

# Rheologische Untersuchungen an Wärmesondenkontaktmörteln

Rheologic Analysis of Mortar for Borehole Heat Exchanger

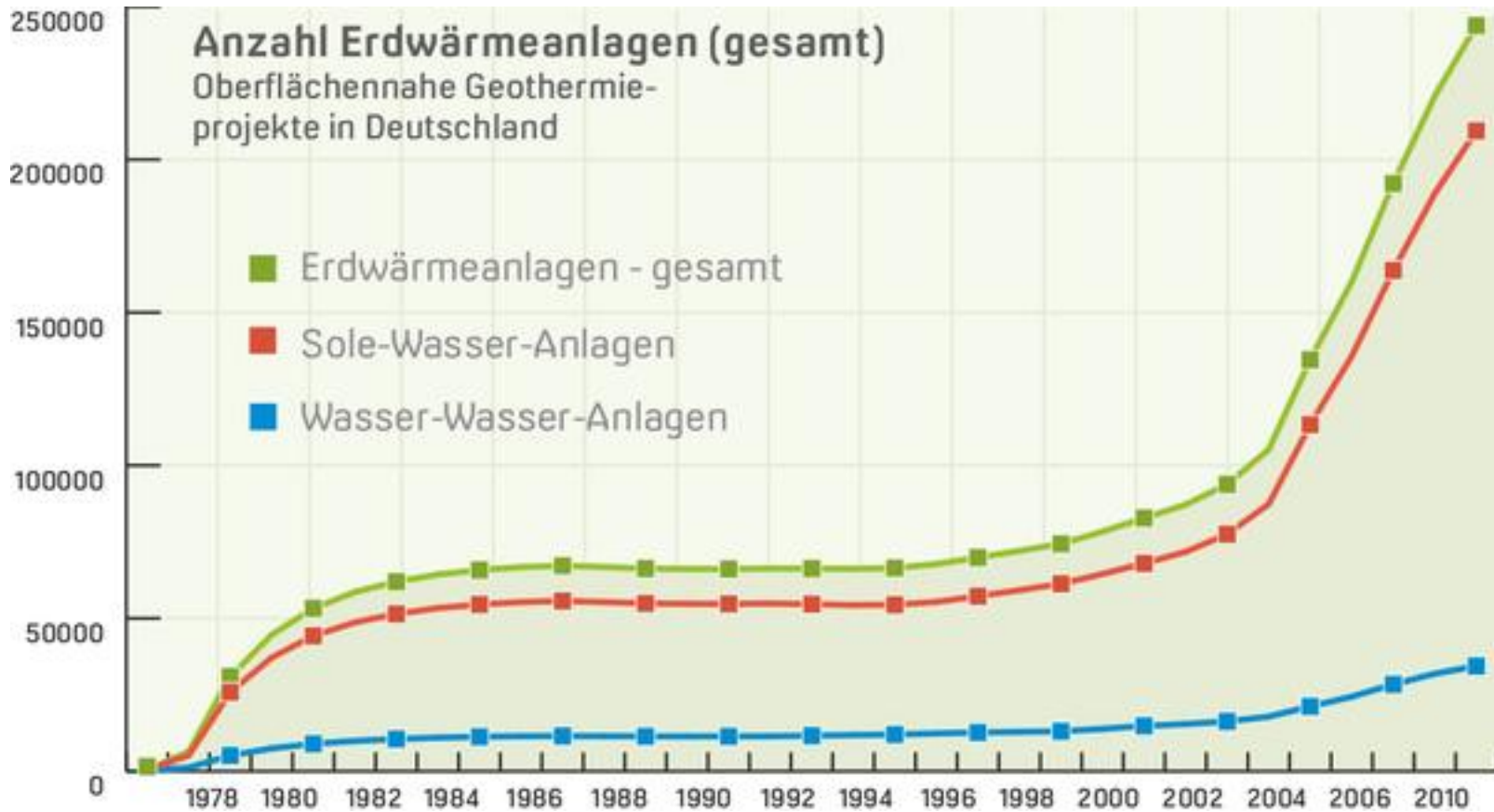
Herausforderungen in der Praxis und in der  
Werkstoffentwicklung

Challenges in Practise and Material Development

22. Kolloquium und Workshop

*„Rheologische Messungen an mineralischen Baustoffen“*

Regensburg



Quelle: BWP-Branchenstudie 2011

- VDI-Richtlinie 4640 (Bauausführung)  
VDI-Guideline 4640 (construction work)
- DVGW W120-1 (Zertifizierung des Bauunternehmens)  
DVGW W120-1 (certification of building companies)

