



INSTITUT FÜR  
KERAMIK, GLAS- UND BAUSTOFFTECHNIK



# Beitrag zur Rheologie von grobkörnigen Suspensionen

*Dipl.-Ing. Stefan Schafföner*



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



# Problemstellung

- Herkömmliche Methoden der Rheometrie stoßen bei grobkörnigen Suspensionen an Grenzen
- Weg zur Charakterisierung feuerfester Gießmassen
- Aufbau, Inbetriebnahme und erste Ergebnisse eines Kugelfallviskosimeters



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



## Gegenstand aktueller Forschung

- Möglichkeit der Near Net Shape Formgebung kompliziert geformter feuerfester Funktionsbauteile
- sehr gute Automatisierbarkeit des Prozesses
- mechanische Entwässerung des Schlickers energetisch günstig



# *Schlicker für den Druckguss*

- Feinkornanteil ( $<0,315\text{mm}$ ) zzgl. Wasser und Additive (**Matrix**)
- Grobkornanteil ( $0,315\text{mm} \leq d \leq 1\text{mm}$ )

## Grobkornanteil

- Minimiert Schwindung
- Erhöht die Kriechbeständigkeit
- Verbessert die Korrosions- und Erosionsbeständigkeit
- Verbessert die Temperaturwechselbeständigkeit



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



# Rheologische Charakterisierung

- Rheologie ist die Wissenschaft vom Fließen
- Fließverhalten wichtig für die Auslegung von Apparaten und Anlagen
- beeinflusst Entformbarkeit und Gestaltungsmöglichkeit der Formlinge
- **Ziel:** Verständnis des rheologischen Verhaltens der Gießschlicker





## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



# Bisherige Ansätze und Grenzen

- **Scale-Up von Rotationsrheometern**

*dabei ( $d \cdot 10 = s$ ), Strömungsfeld? Effektiver Scherspalt?*

- **Kugel(fall)viskosimeter**

*transparente Fluide (Höppler), bewegte/beschleunigte Kugel*

- **Ausbreitmaß**

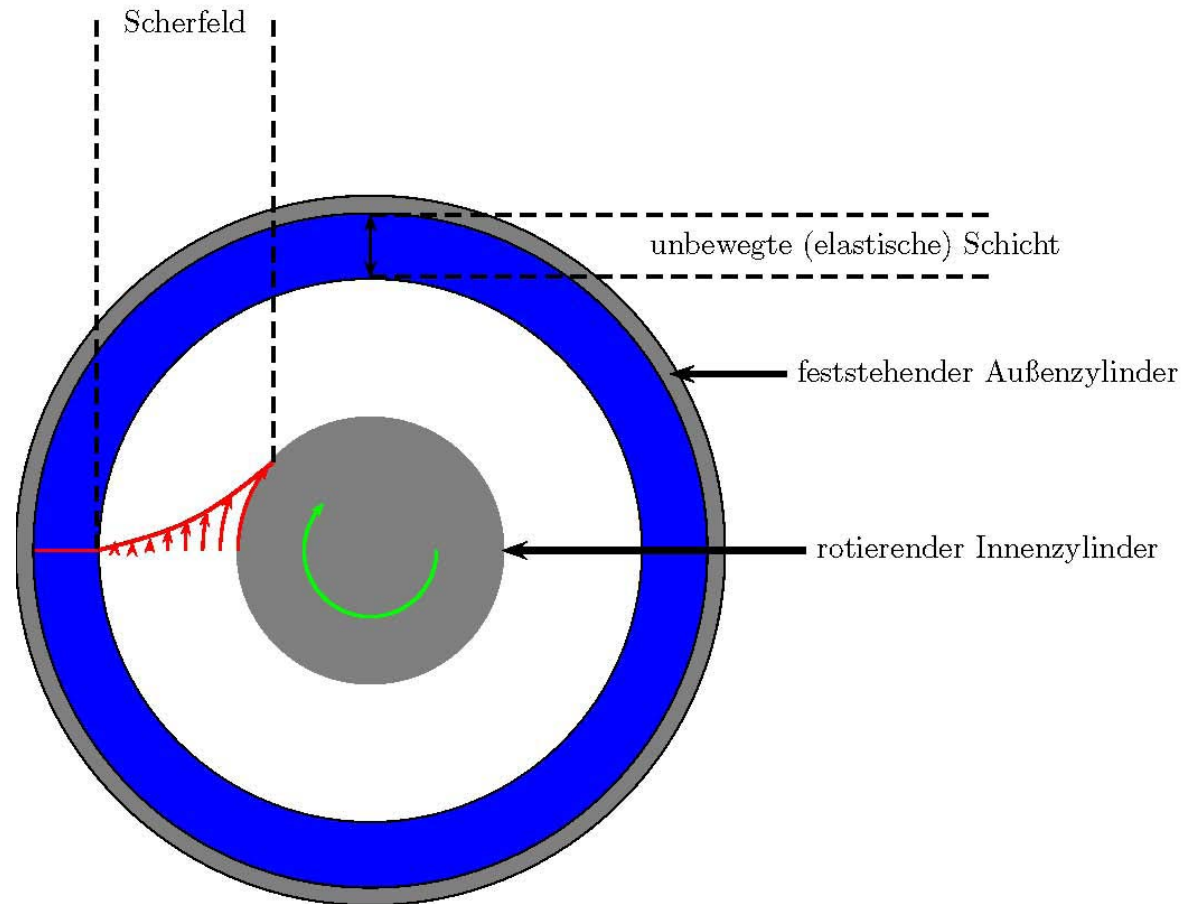
*ungeeignet für Druckguss suspensionen*

- **Auslaufzeit**

*Vergleich möglich, Düsengeometrie? Scherverhältnisse?*



# Scherspalt des Rotationsrheometers



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



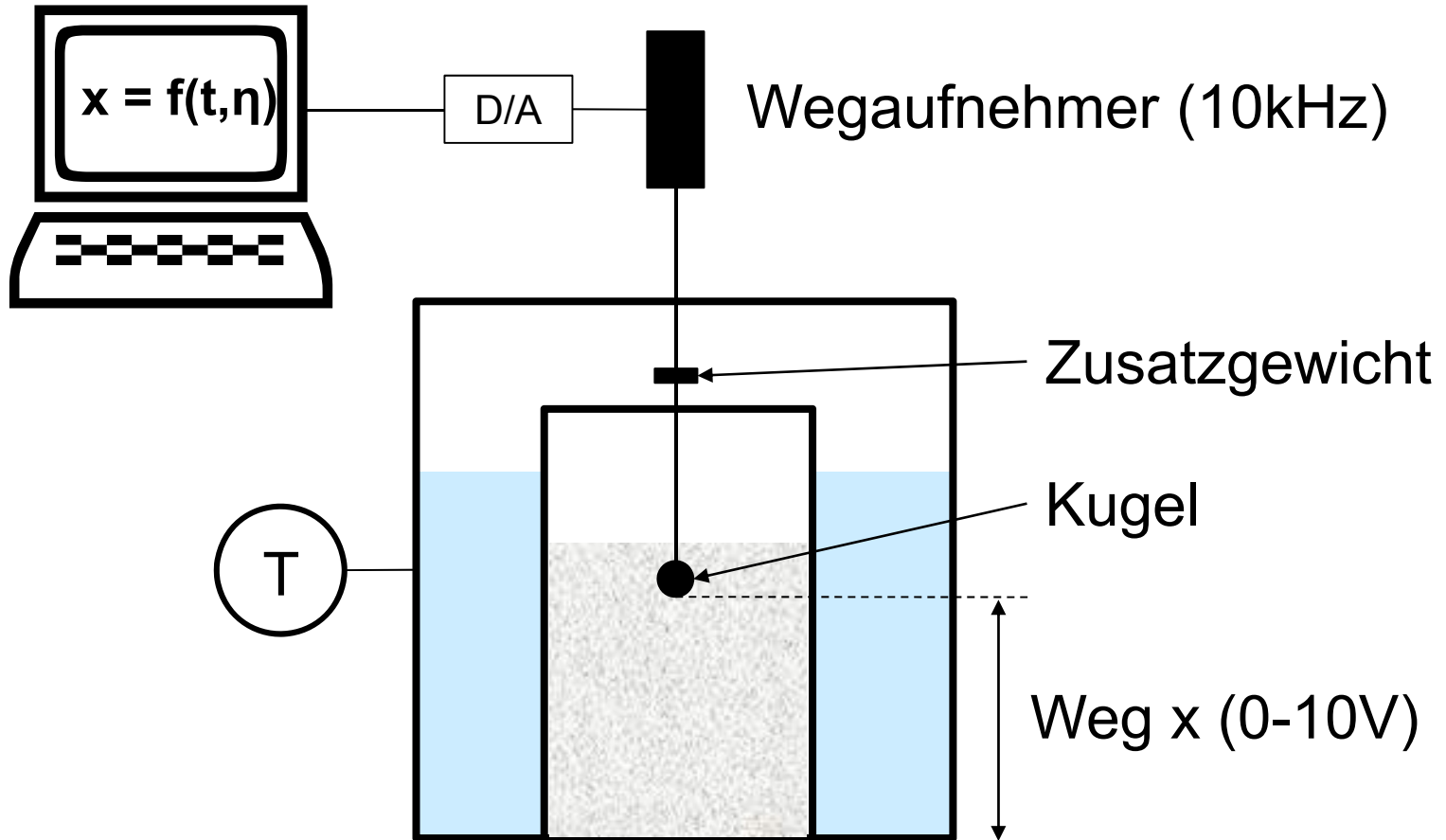
- Fallkörper mit ausreichender Masse
- Fallweg hinreichend für beschleunigte Bewegung
- Temperierung für konstante Versuchsbedingungen
- möglichst robust und inert gegen  
verschiedene Medien, gleichzeitig genau



- reibungsarm
- sehr hohe Messfrequenz (10kHz)
- Messwerte sehr gut reproduzierbar
- Ausgangsspannung wird mit Software  
in Messweg umgerechnet



# Aufbau



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

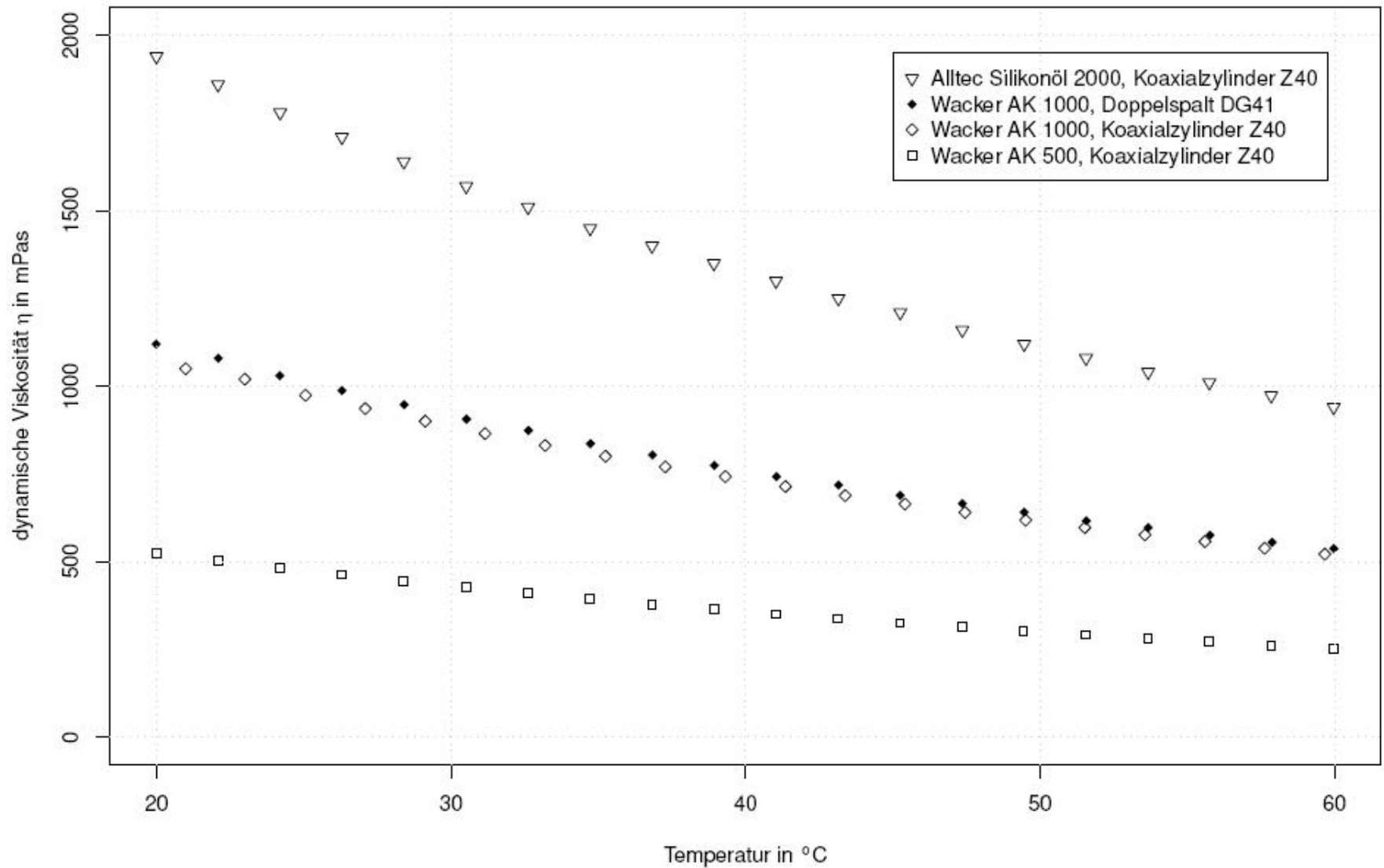
- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick

