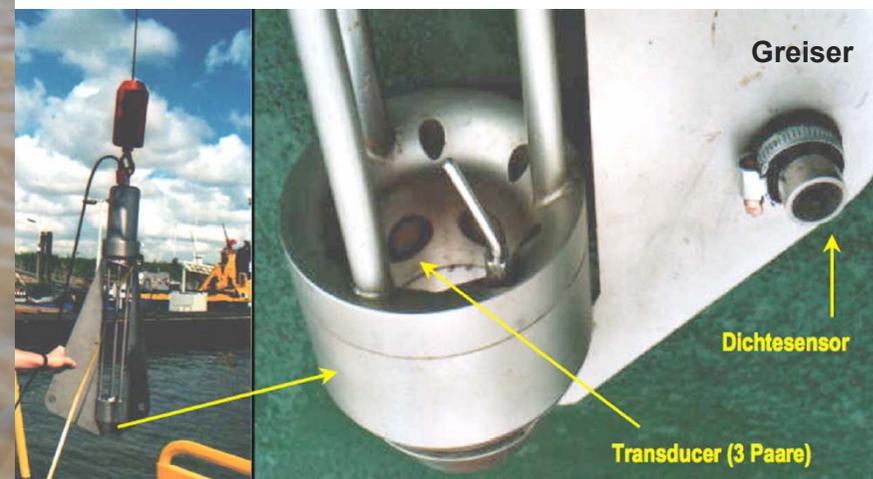
## Feldmessungen

Erfassung der Dynamik des natürlichen Systems

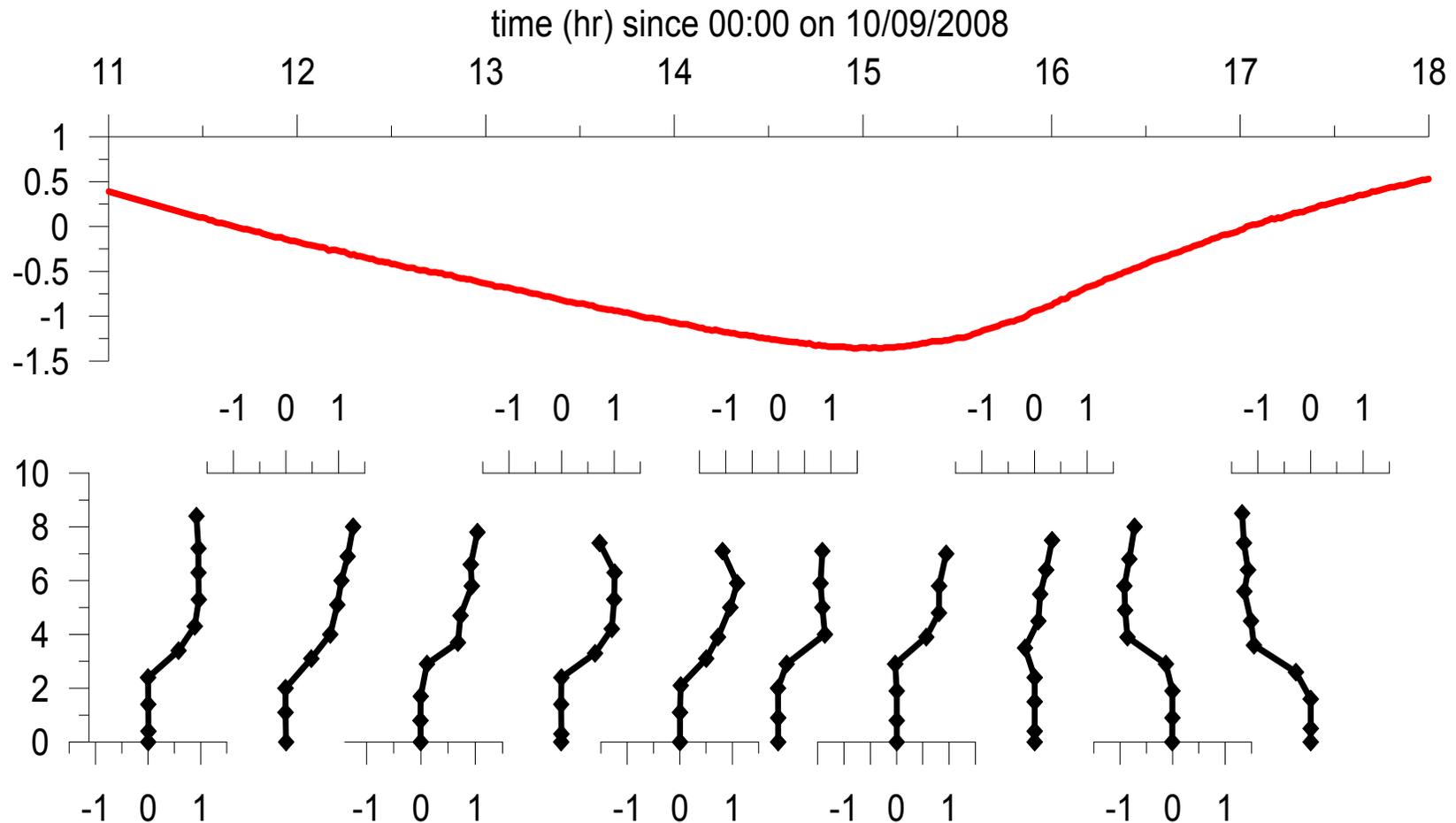
Probenentnahme für Laboranalysen

Gemessen werden u. a.

- Strömungsgeschwindigkeiten,
- Salzgehalt, Temperatur und
- Suspensionskonzentration / -dichte



