



*Sonderforschungsbereich 837*

*Rheologie – Workshop, Ruhr-Universität Bochum*

# **Pumpen von Beton: vom Labor in die Praxis**

Egor Secrieru

Viktor Mechtcherine

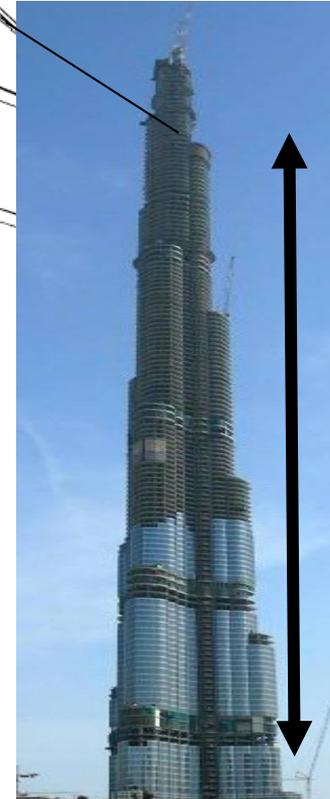
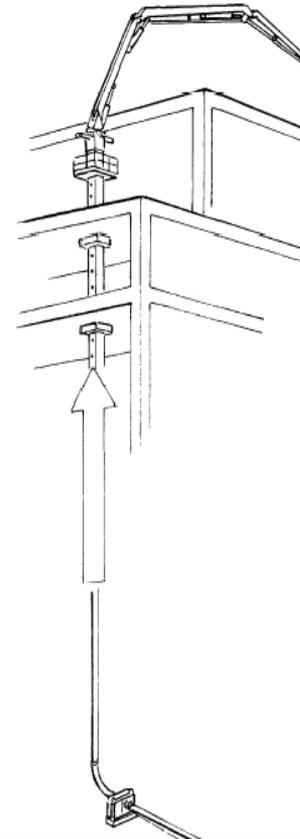


# Die Zahlen sprechen für sich

101 m



[Cifa-Zoomlion]

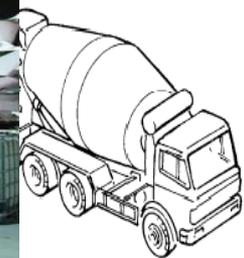


606 m



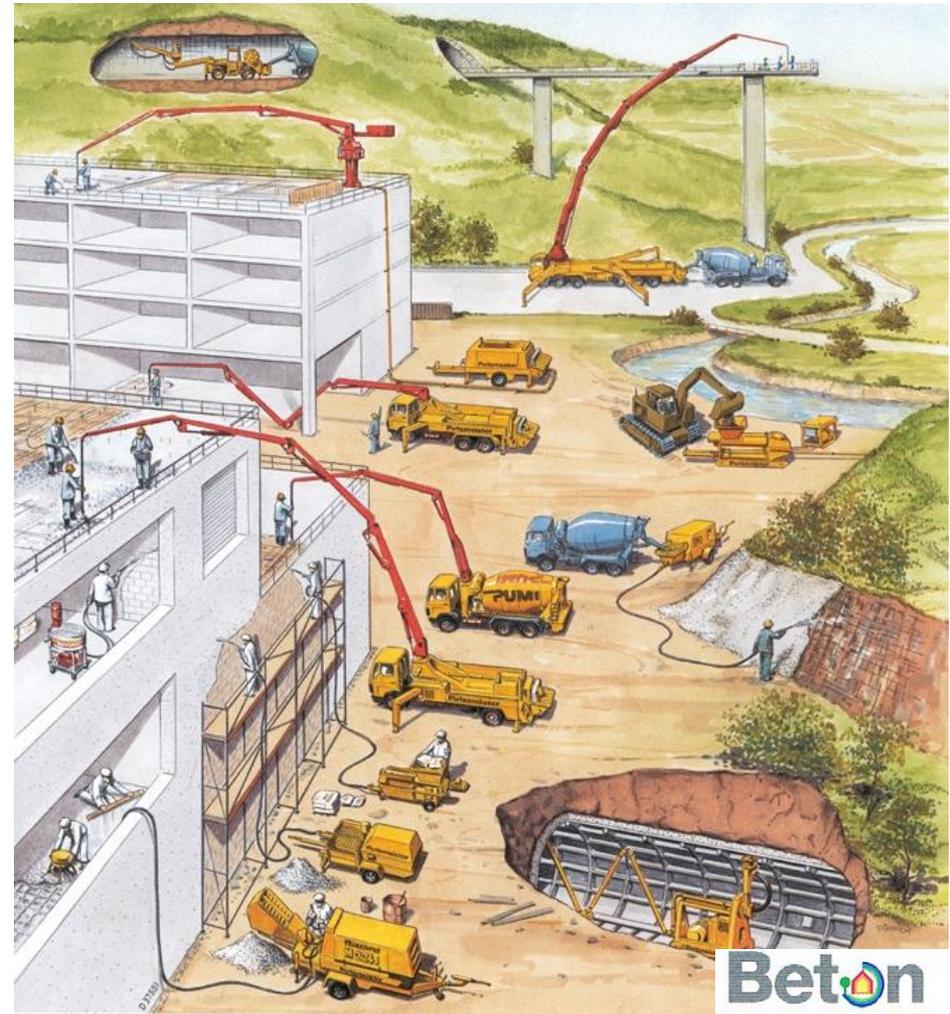
Pump record over 2015 m in long-distance conveying

[Putzmeister]



# Argumente für das Pumpen von Beton

- Wirtschaftlich
- Sparsam
- Zielgenau
- Individuell
- Einfach bestellt
- Präzise
- Sicher/problemlos ?
- Hochwertig
- Sauber
- Kontinuierliches Pumpen
- Umweltfreundlich





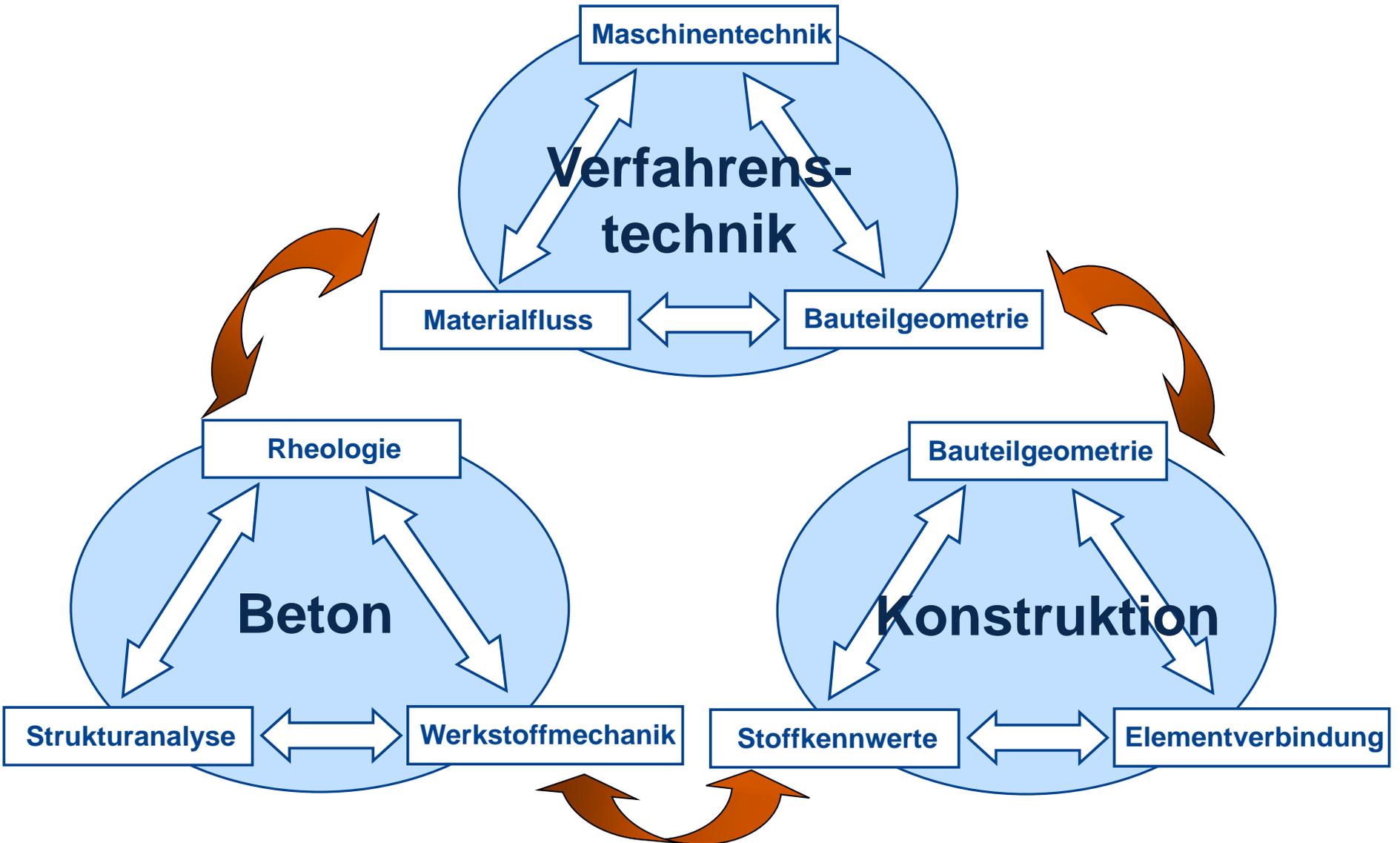
## Bedarf an eingehenden Untersuchungen

- Optimierung der Pumpprozesse und der Betoneigenschaften
- Wahl und Weiterentwicklung der Verfahren und Maschinen
- Problemvermeidung (Verstopfungen, zu hoher Pumpendruck...)