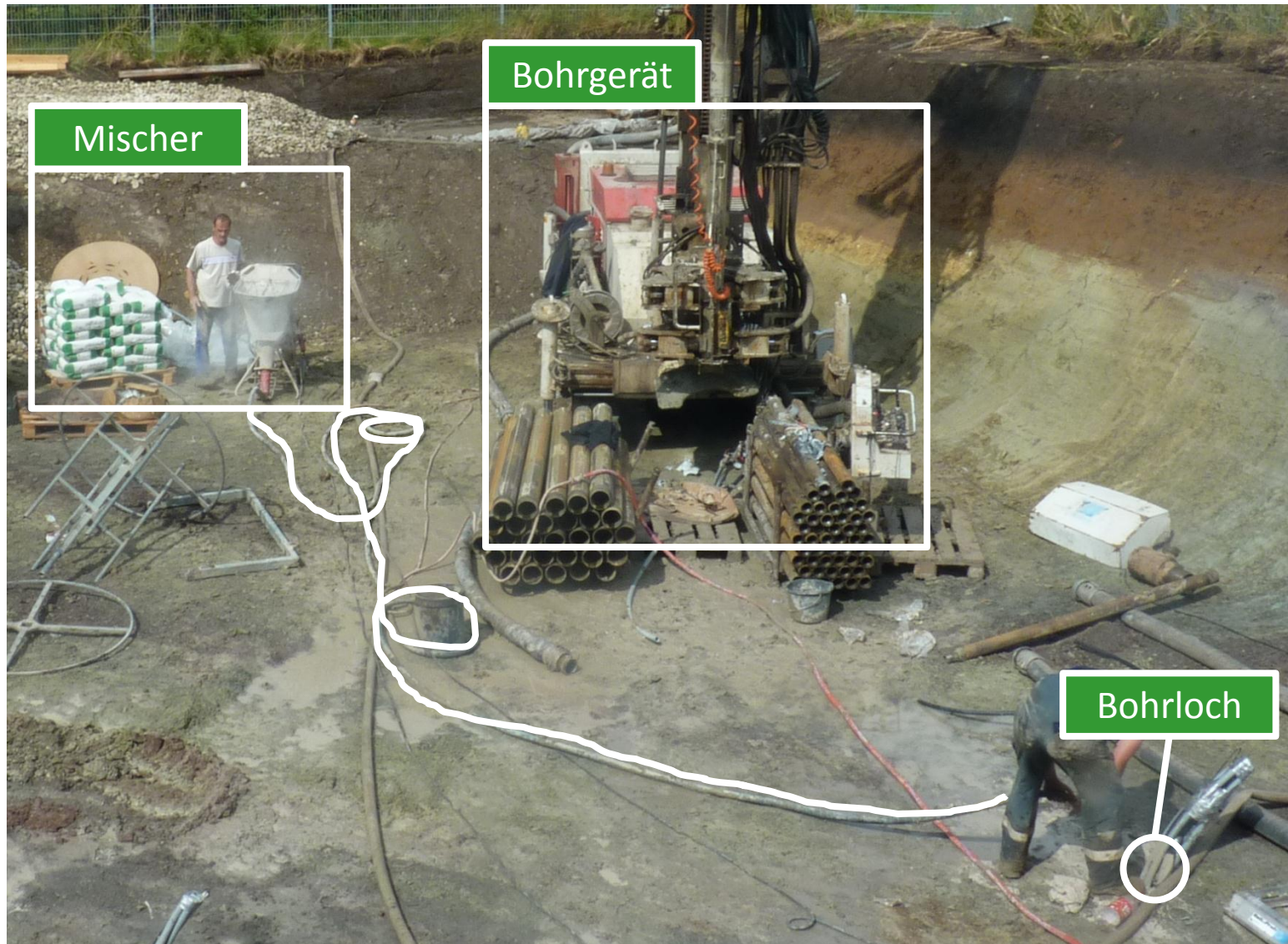
## Leitfäden der einzelnen Bundesländer, z.B.:

Recommended practices for German federal states, e.g.:

- Baden-Württemberg: Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (2012)
- Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern (2012)
- Leitfaden Erdwärmesonden Sachsen (2010)