## Flüssigschlickdynamik über den Tidezyklus

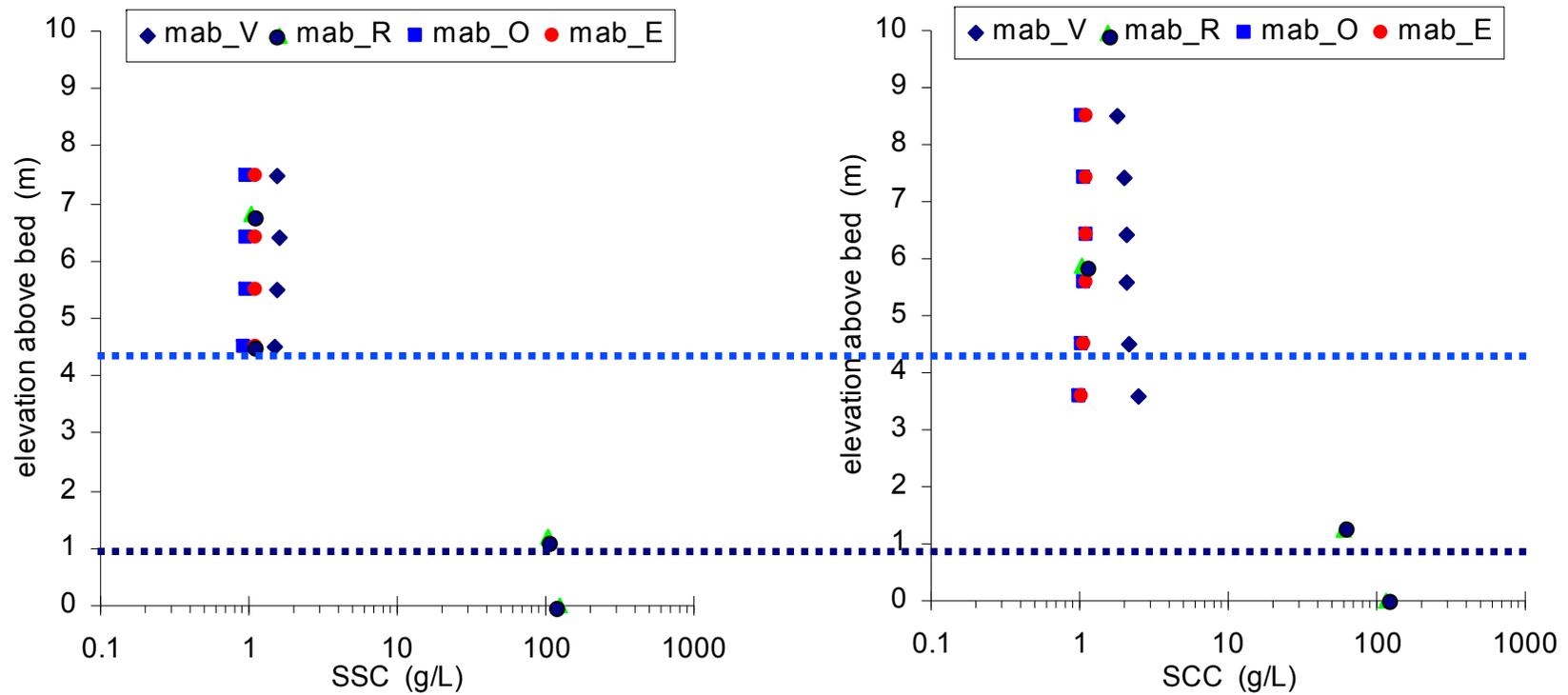


Trevethan et al. 2009

## Vertikalprofile der Suspensionskonzentration

### Vergleich von zwei exemplarischen Zeitpunkten

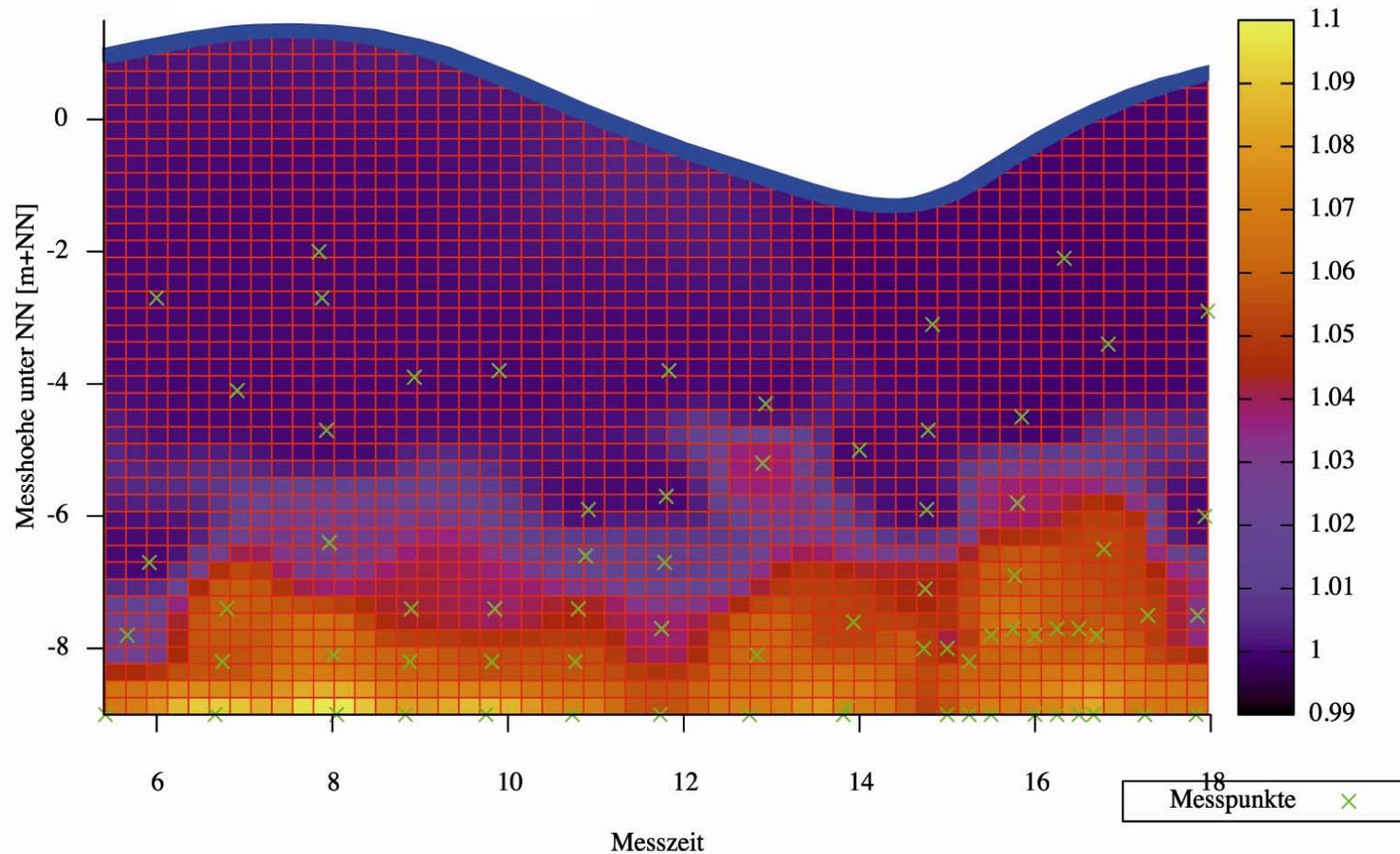
### Messwerte aus verschiedenen Sensoren (OBS) und Probennahme



Trevethan et al. 2009

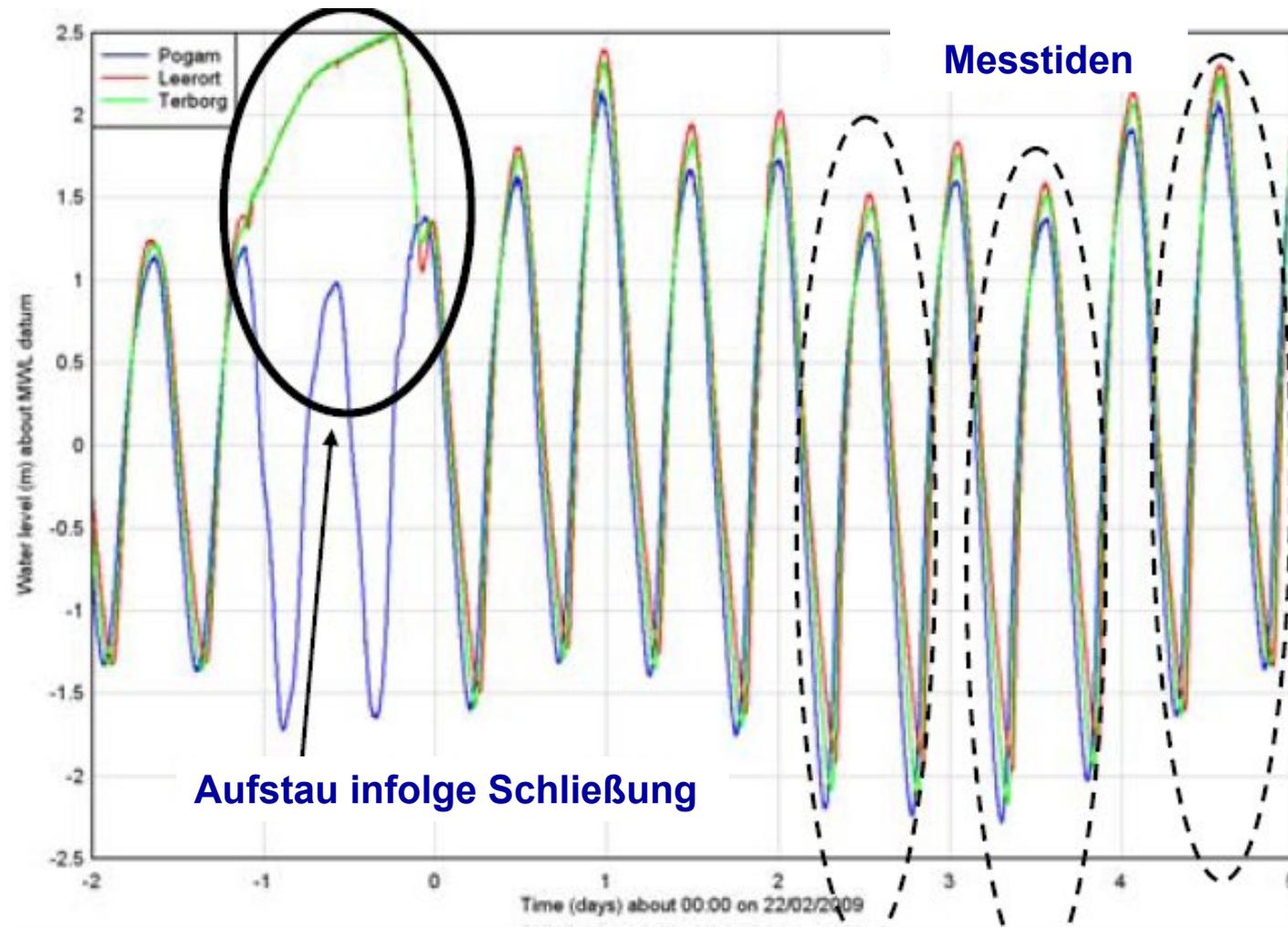
## Gemessene Verteilung der Fluidichte über einen Tidezyklus