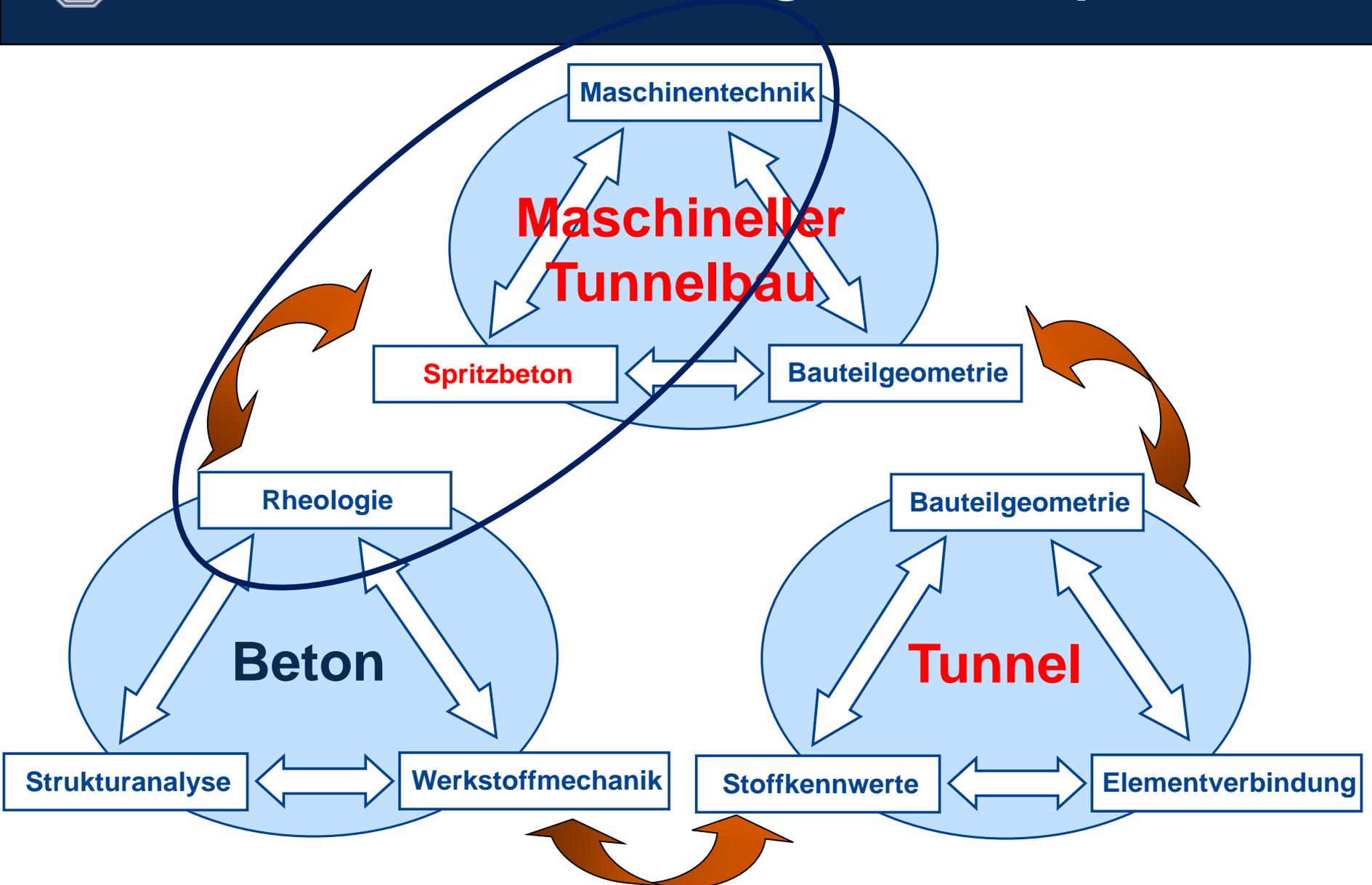


[Putzmeister]

# Moderne Betontechnologie – Konzept



# Moderne Betontechnologie – Konzept

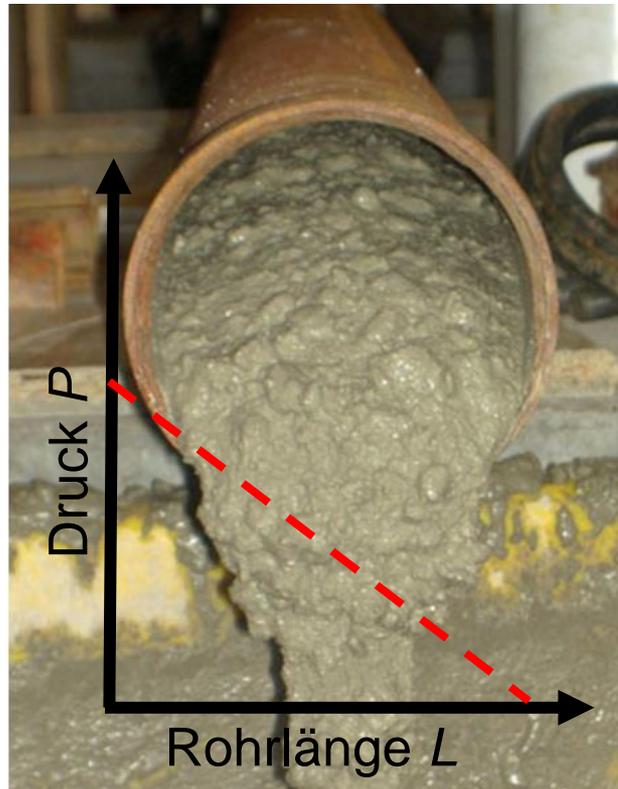




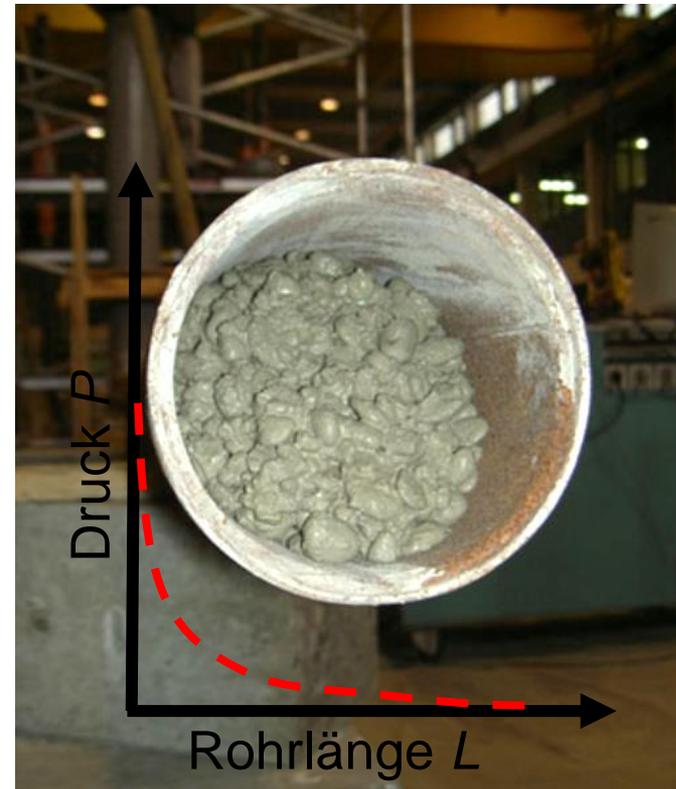
# Betonrheologie – Fließen vs. Reibung

Wann kann die Rheologie eingesetzt werden?