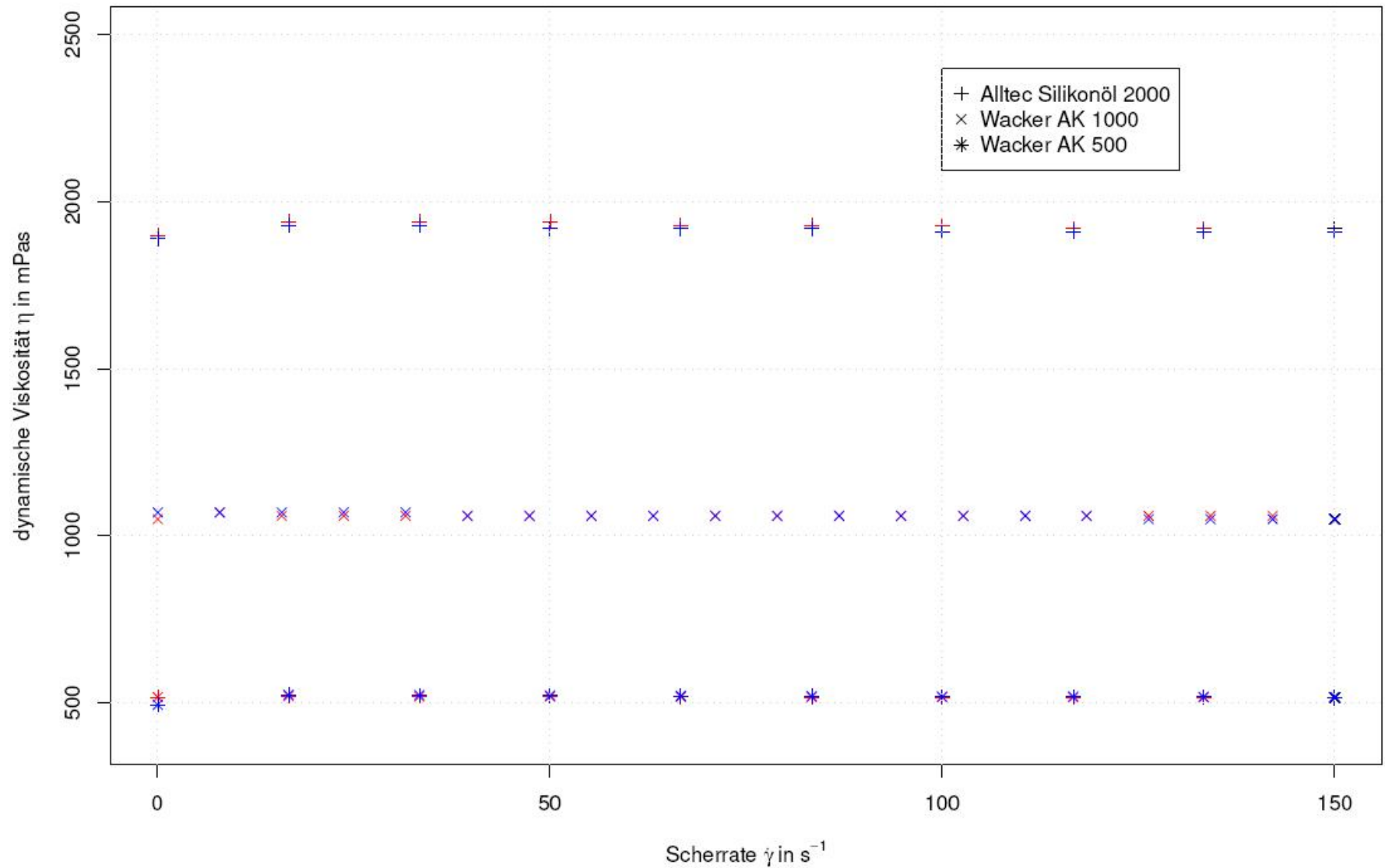




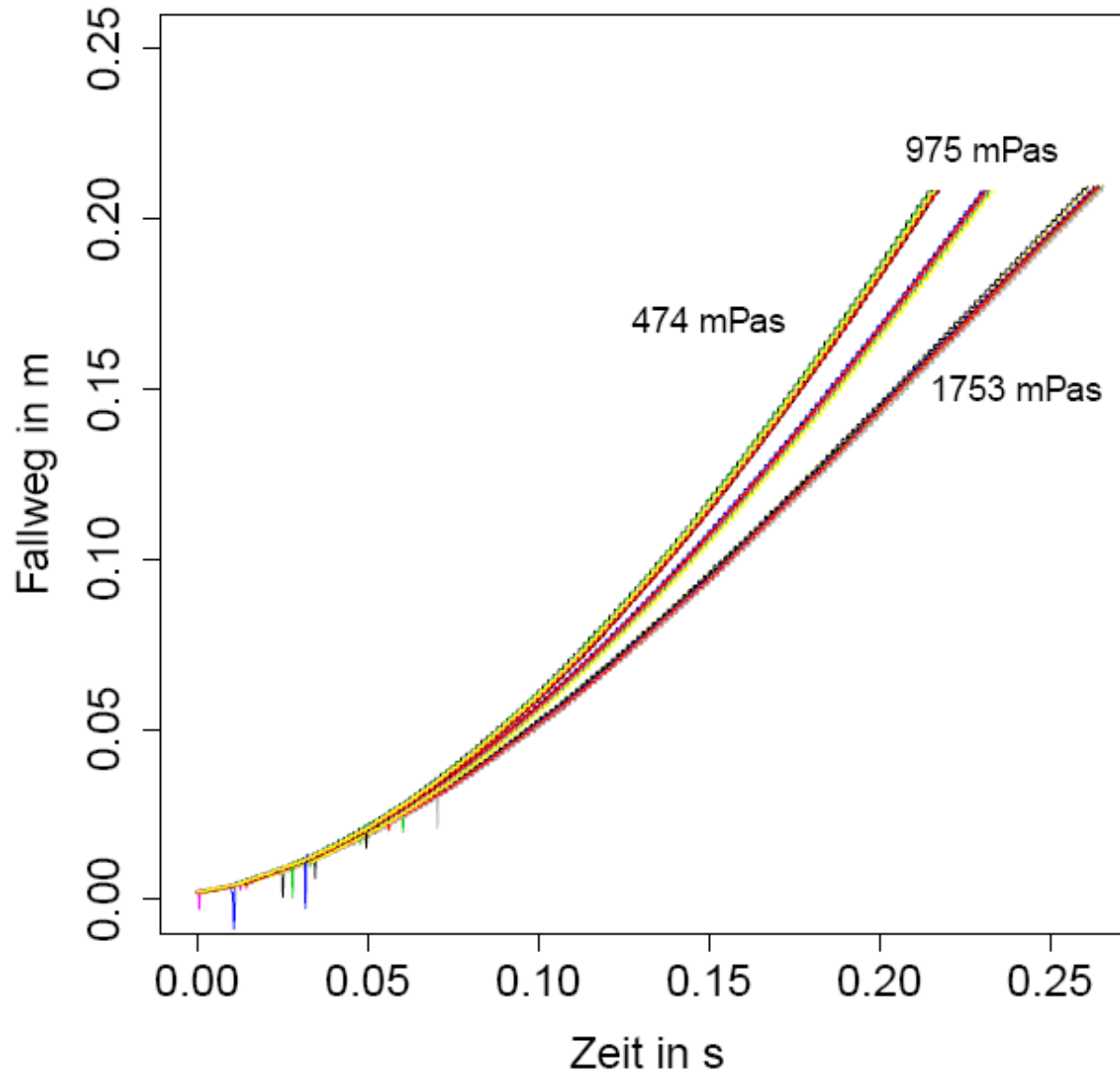
# Kalibriermedien



# Kalibriermedien



# Messkurven



## Messweg

- Problem: Beschreibung der Weg-Zeit-Funktion
- Buchenau\*: Integration der Kräftebilanz an einer Kugel bei schleichender Umströmung
- Die gegebene Form der Bewegungsgleichung war nicht anwendbar.

\***Buchenau, G.:** Die rheologischen Eigenschaften eines selbstverdichtenden Betons mit Steinmehlen.  
Dissertation, (2003) , Technische Universität Berlin