Messung am 10.09.2008, Interpolation der ermittelten Dichten [kg/l]

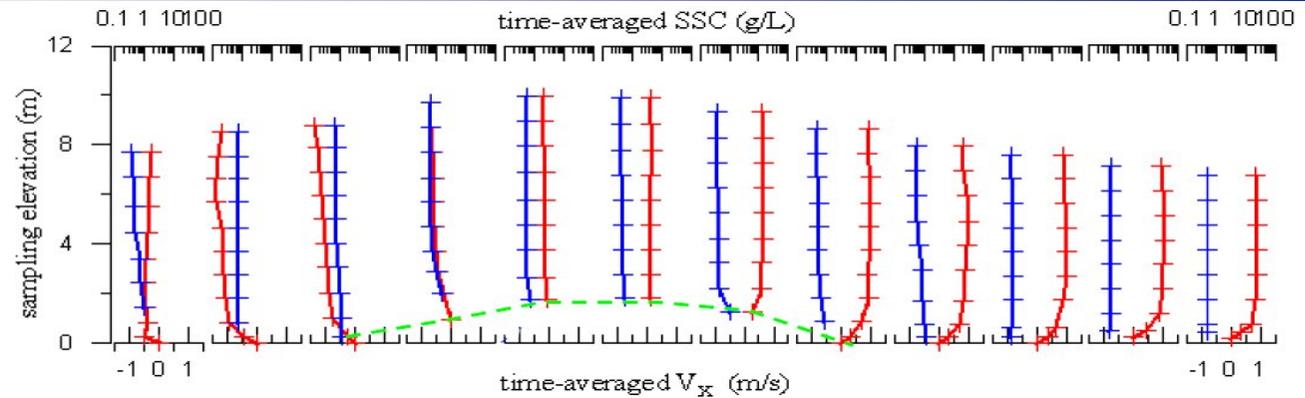


A. Zorndt 2009

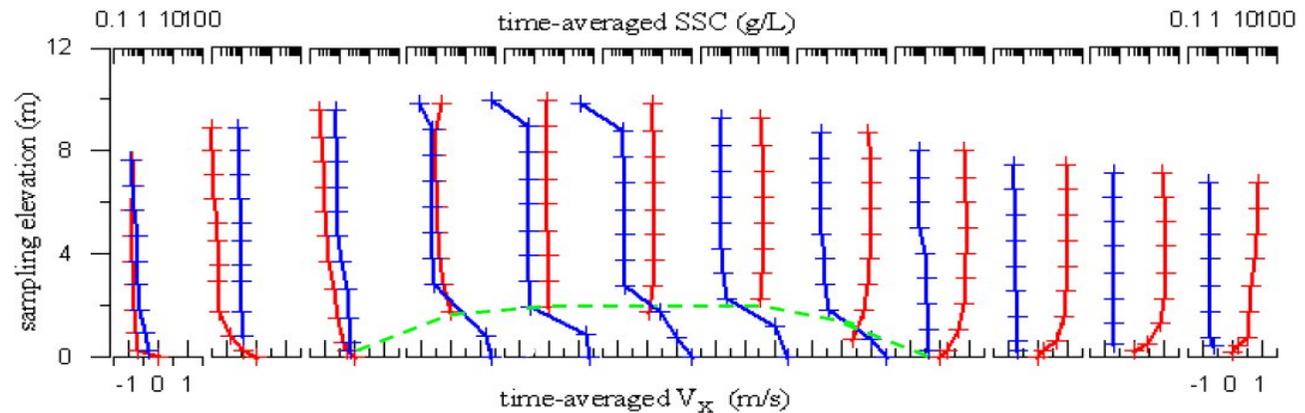
## Ems: Reformation einer Flüssigschlicklage nach Staubetrieb



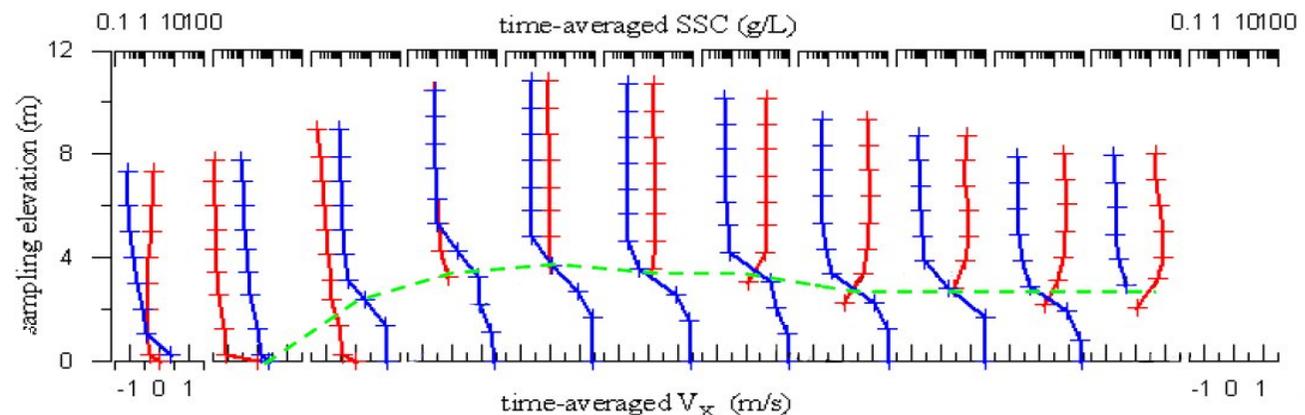
**5. Tide nach Öffnung  
des Sperrwerks**



**7. Tide nach Öffnung  
des Sperrwerks**



**9. Tide nach Öffnung  
des Sperrwerks**



Geschwindigkeitsprofile (rot)  
Konzentrationsprofile (blau)