Leimreicher Beton



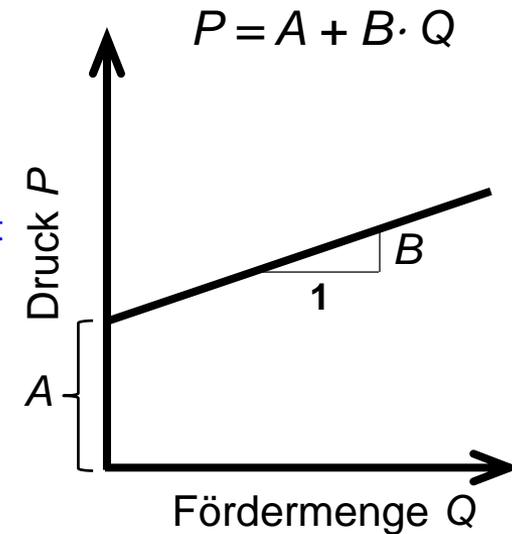
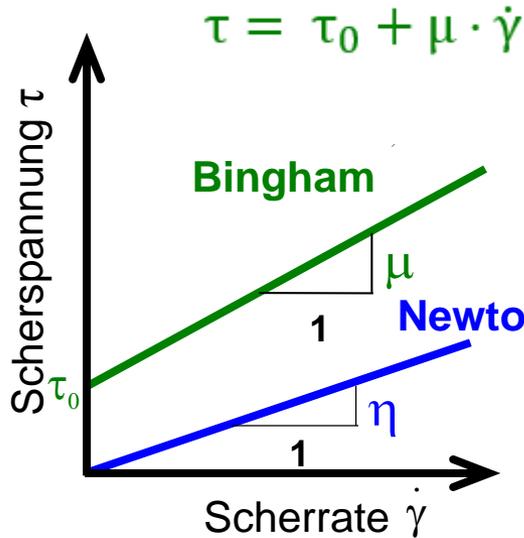
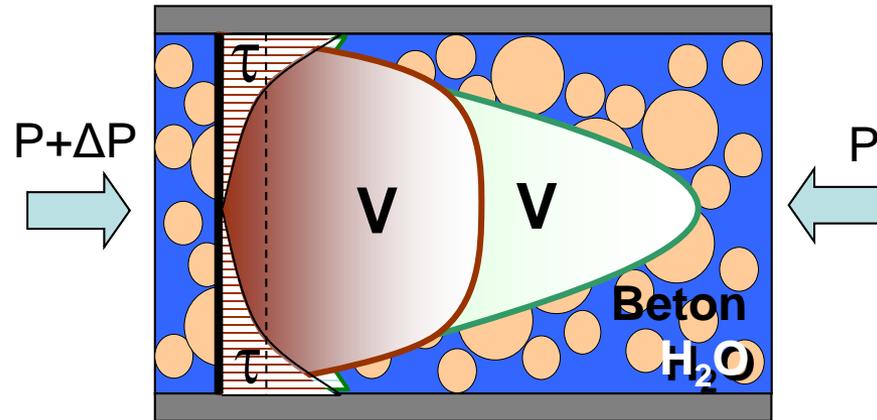
Leimarmer Beton



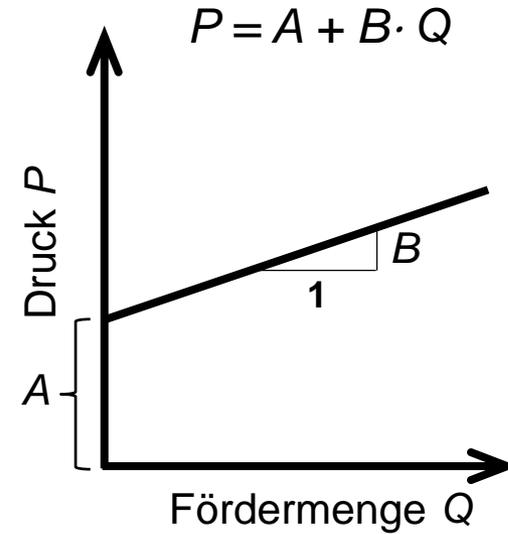
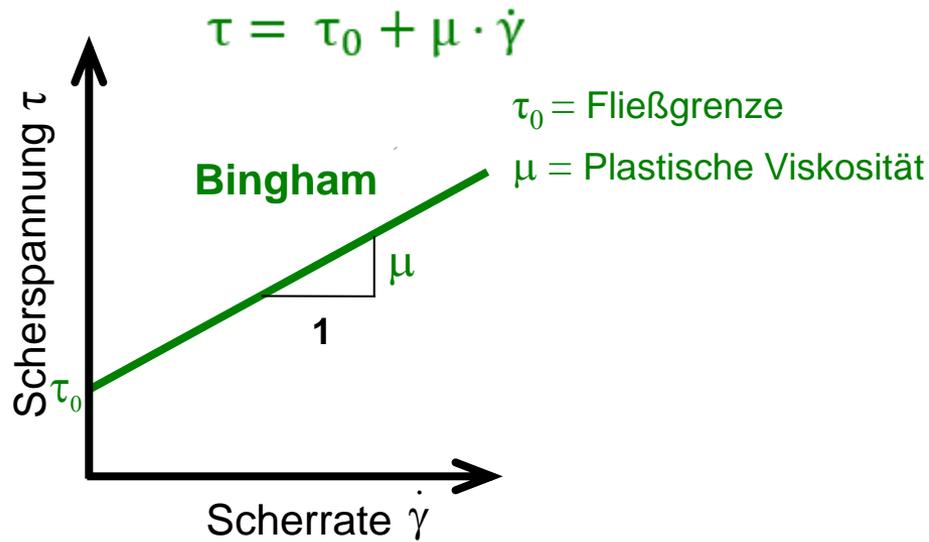
[Jacobsen et al.]



# Modell für Strömung in Rohrleitung



# Frischbetonrheologie vs. Förderparameter



$$\frac{4l}{d} \tau_{0i} + \frac{16 \cdot l}{\pi \cdot d^3} \frac{\mu_i}{e} Q = P = A + B \cdot Q$$