# Bewegungsbahn

## Allgemeine Form der Bewegungsgleichung

$$x(t, \eta) = A \cdot (\exp(-B \cdot t) - 1) + C \cdot t + D \quad (1)$$

$$A \cdot B \approx \text{const.} \quad (2)$$

$$x(t, \eta) = (\exp(-B \cdot t) - 1) + C \cdot t + D \quad (3)$$

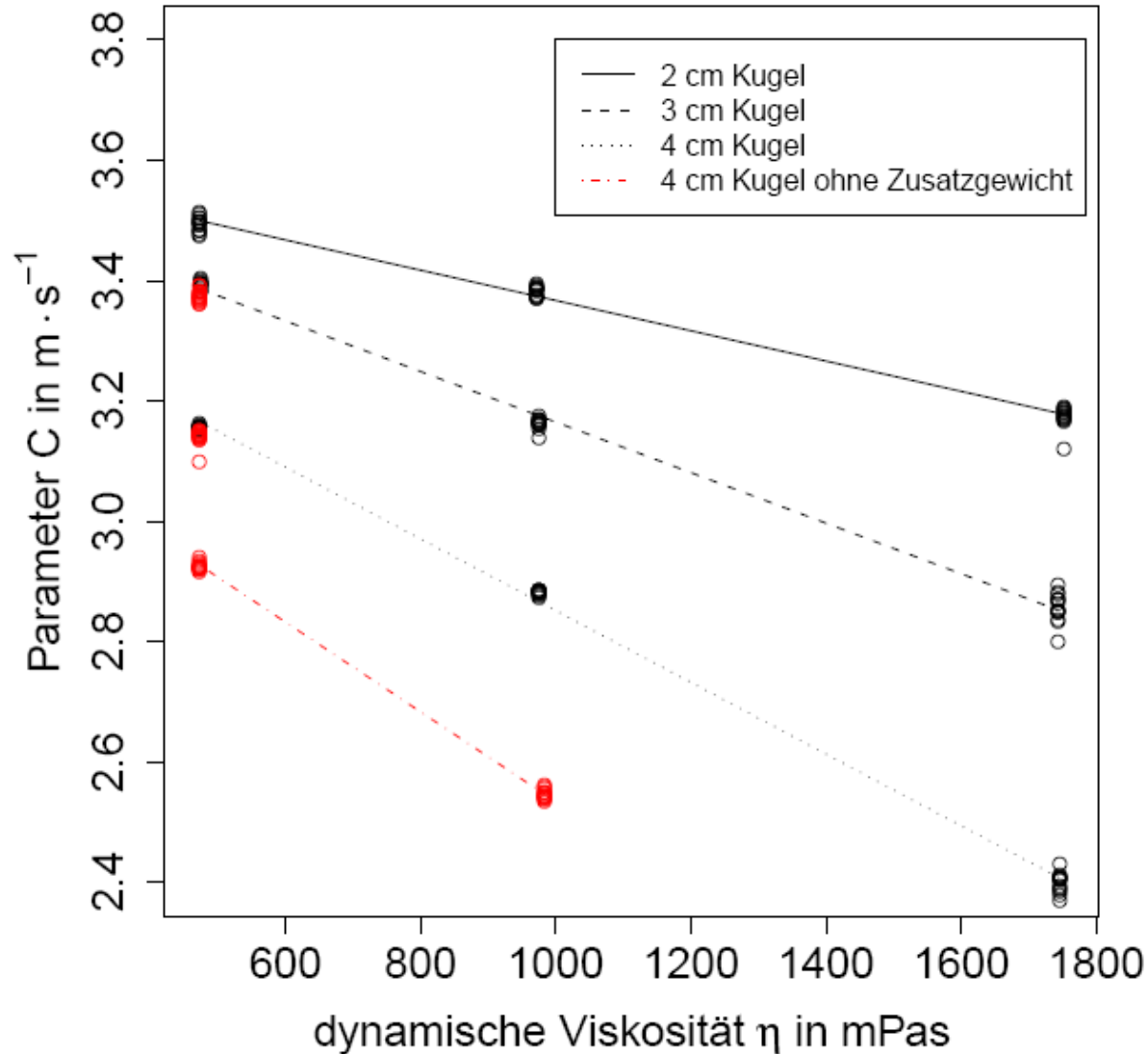
$B$  = Beschleunigungsverzögerung

$C$  = Stationäre Sinkgeschwindigkeit

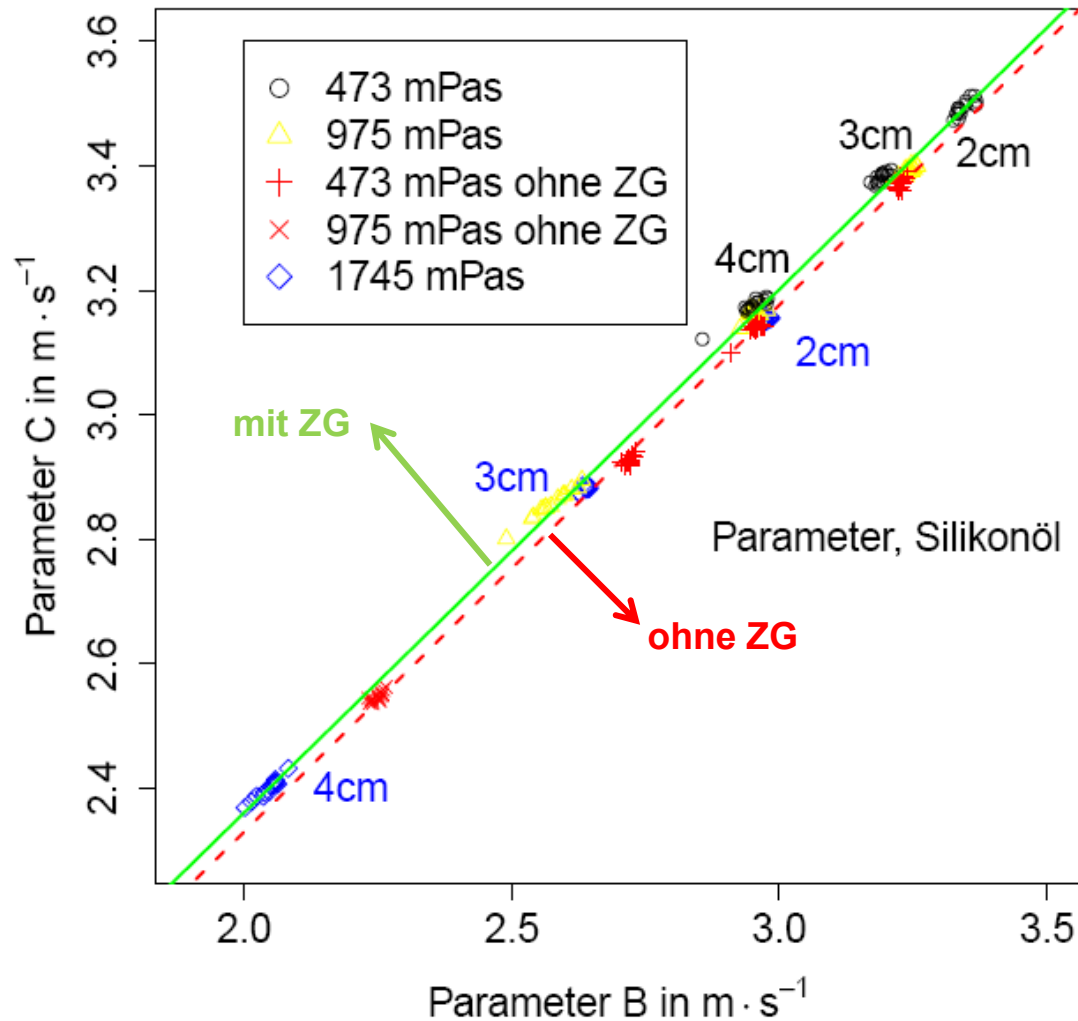


# Vom Parameter zur Viskosität

$$\dot{\gamma} = \alpha \frac{v}{d}$$