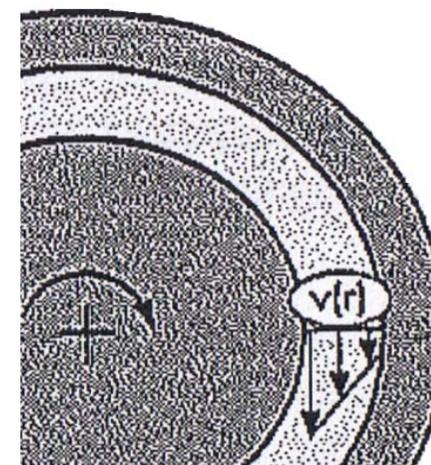
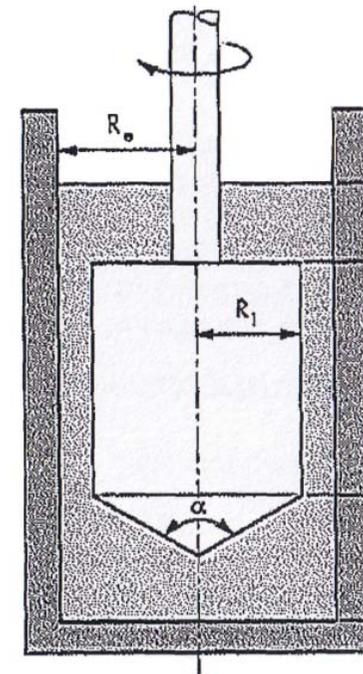
## Komplexe Rheologie von Flüssigschlicksuspension

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

- Scherverflüssigendes Verhalten
- Existenz einer Fließgrenze

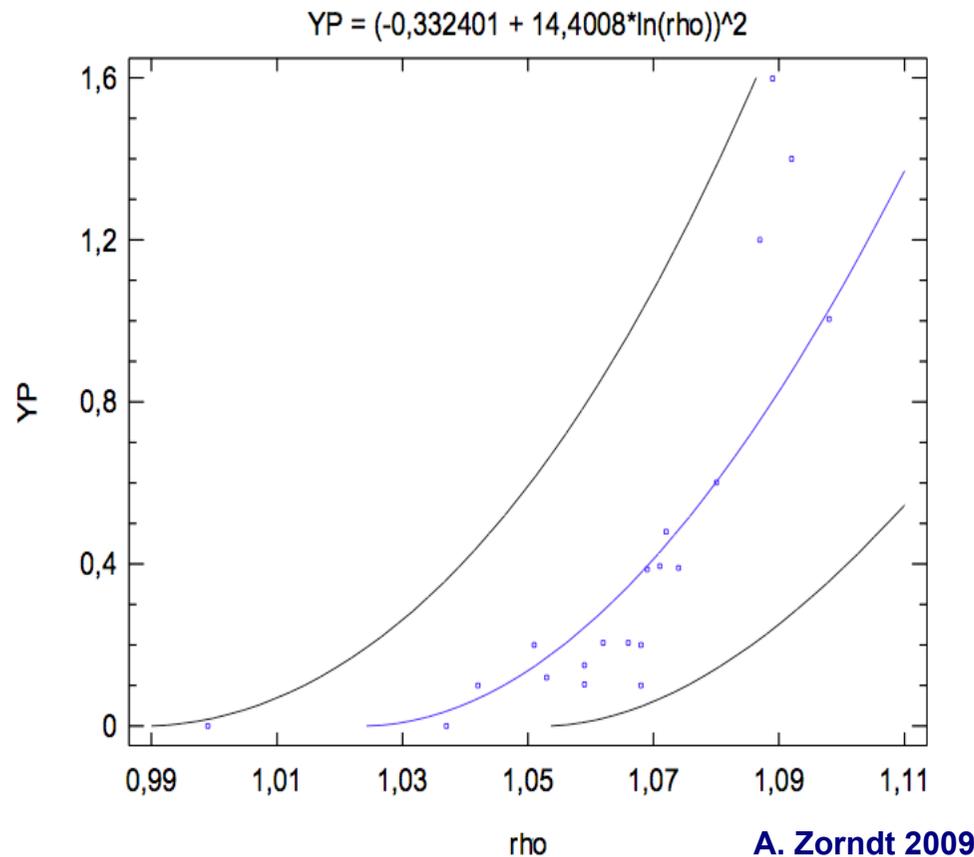
Strukturviskosität:

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

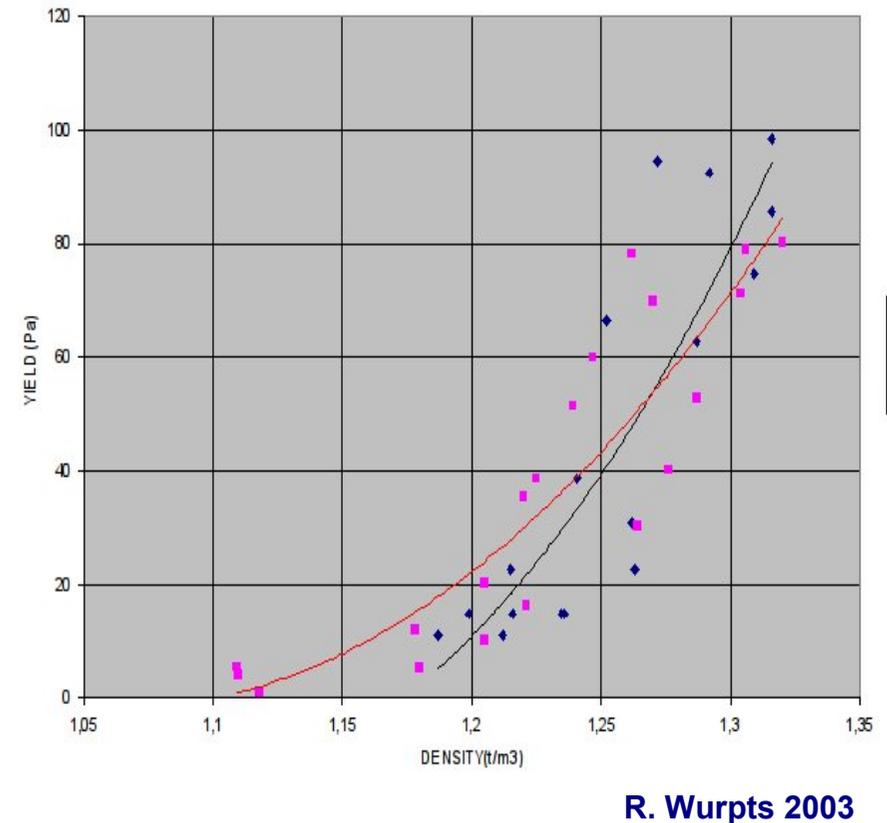


## Strukturviskosität: Fließgrenzen-Dichte-Korrelation

FM aus der Ems (Hauptstrom)