# Gleitschicht



**Normalbeton**

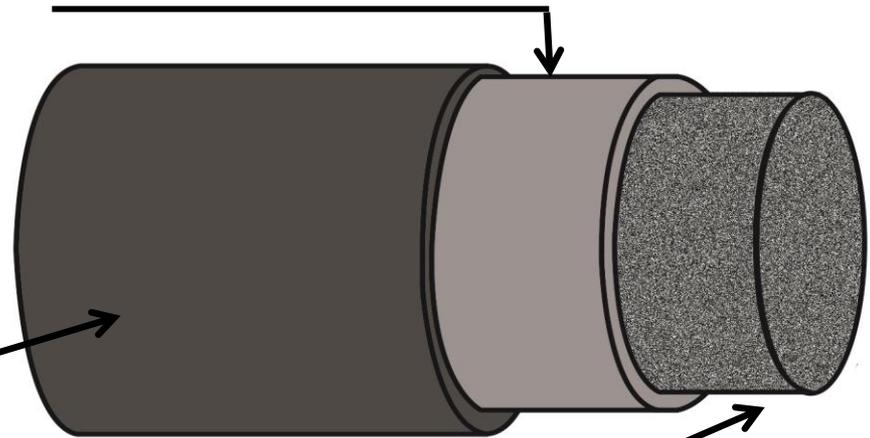


**Hochduktiler Beton**

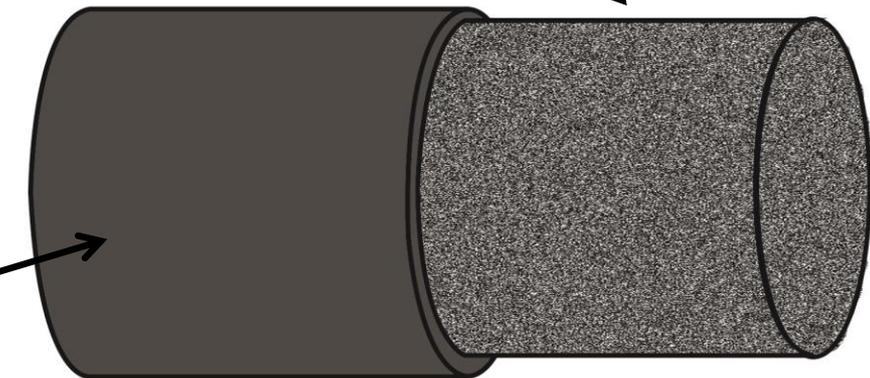
Gleitschicht

Pumprohr

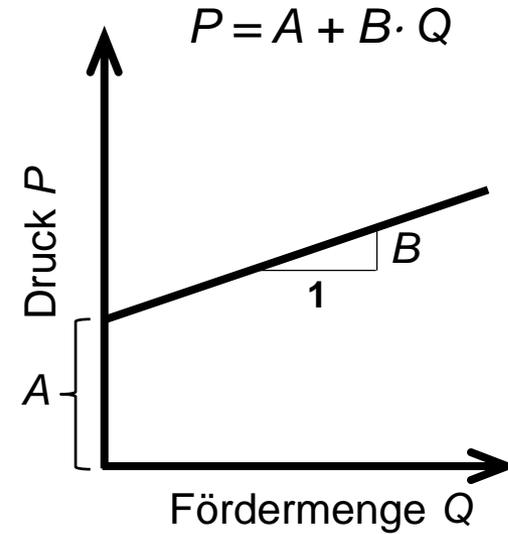
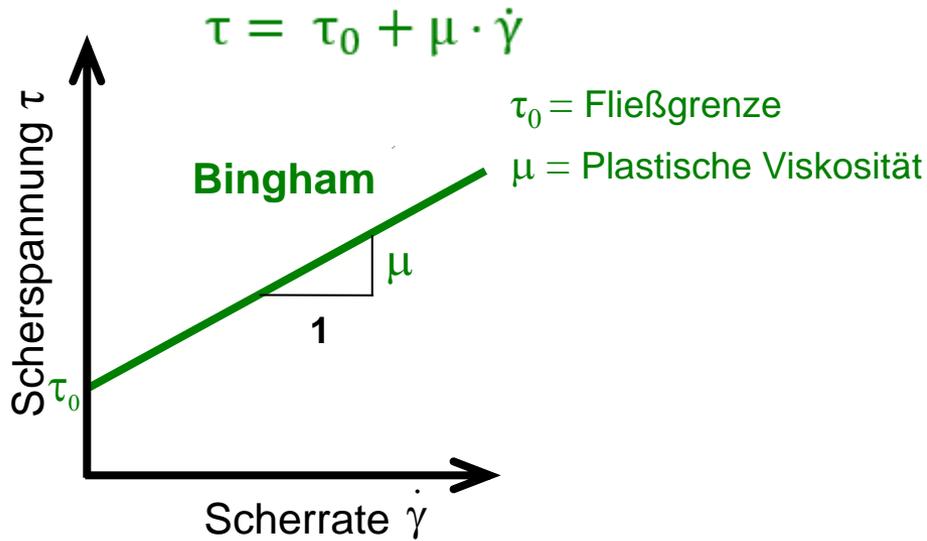
Betonpfropfen



Betonpfropfen



# Frischbetonrheologie vs. Förderparameter

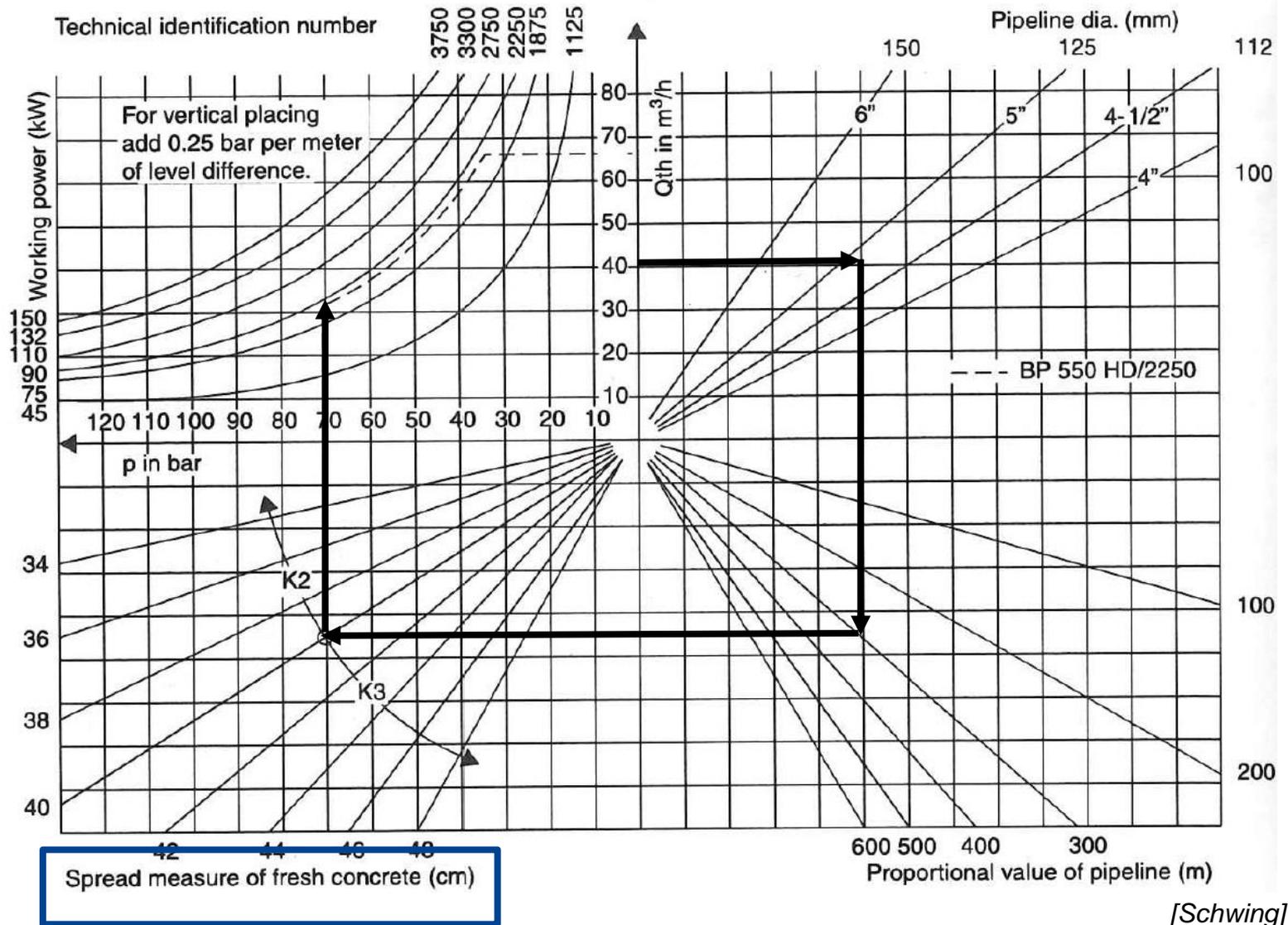


$$\frac{4l}{d} \tau_{0i} + \frac{16 \cdot l}{\pi \cdot d^3} \frac{\mu_i}{e} Q = P = A + B \cdot Q$$

$$\frac{4l}{d} a + \frac{16 \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot d^3} b = P = A + B \cdot Q$$

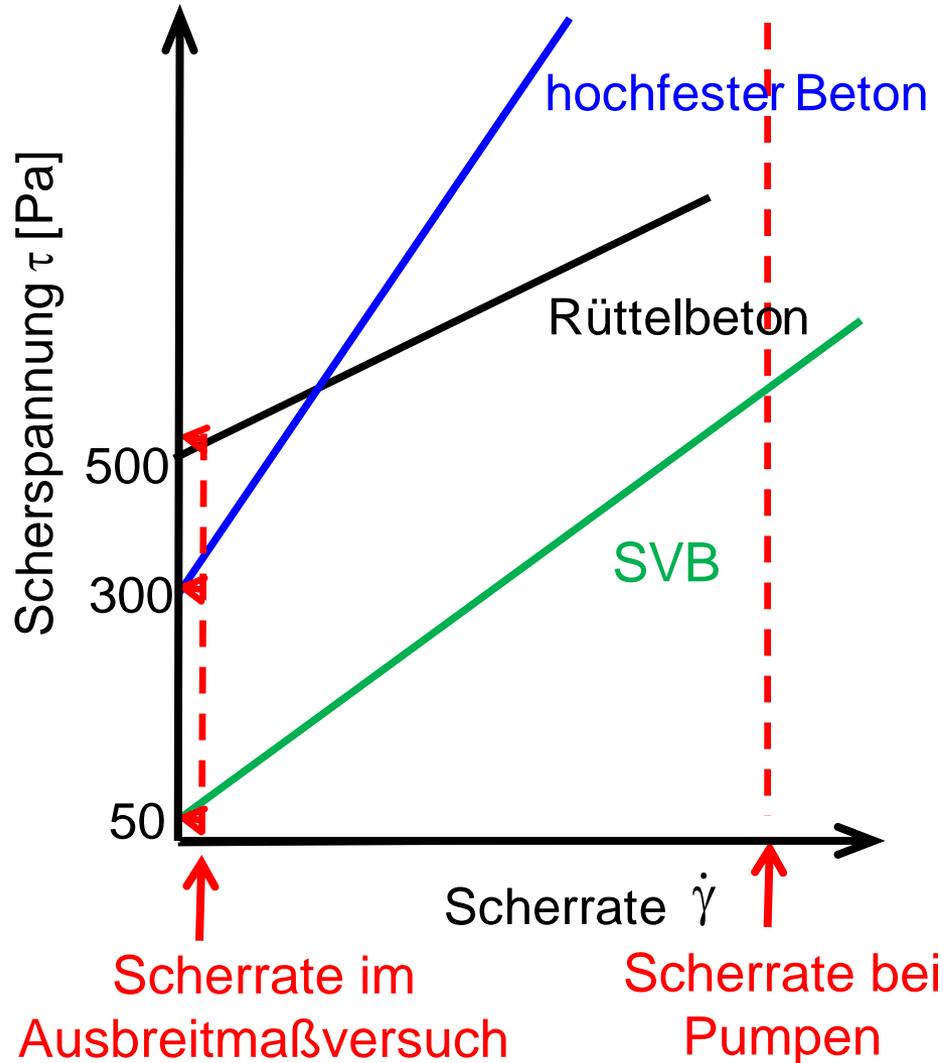
$$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = \frac{d \cdot A}{4l} \\ b = \frac{B \cdot \pi \cdot d^3}{16 \cdot l} \end{array}$$