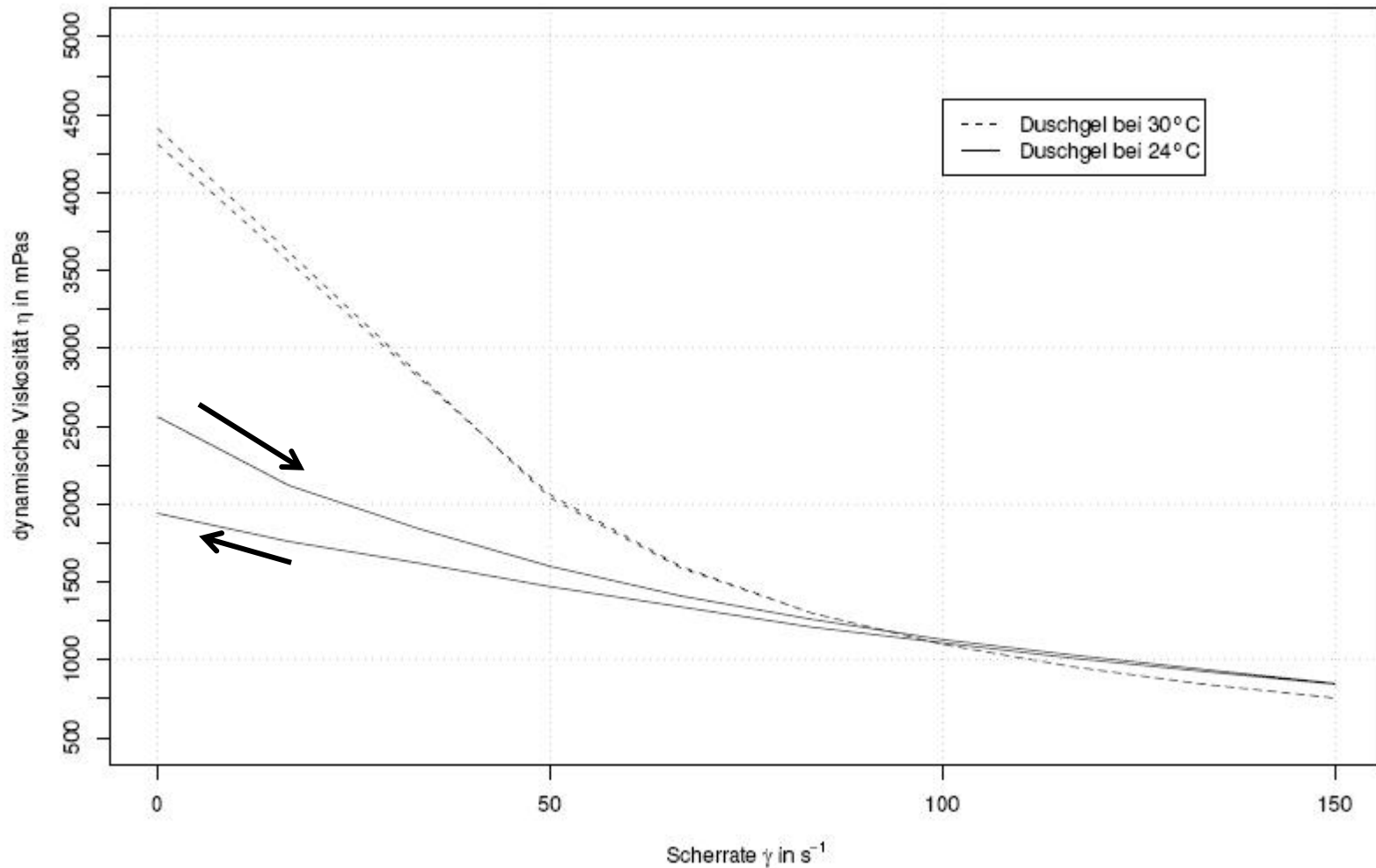


# C = z · B Für Newton'sche Flüssigkeiten



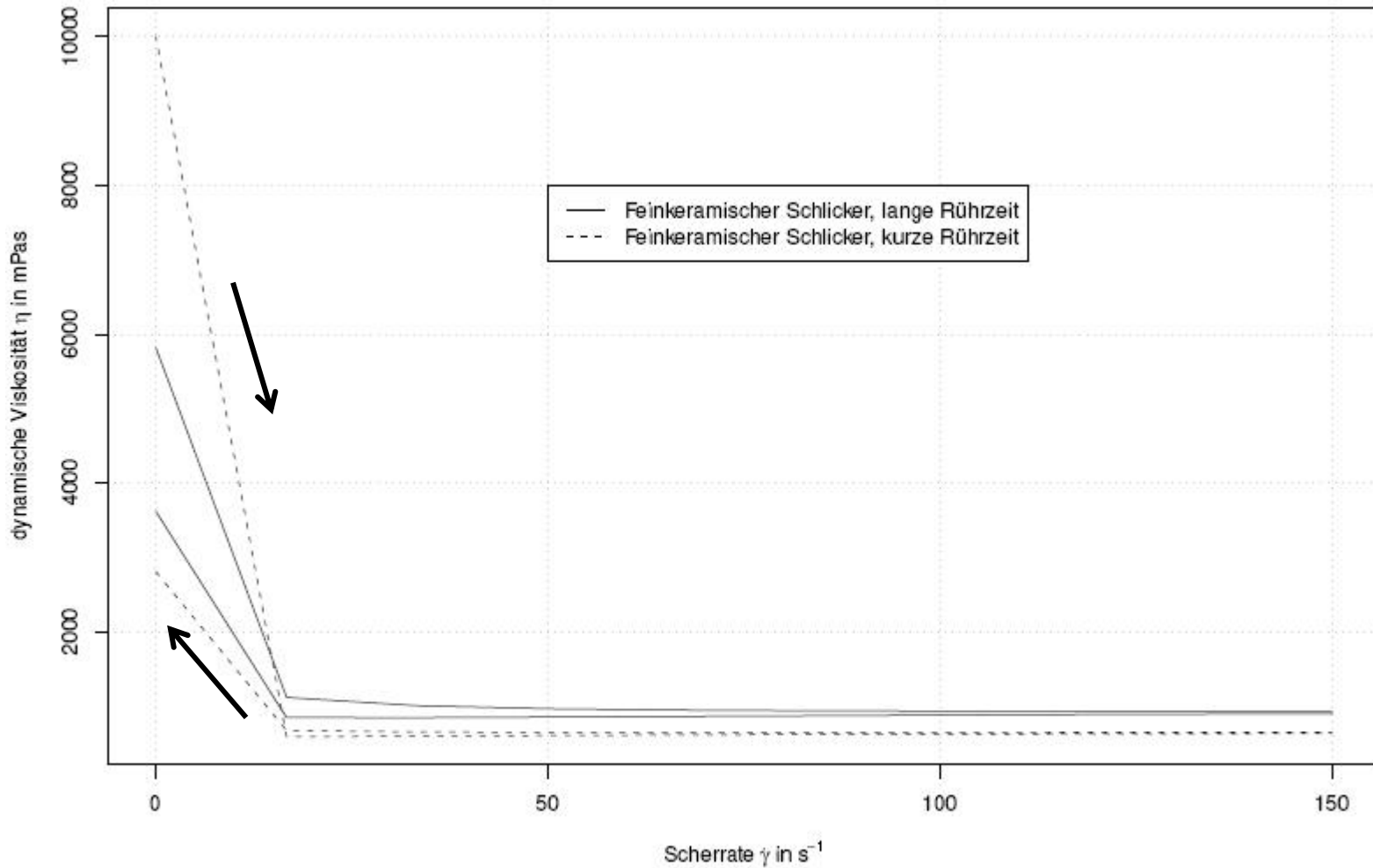
**z = const.**

# Strukturviskose Flüssigkeiten

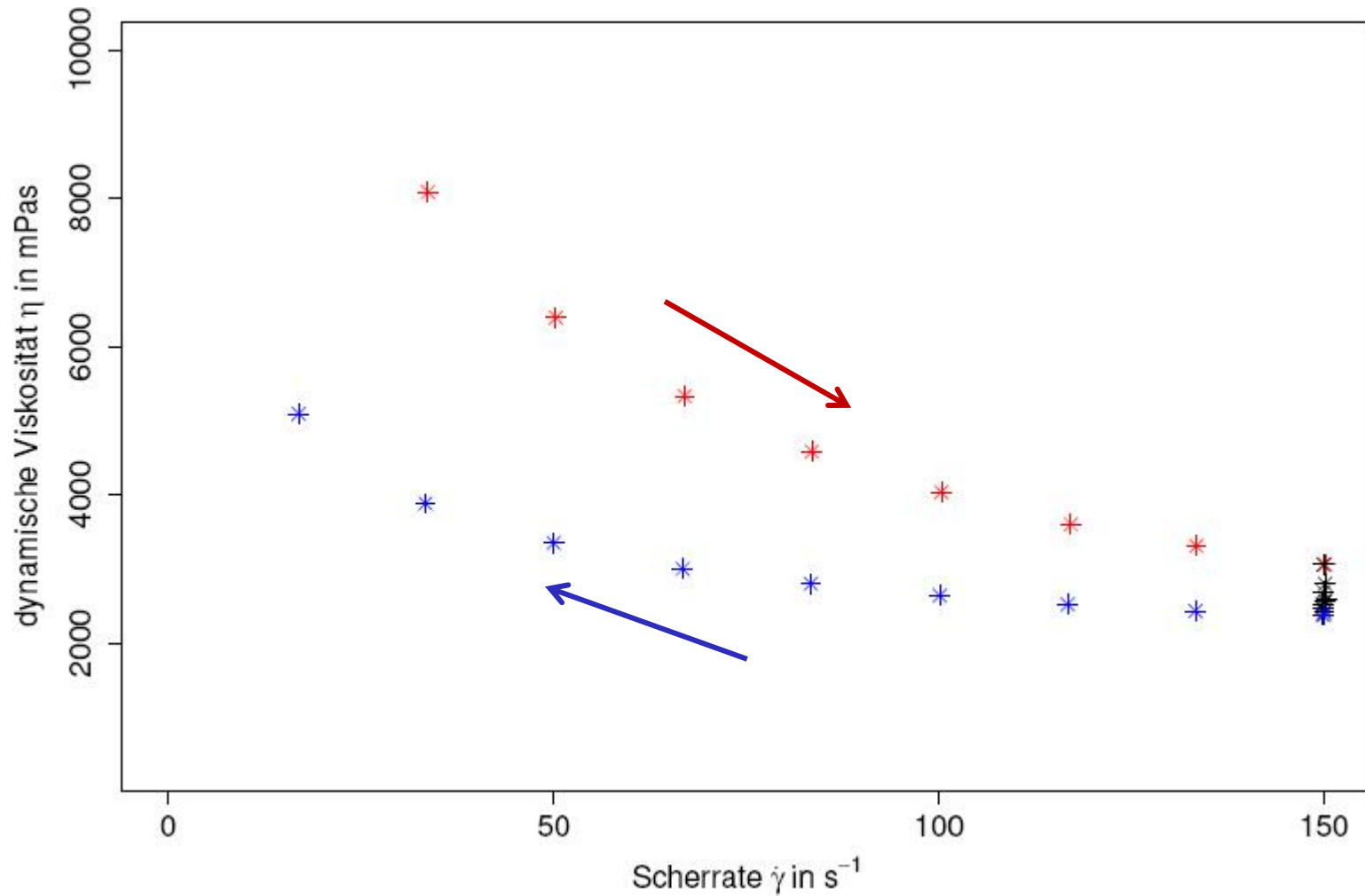