# Erdwärmesonde

Borehole Heat Exchanger



### Kontaktmörtel: Suspension aus Bindemittel, Bentonit und Sand

Contact mortar: Suspension of binder, bentonite and sand

- Verpressung des Ringraums im Kontraktorverfahren

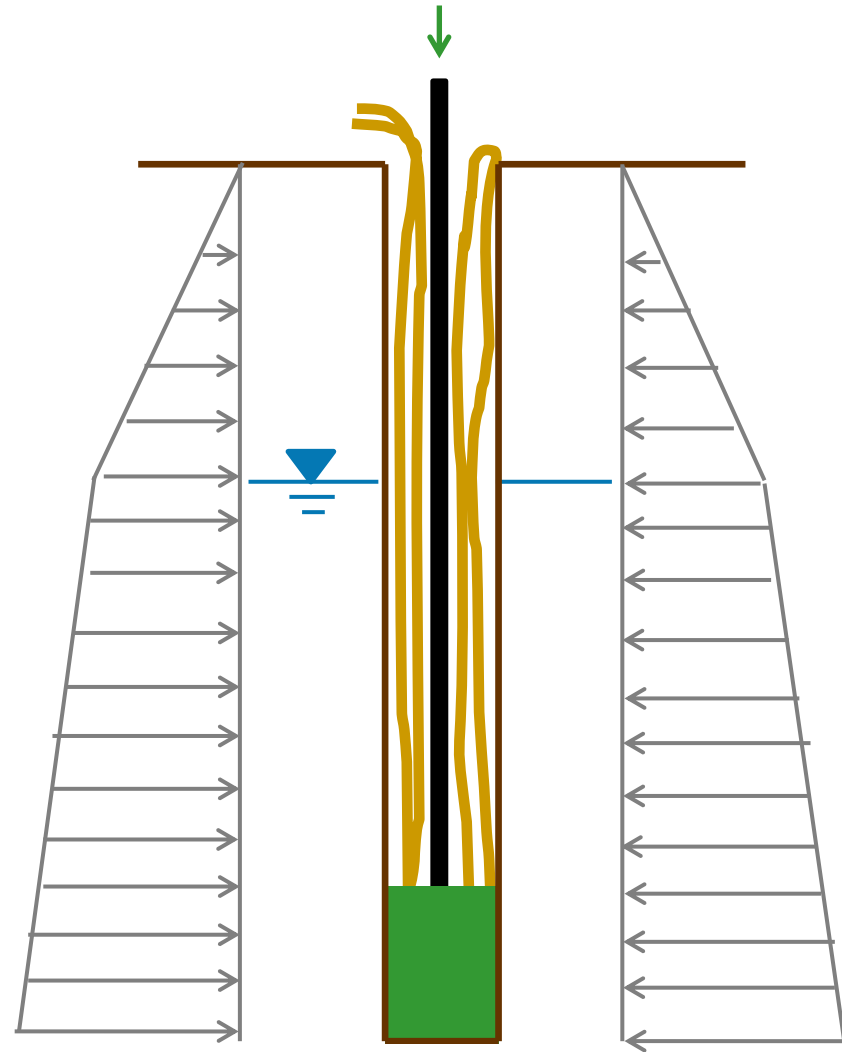
Backfilling of the annulus space by contractor proceeding