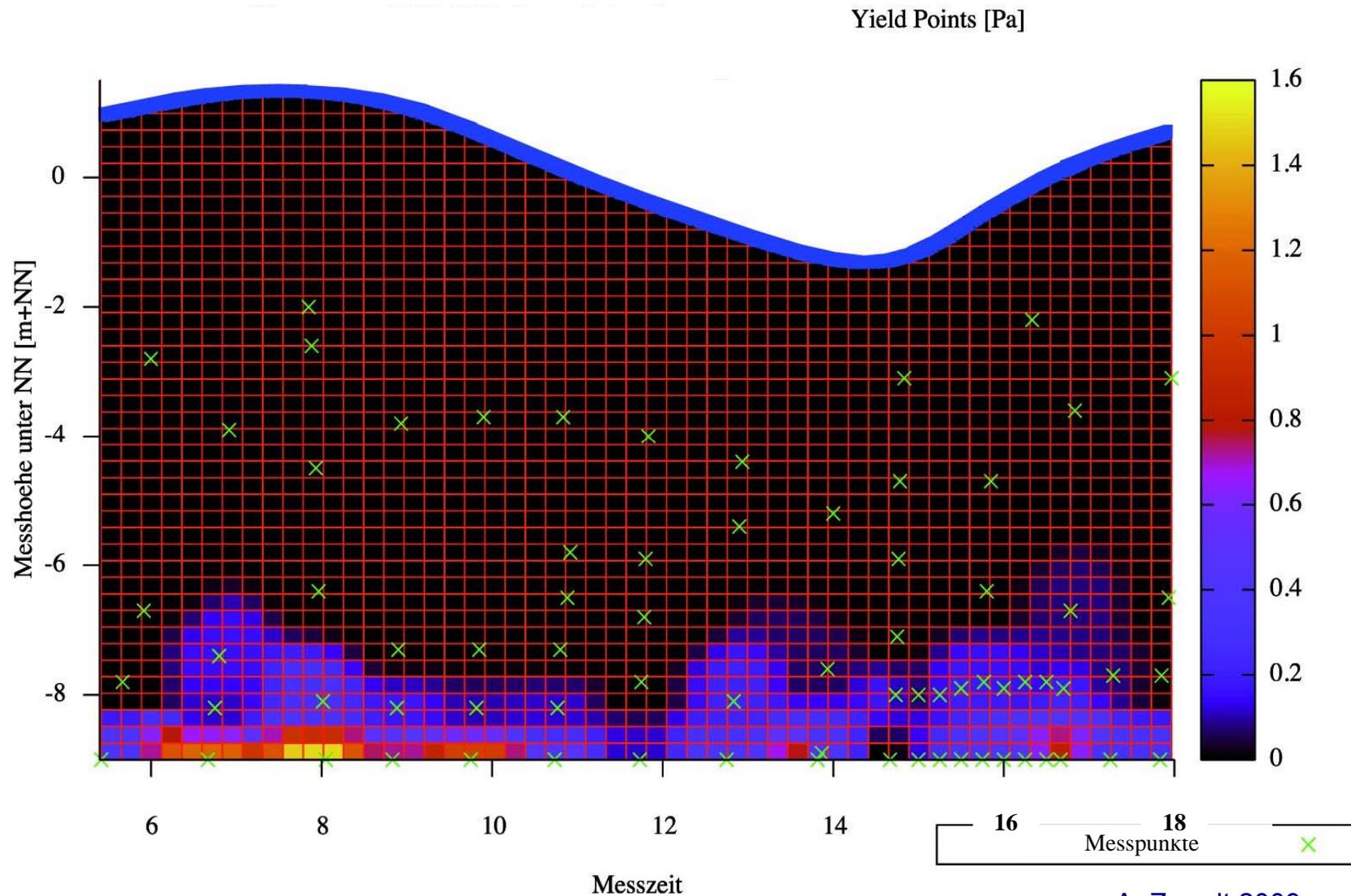


FM aus Hafenbecken (Emden und Rotterdam)



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

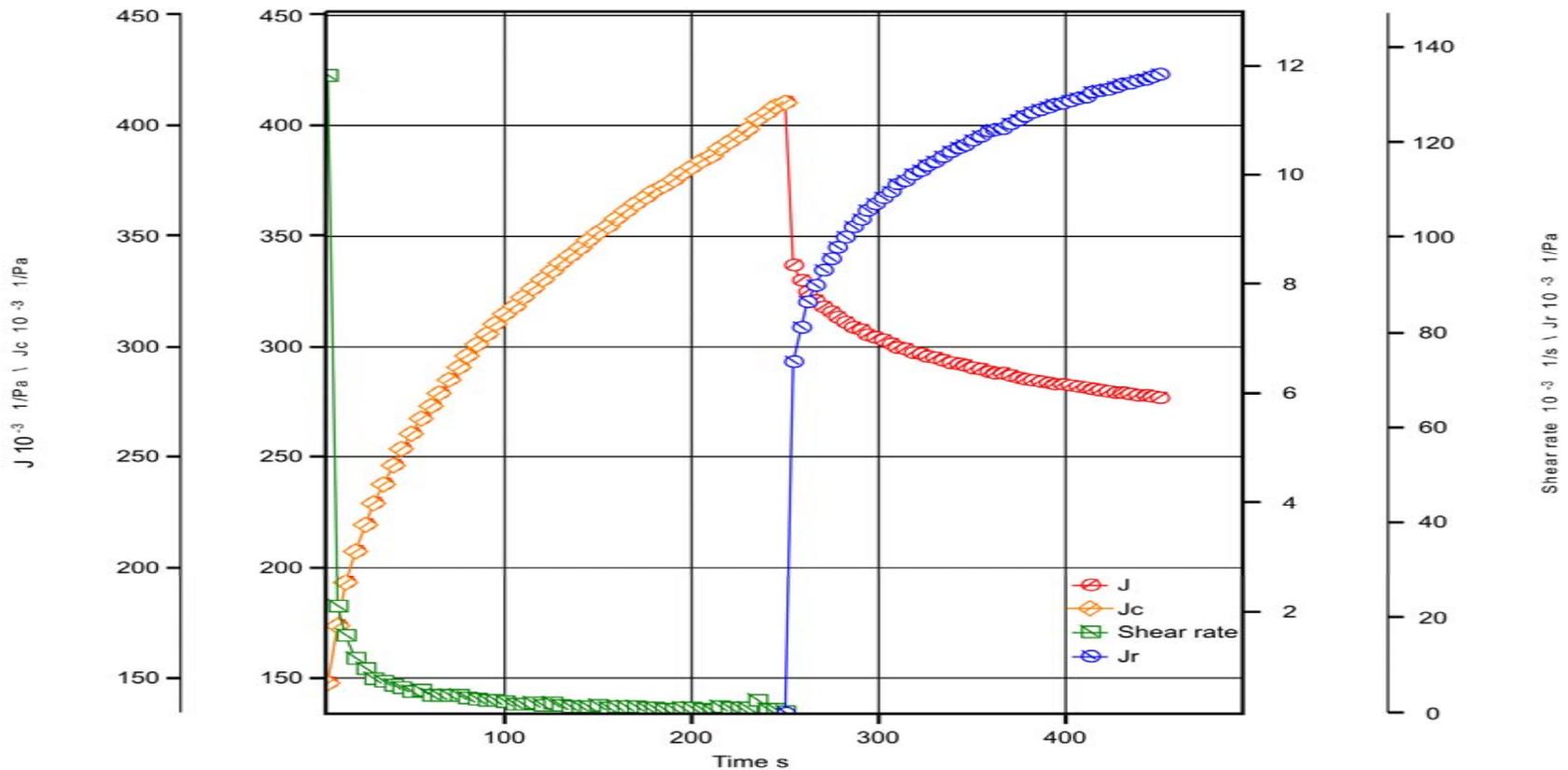
## Zeitliche Verteilung der Fließgrenze über den Tidezyklus