# Nomogramm des vergangenen Jahrzehnten





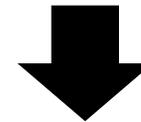
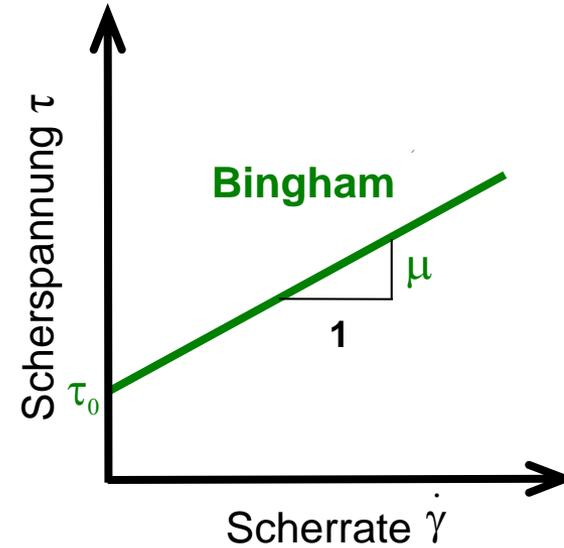
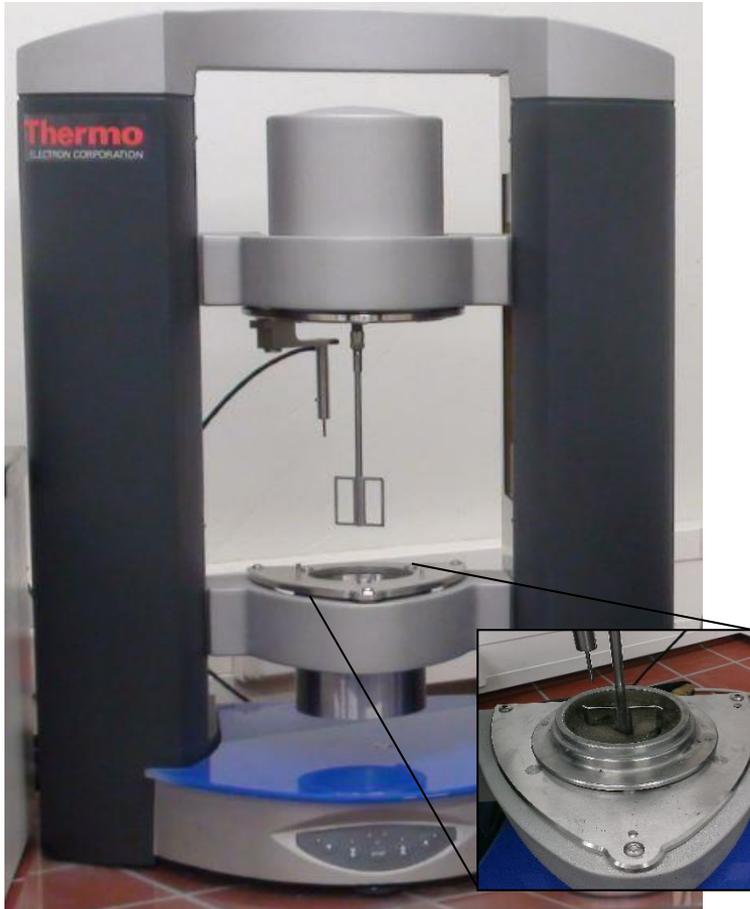
# Ableitung der Förderparameter $a$ und $b$



Fließgrenze-Parameter  $a$

# Ableitung der Förderparameter $a$ und $b$

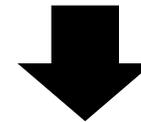
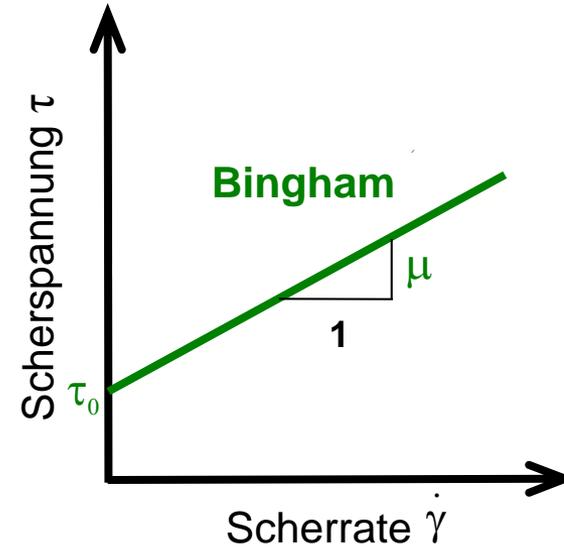
Rheometer



Fließgrenze-Parameter  $a$   
Viskositätsparameter  $b$

# Ableitung der Förderparameter $a$ und $b$

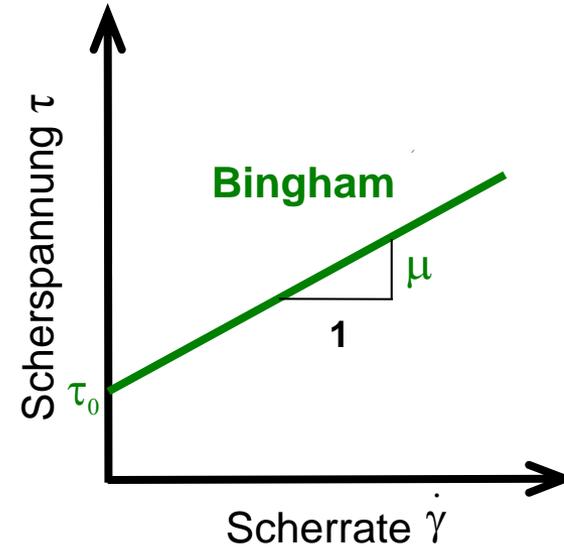
## Viskosimeter



Fließgrenze-Parameter  $a$   
Viskositätsparameter  $b$

# Ableitung der Förderparameter $a$ und $b$

## Viskosimeter

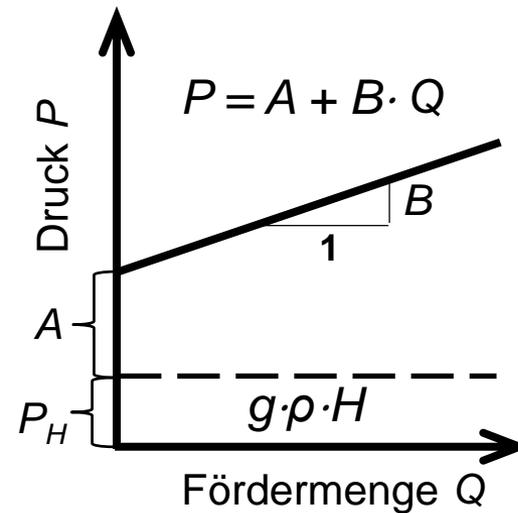
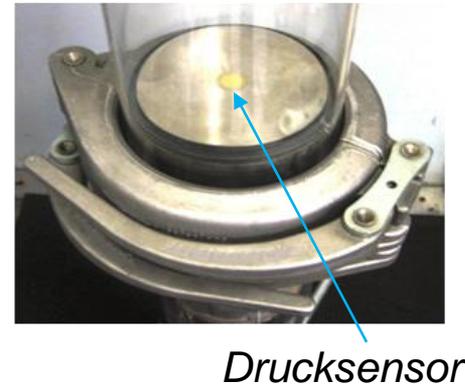
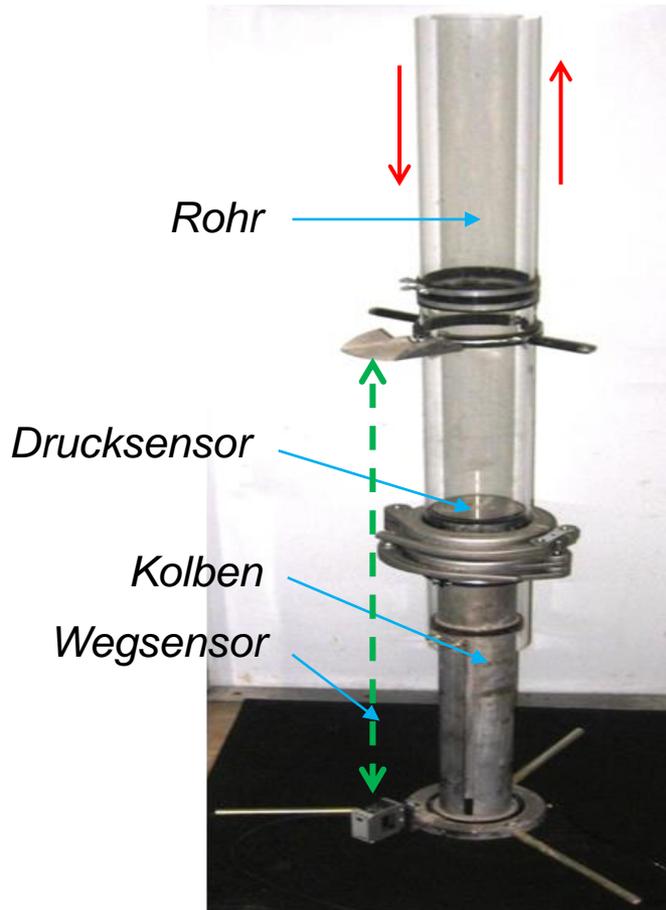