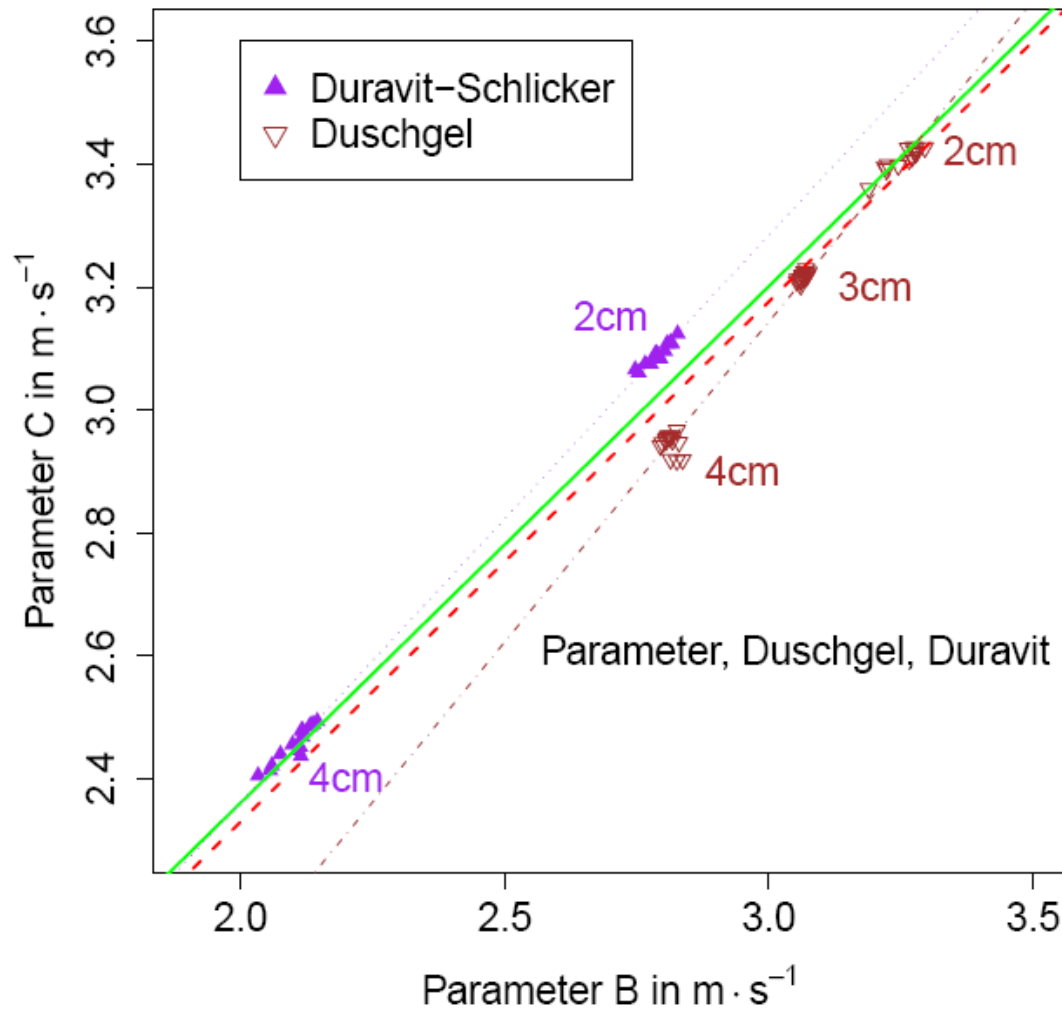
# Strukturviskose Flüssigkeiten



# Strukturviskose Flüssigkeiten



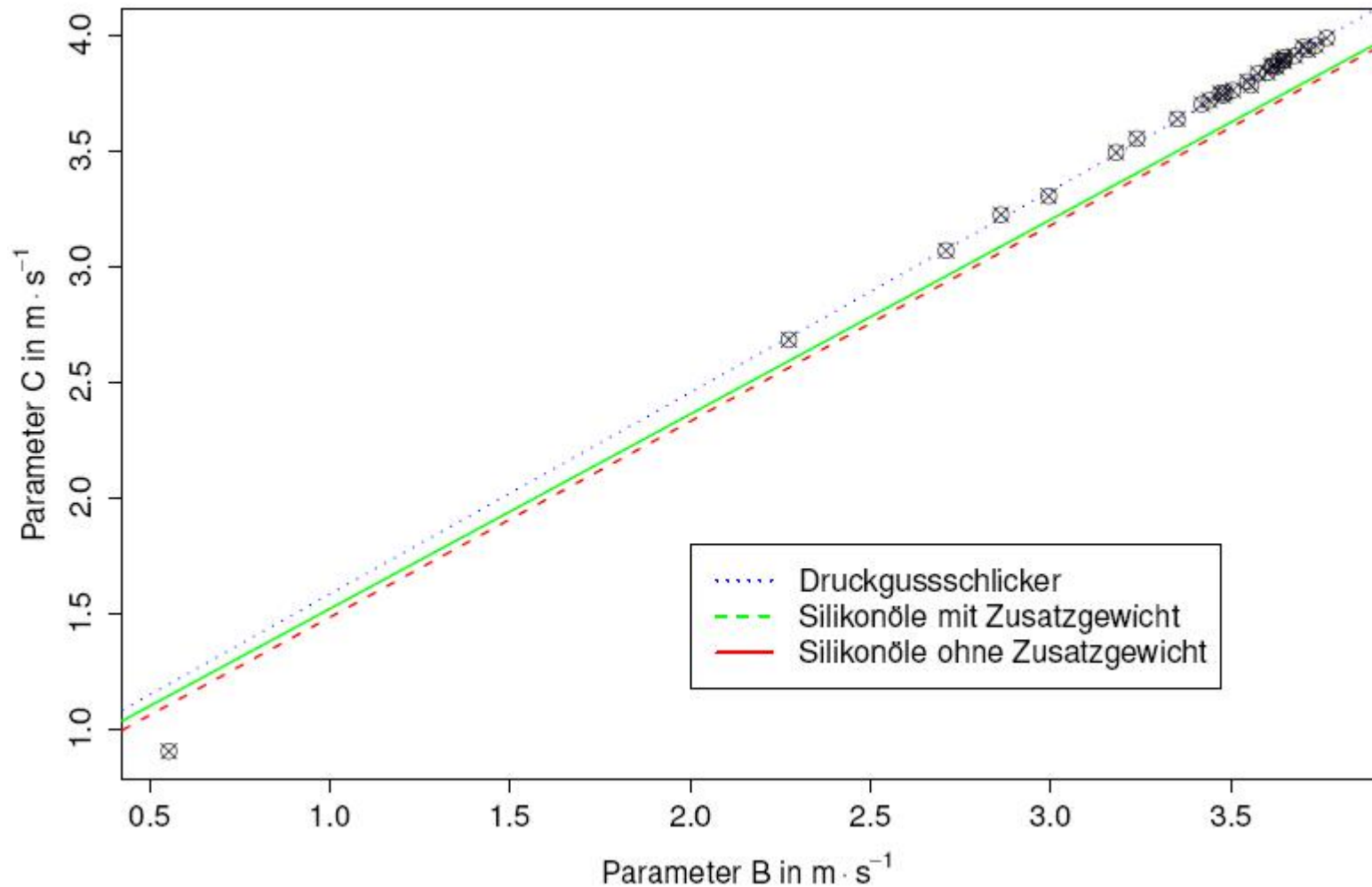
# $C = z \cdot B$ Für Strukturviskose Flüssigkeiten