A. Zorndt 2009

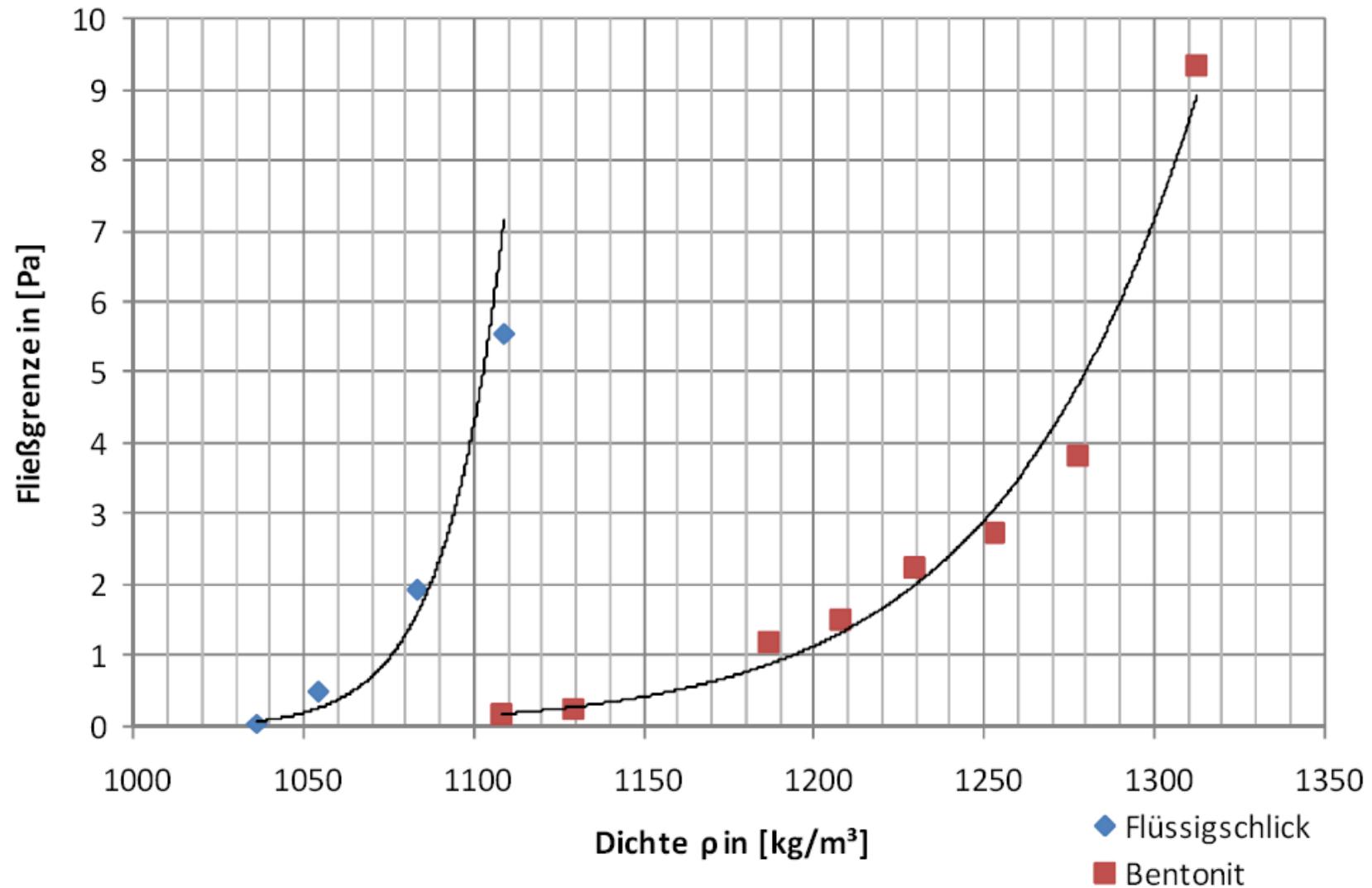
## Ermittlung des Anteils elastischer Verformung