$$\frac{4}{d^3} F = \frac{1 \cdot 10^3}{\pi d^3} \mu = F$$

$$\frac{4}{d^3} a = \frac{1 \cdot 10^3}{\pi d^3} b = P$$

# Messung der Förderparameter $a$ und $b$

## Gleitrohr-Rheometer – Sliding Pipe Rheometer (SLIPER)



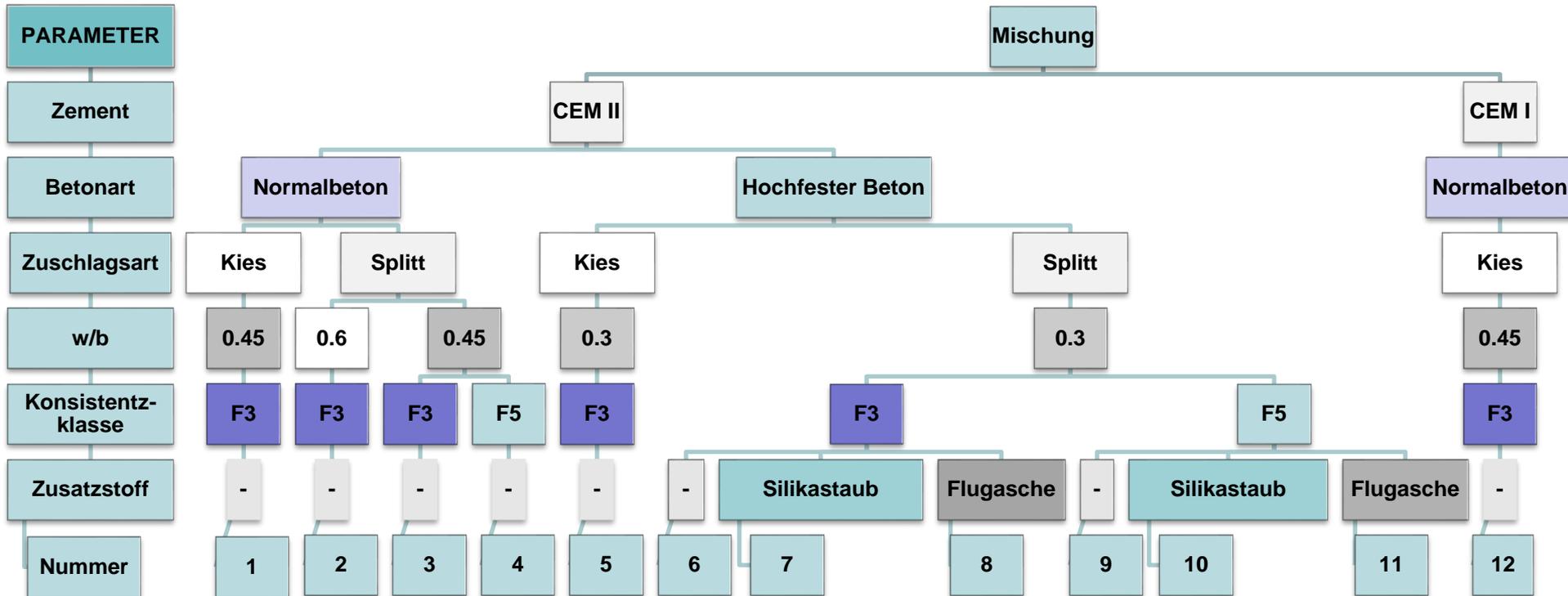
$$a = \frac{d \cdot A}{4l}$$

$$b = \frac{B \cdot \pi \cdot d^3}{16l}$$

Kasten K. Gleitrohr – Rheometer, Ein Verfahren zur Bestimmung der Fließeigenschaften von Dickstoffen in Rohrleitungen. Dissertation, TU Dresden; 2010.



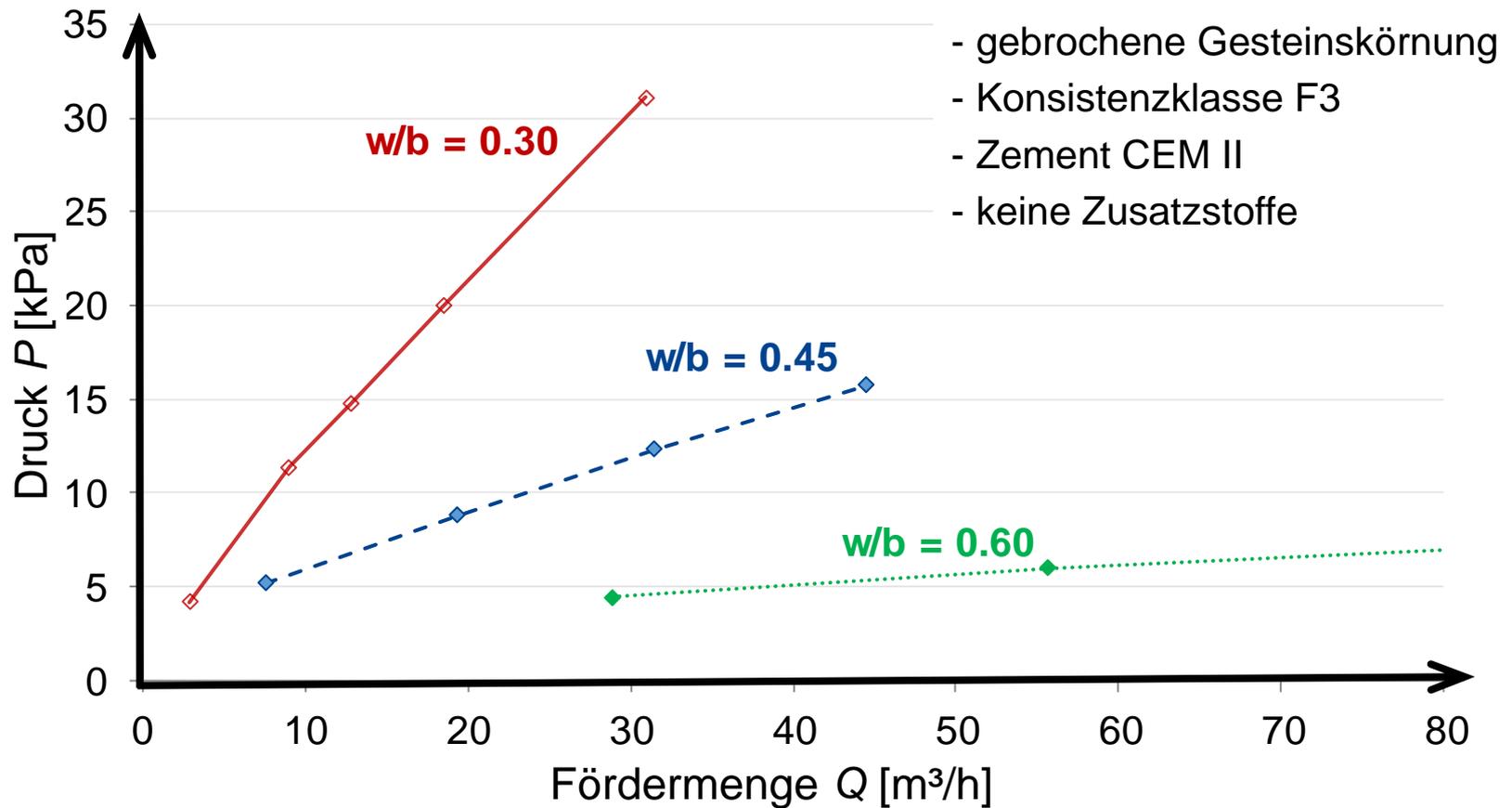
## Parameterstudie



*Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Kasten, K.: Testing pumpability of concrete using Sliding Pipe Rheometer. Construction and Building Materials 53 (2014) 312–323*