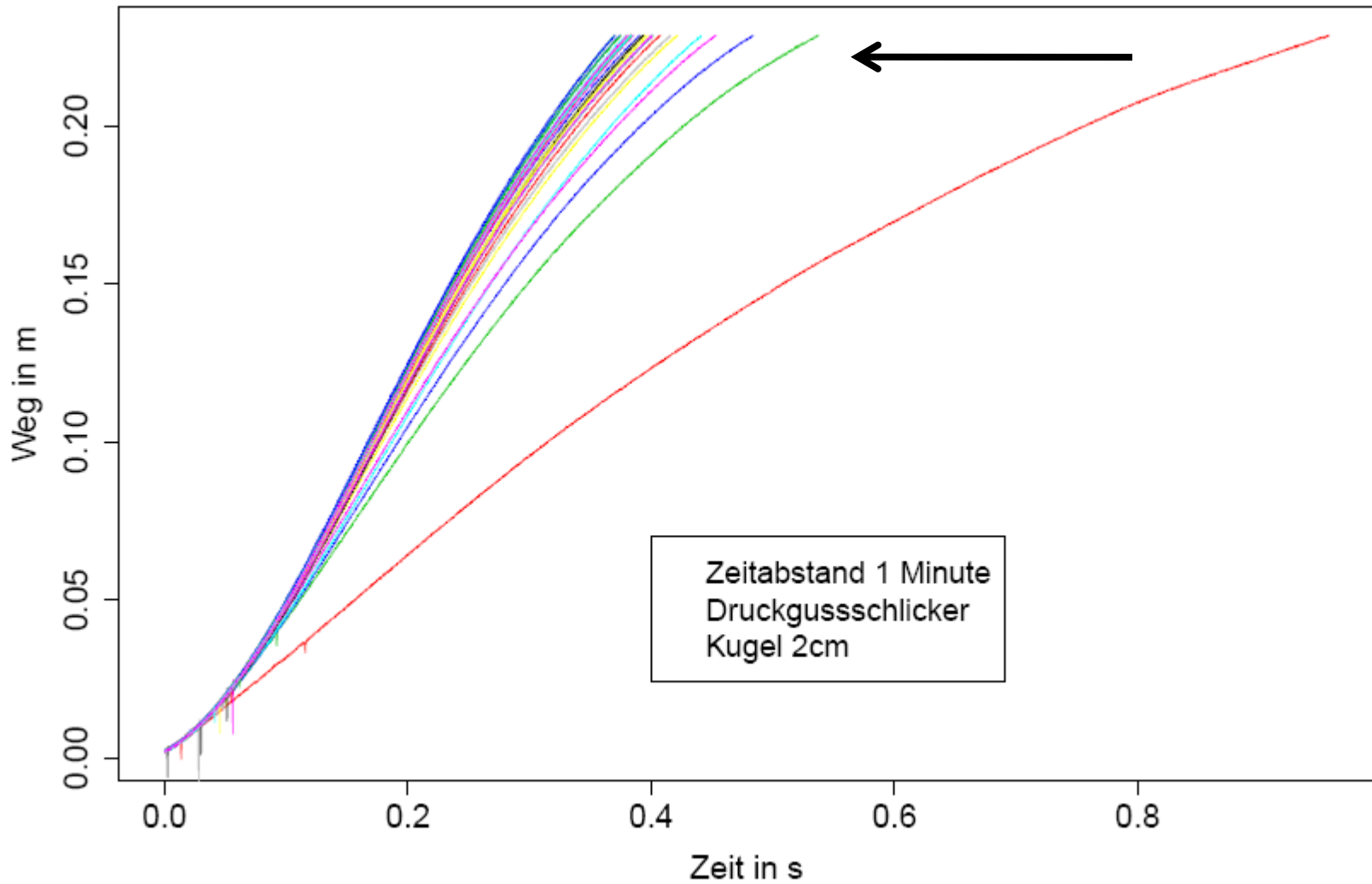
$$z = f(\text{Strukturviskosität})$$



# $C = z \cdot B$ Für Strukturviskose Flüssigkeiten



# Thixotropie



## 1. Motivation und Einleitung

- Druckschlickerguss
- Rheologie
- Rheometrie von grobkörnigen Suspensionen

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- Kugelfallviskosimeter
- Ergebnisse der Messkurven

## 3. Zusammenfassung und Ausblick



# Zusammenfassung

- Aufbau und Inbetriebnahme eines Kugelfallviskosimeters
- Kalibrierung mit Newton'schen Fluiden
- Aufstellen einer allgemeinen Bewegungsgleichung
- Validierung der Bewegungsgleichung an Newton'schen Fluiden
- Qualitative Veränderung der Parameter bei strukturviskosen Flüssigkeiten
- Thixotropie nachweisbar



# Ausblick und nächste Schritte

- Untersuchung mit weiteren strukturviskosen Fluiden bekannter Viskosität
- Veränderung der Zusatzmassen
- Validierung der Bewegungsgleichung und damit der Viskositätsabschätzung für grobkörnige Schlicker







## Research for the Future