### Kriech-Erholungs-Versuch bei Belastung unterhalb der Fließgrenze

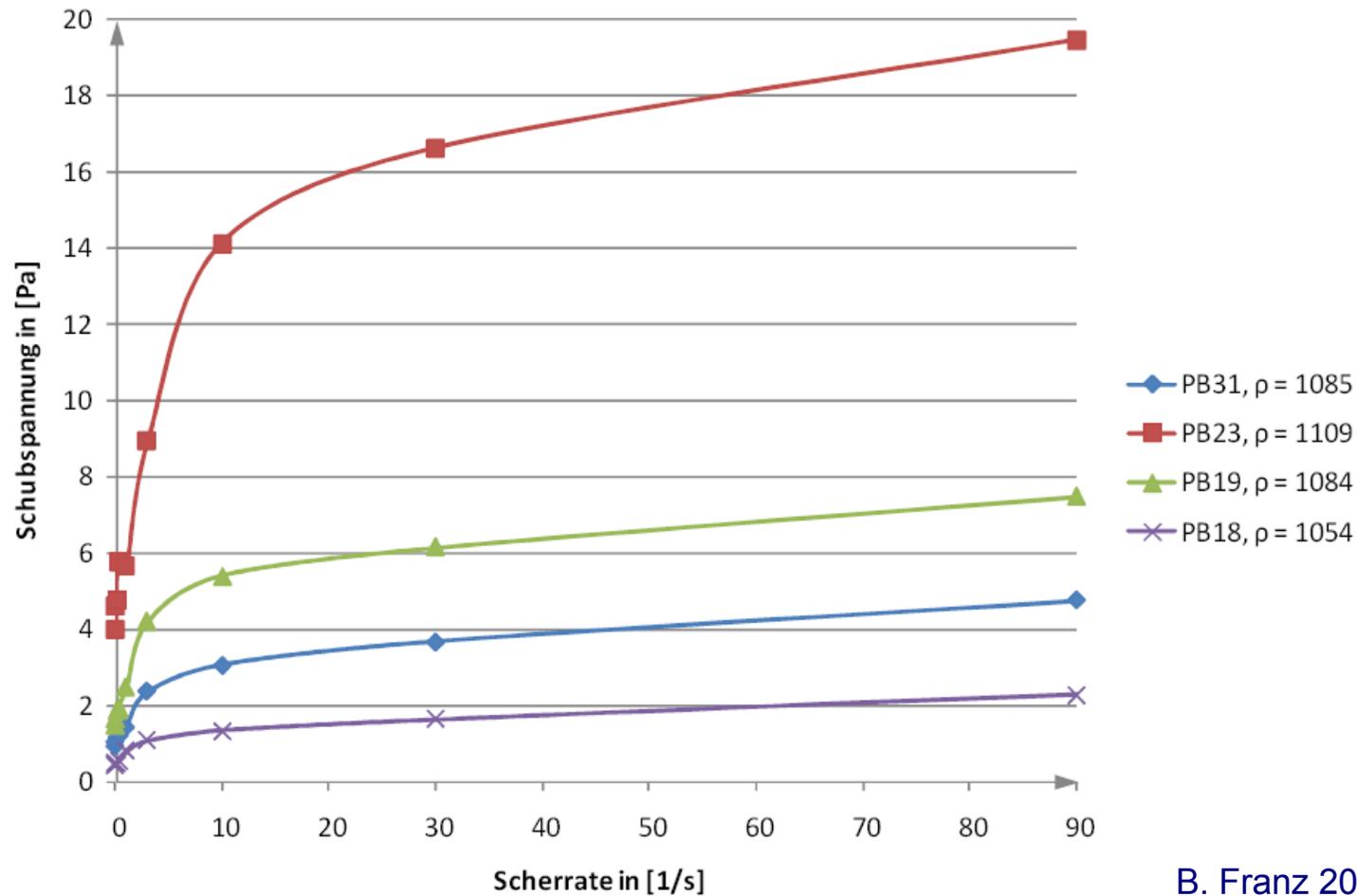


B. Franz 2009

## Vergleich der Fließgrenzen von Flüssigschlick und Bentonitsuspension

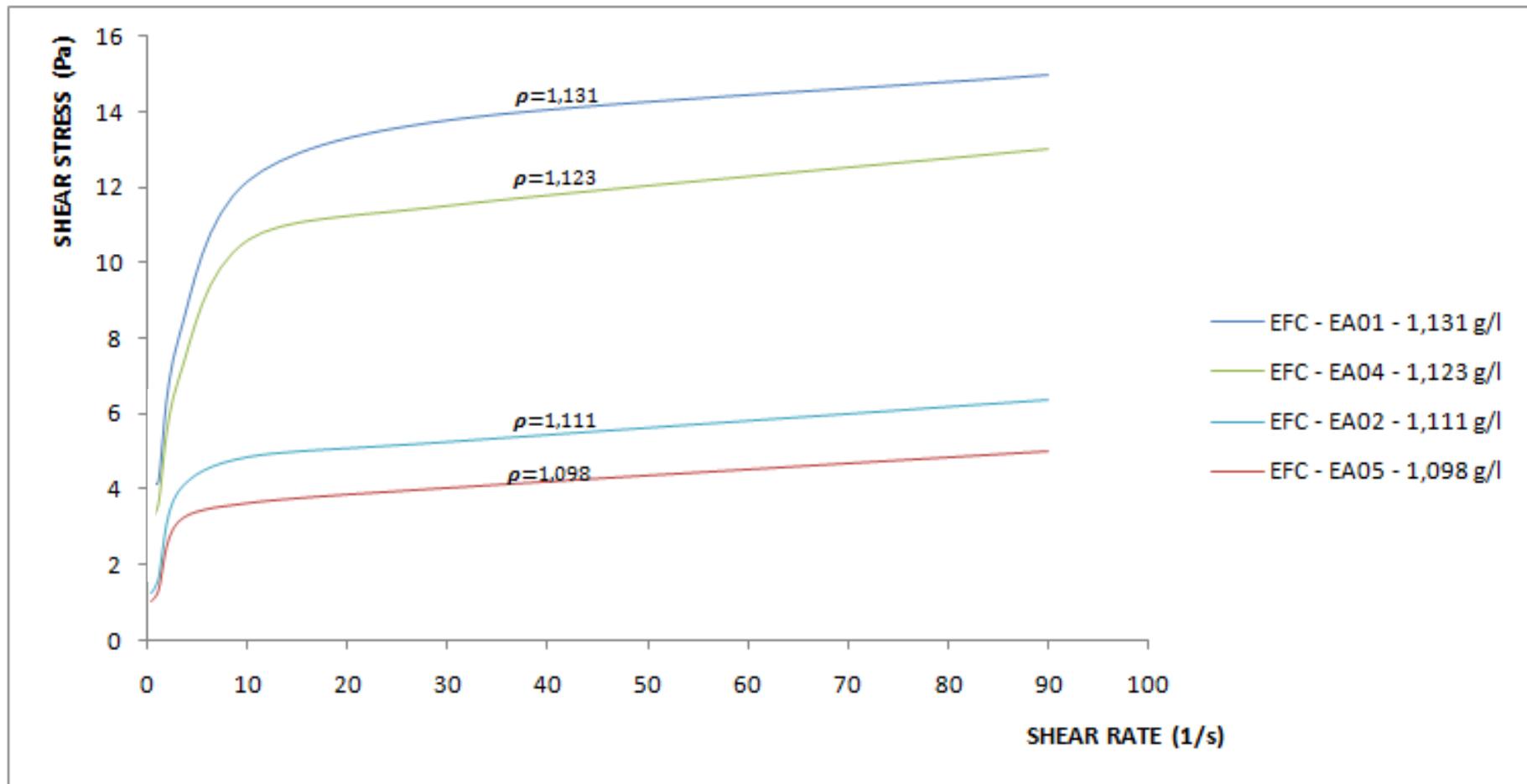


## Parametrisierungskonzept: Gleichgewichtsfließkurve



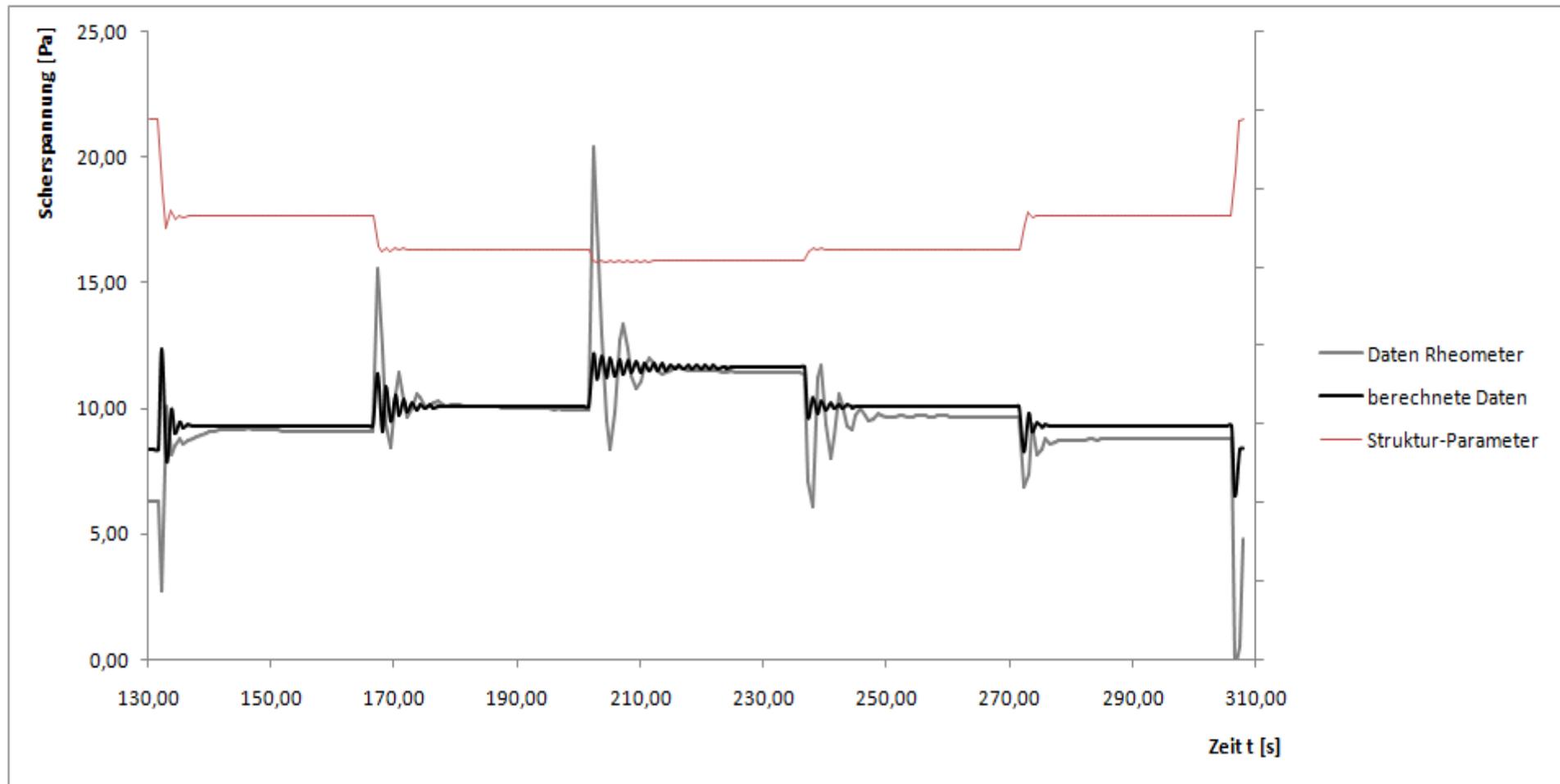
## Materialmodell für zeitabhängiges Verhalten

- Parameter für ‚interne Struktur‘ des Flüssigschlicks
- Gleichgewichtsfließkurve, empirische Modellkonstanten