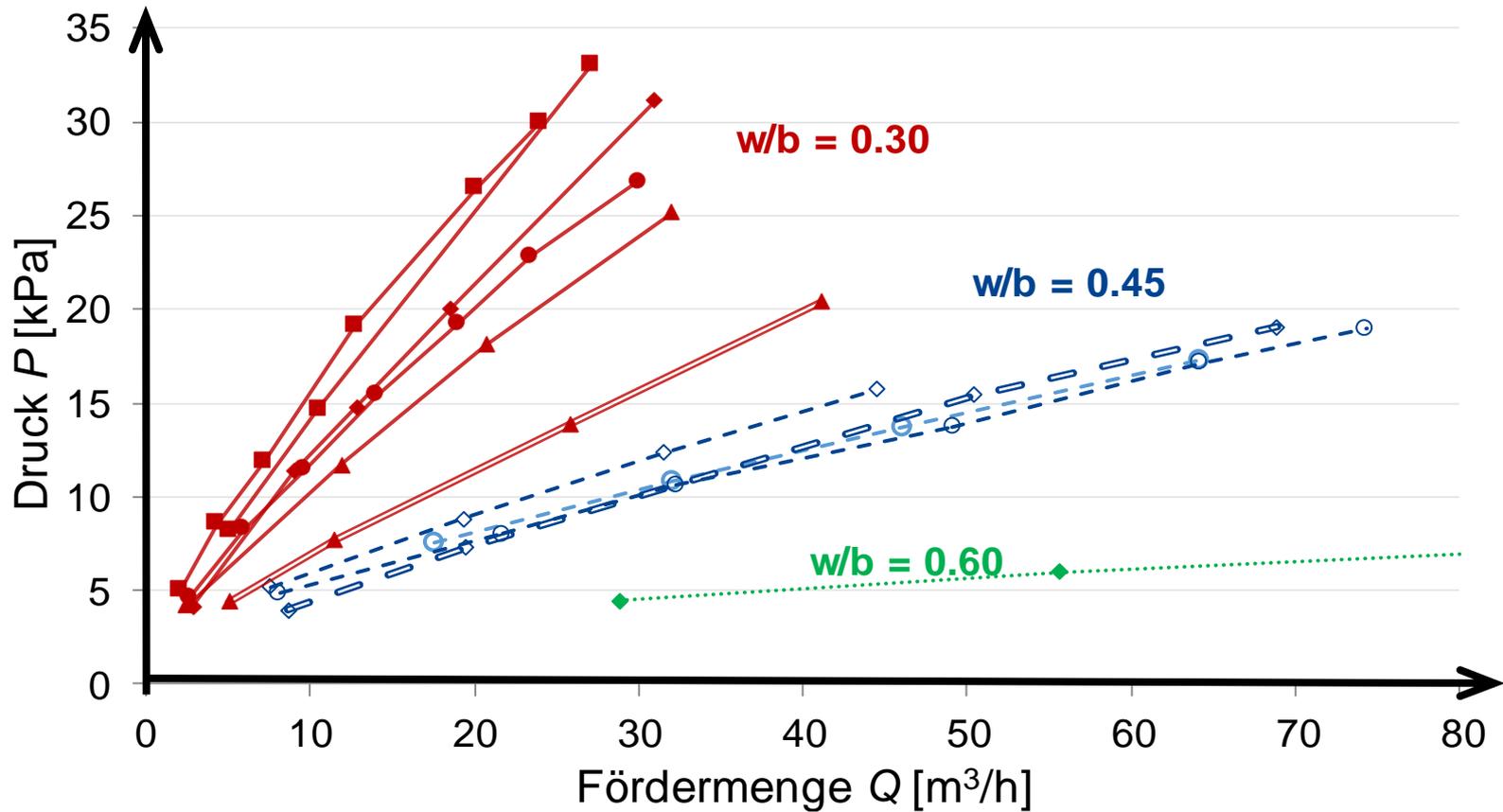


## Einfluss des Wasserzementwertes auf die Pumpbarkeit



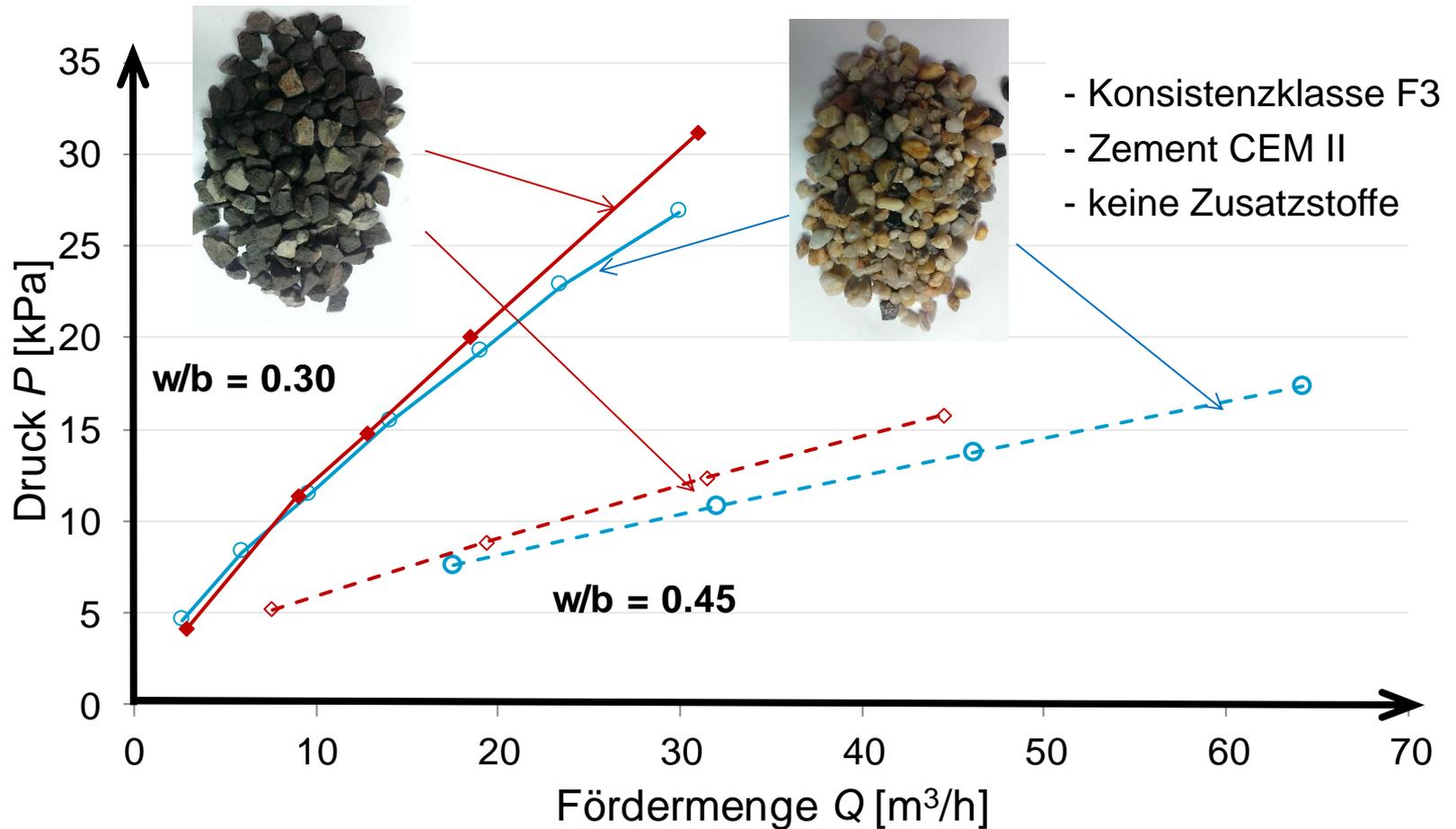


## Einfluss des Wasserzementwertes auf die Pumpbarkeit





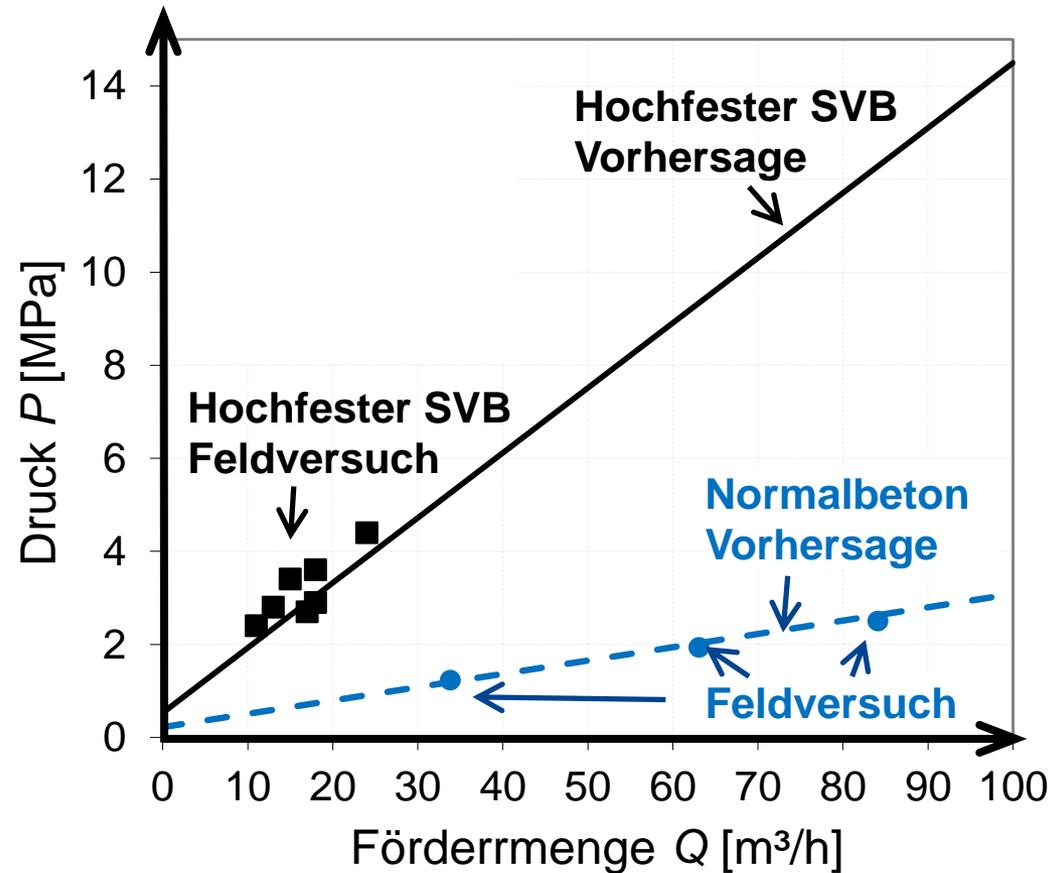
## Einfluss der Art der Gesteinskörnung auf die Pumpbarkeit





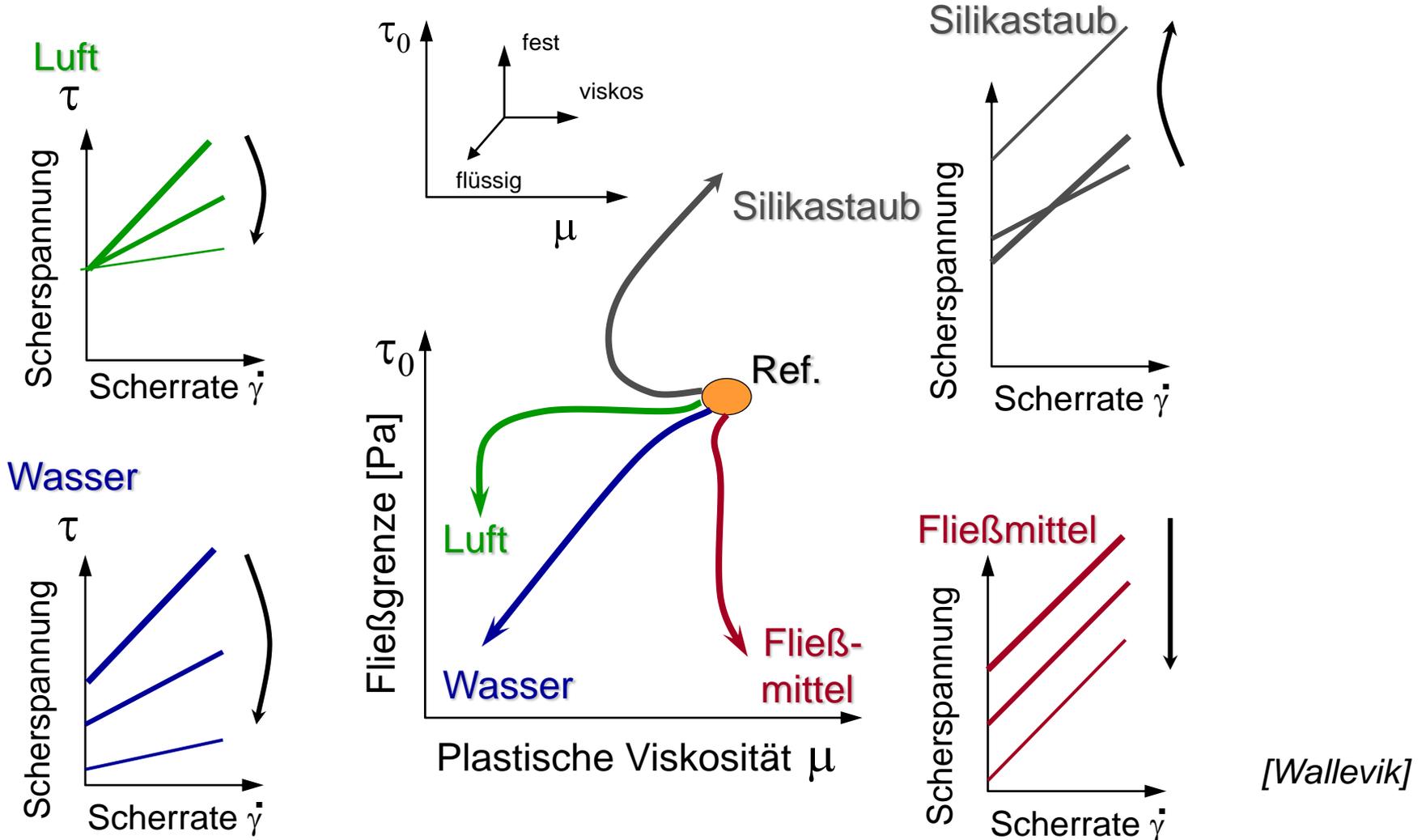
# Validierung der Vorhersage des Pumpendrucks

## Feldversuche vs. Vorhersage anhand Gleitrohr-Rheometer-Daten



Kasten K. Gleitrohr – Rheometer, Ein Verfahren zur Bestimmung der Fließeigenschaften von Dickstoffen in Rohrleitungen. Dissertation, TU Dresden; 2010.

## Einfluss der einzelnen Betonkomponenten auf die Rheologie





## 1. Schwerpunkt: Einfluss der Betonzusammensetzung

### Gesteinskörnungen (aus unterschiedlichen Regionen)

- Rund
- Gebrochen

### Zement

- Wasserbedarf
- Thixotropie

### Zusatzmittel

- Luftporenbildner
- Fließmittel
- Stabilisierer
- SAP



### Zusatzstoffe

- Flugasche
- Kalksteinmehl
- Silikastaub

### Fasern

- Faserzugabe in der Mischanlage / im Mischfahrzeug



## 2. Schwerpunkt: Anwendungsbereiche

### Industriefussböden

- Konsistenzklassen F4 bis F6
- Stahlfaserbeton (unterschiedliche Fasertypen)
- Beton mit Polymerfasern



### Sonderbetone

- Hochfester Beton
- Selbstverdichtender Beton
- Hochduktiler Beton (SHCC)





## 3. Schwerpunkt: Temperatur und Betonalter

### Temperatur

- Betontemperatur 10 °C bis 30 °C

### Betonalter

- beginnendes Rücksteifen
- Fahrtweg
- Wirkungen verschiedener Zusatzmittel





## 4. Schwerpunkt: Gerätetechnik

### Pumpmaschinen

- Maschinentypen verschiedener Hersteller (PM, Schwing, CIFA, Waitzinger, ...)
- Offener und geschlossener Ölkreislauf (Trichtergeometrie, S-Rohr, ...)

### Umpumpkreislauf

- Rohrdurchmesser
- Rohrlänge
- Förderhöhe





## 5. Schwerpunkt: Numerische Modellierung

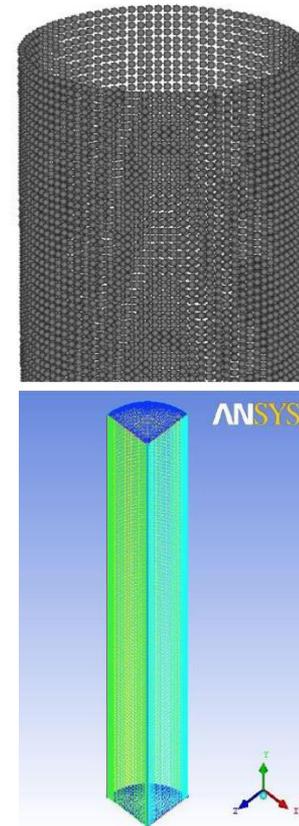
### Simulation von Förderprozessen

#### Partikelmodellierung

- Distinkt-Element-Methoden (DEM)
- Mikro- und makromechanischer Ebene
- Partikelsedimentation/-segregation
- Partikelreibung
- Ausbilden der Gleitschicht

#### Numerische Strömungsmechanik

- Finite-Element-Methode (FEM)
- Förderstrom, Druckverlust





# Danke für Ihr Interesse!

Europa fördert Sachsen.