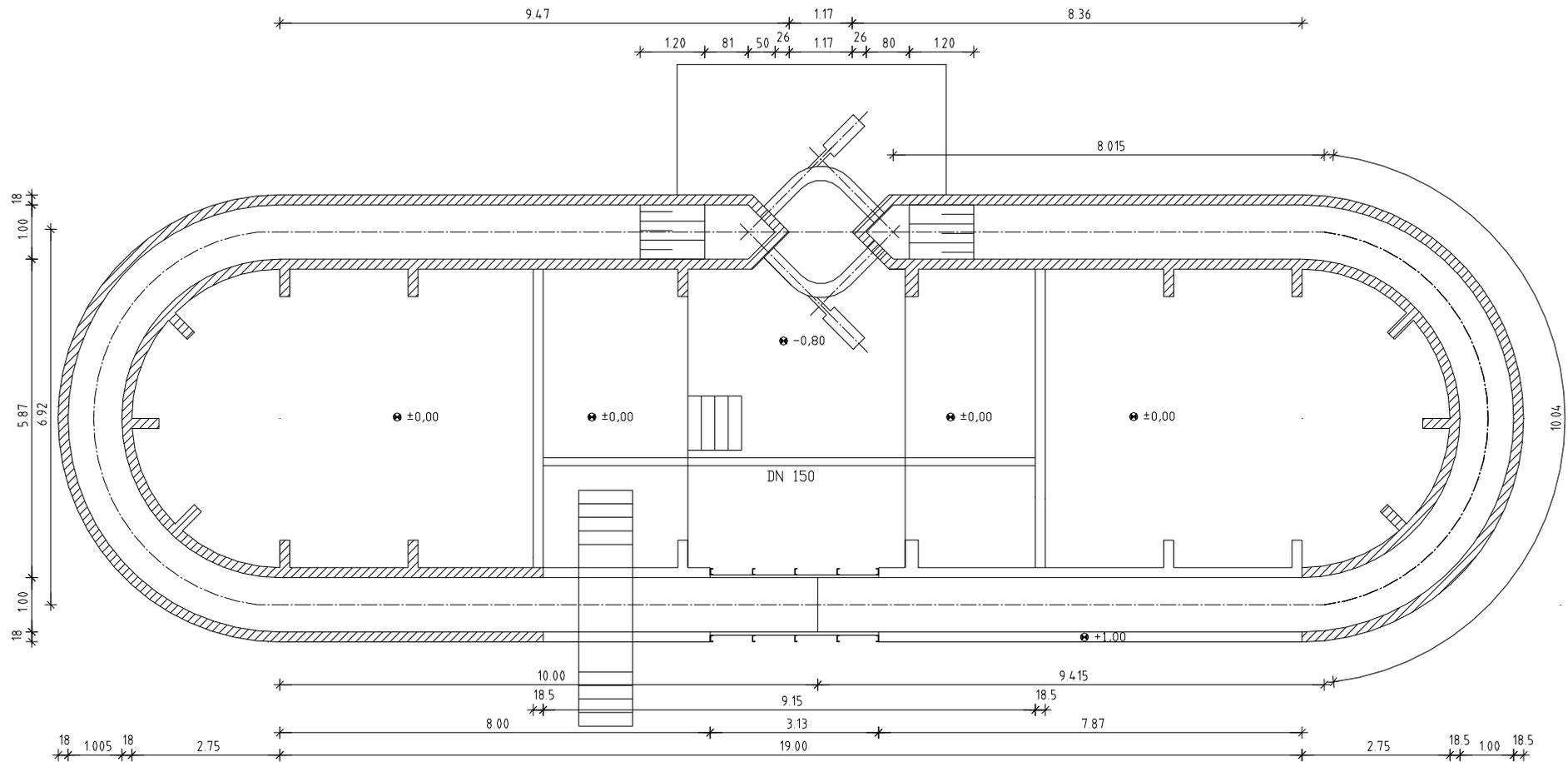


## Materialmodell für zeitabhängiges Verhalten

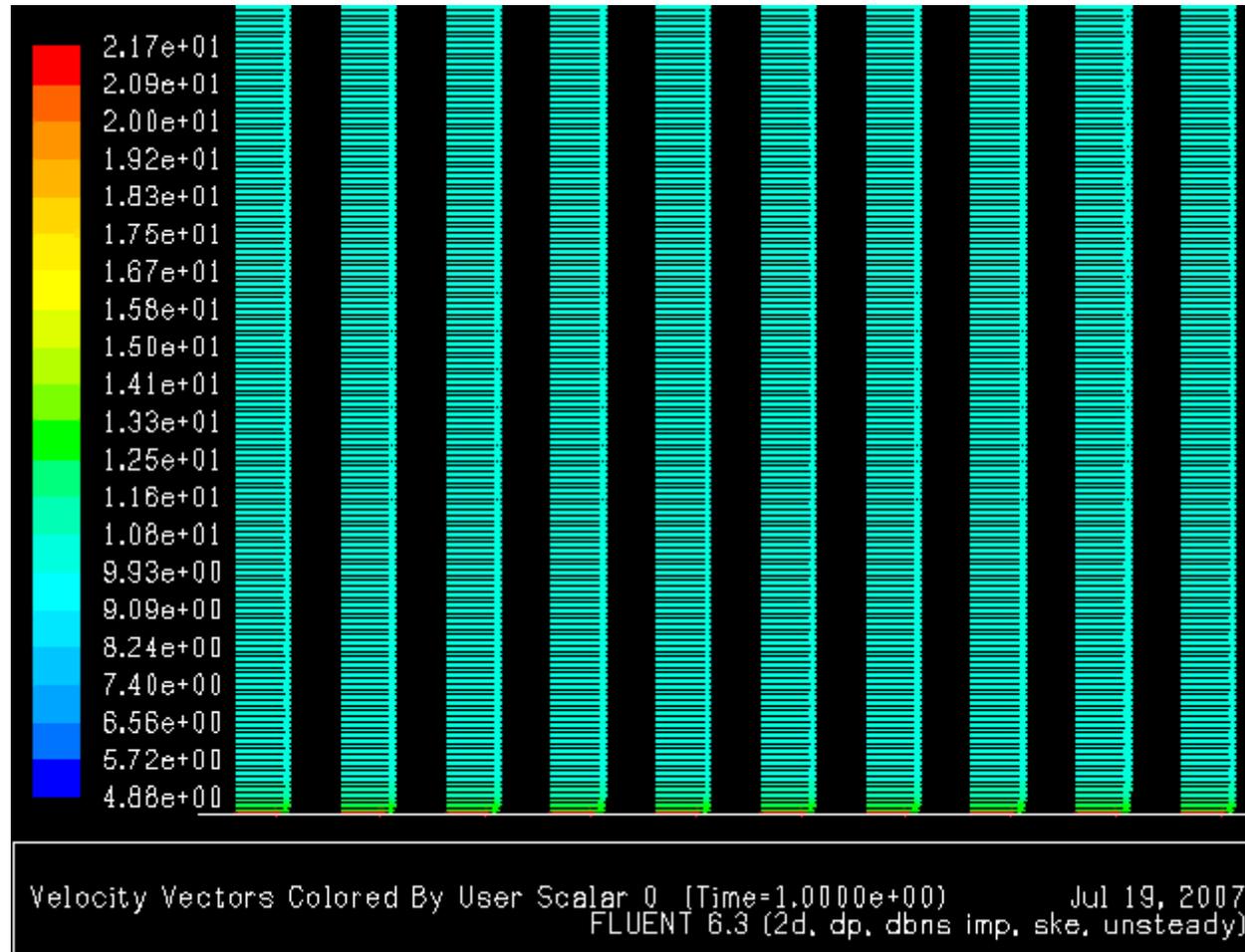
- erlaubt Simulation zeitvariabler Scherverformung



## Umlauf- und Tiderinne des Franzius-Instituts



## Numerische Modellstudie zur Hydrodynamik einer Flüssigschlicksuspension





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**