- Wärmeübertragung Erdreich/Wärmesonde

Thermal transfer between soil/borehole heat exchanger

- Abdichtung der geologischen Trennhorizonte

Sealing of geological separating layer





### Frischmörtel

Fresh mortar

Verpressfähigkeit ↑

Back filling properties

▪ Suspensionsdichte ↑

Suspension density

Wasser/Feststoff (w/f) ↑

Water/solid ratio

▪ Suspensionsstabilität ↑

Suspension stability

▪ Hydratationswärme ↓

Hydration heat

### Festmörtel

Hardened mortar

▪ Wärmeleitfähigkeit ↑

Thermal conductivity

▪ Durchlässigkeit ↓

Permeability

▪ Festigkeit ↑

Durability

▪ Tau-Frost-Widerstand ↑

Freeze/thaw resistance

▪ Widerstand gegen beton-  
aggressive Grundwässer ↑

▪ Wasserhygienische Beurteilung

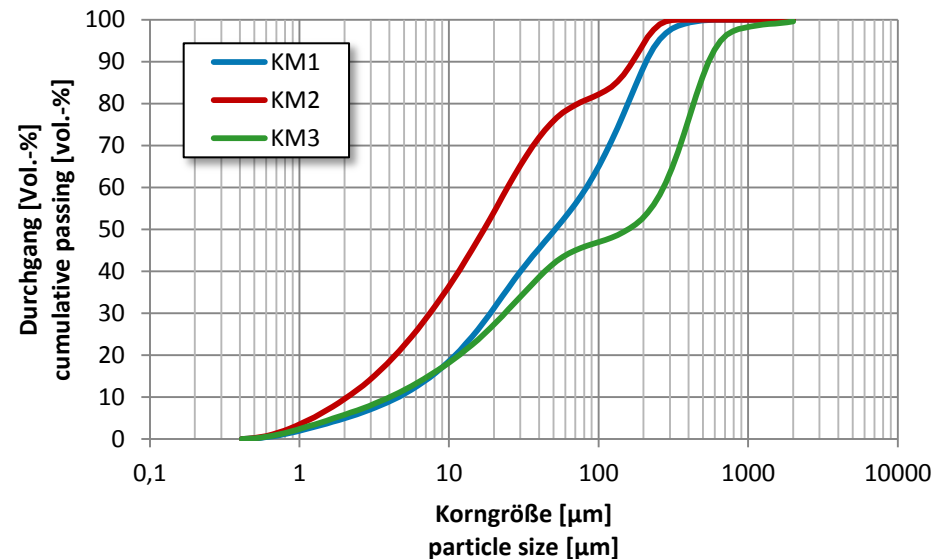
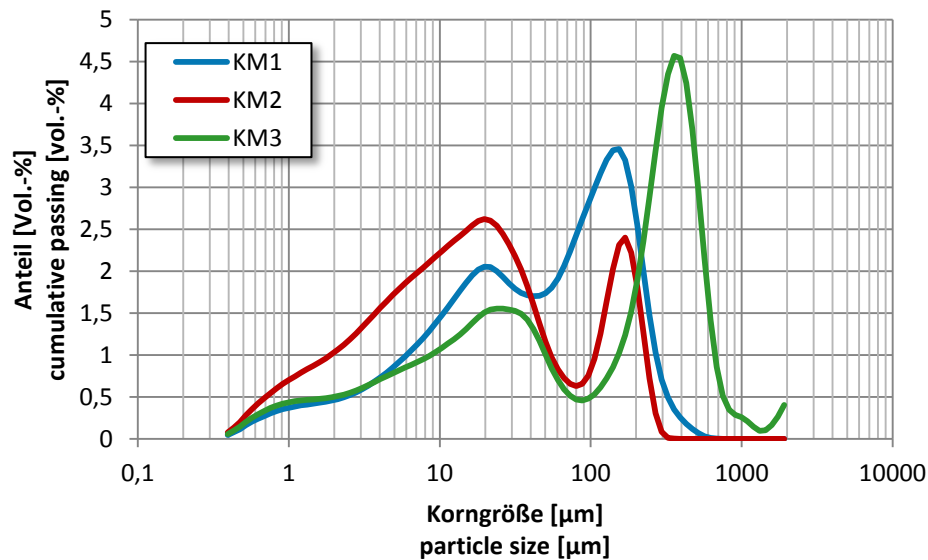
### Verfahrenstechnik

Process Engineering

Mischtechnik, -dauer und -intensität

Mixing technique, length and intensity

	Kontaktmörtel 1 (KM1)	Kontaktmörtel 2 (KM2)	Kontaktmörtel 3 (KM3)
w/f-Wert Water/solid ratio	0,8	0,6	0,4
Suspensionsdichte Suspension density	1,46 g/cm <sup>3</sup>	1,65 g/cm <sup>3</sup>	ca. 1,9 g/cm <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit Thermal conductivity	2,0 W/(m*K)	ca. 2,0 W/(m*K)	≥ 2,35 W/(m*K)



### Rheologische Eigenschaften

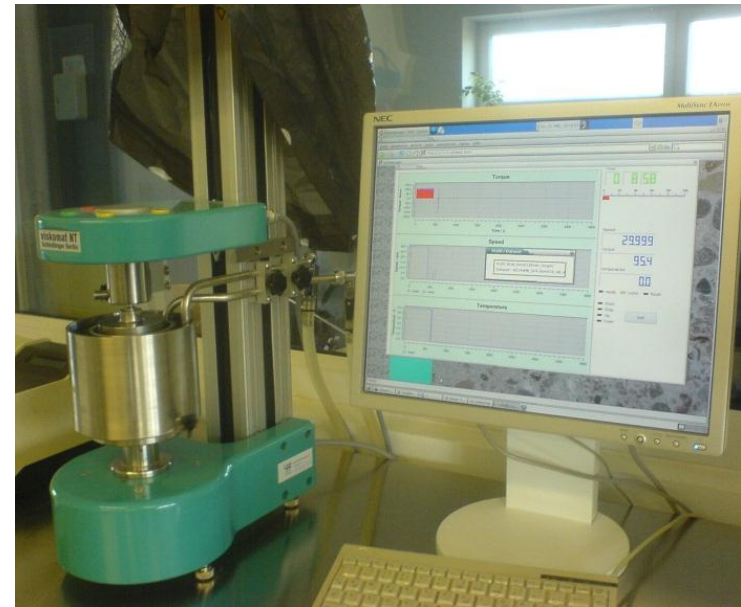
- Marshzeit → Marshtrichter
- Absetzmaß → Messzylinder
- Setzfließmaß → Hägermanntrichter
- Viskosität/Fließgrenze → Viskomat NT

### Variable Parameter

#### Mischtechnik / Mixing techniques

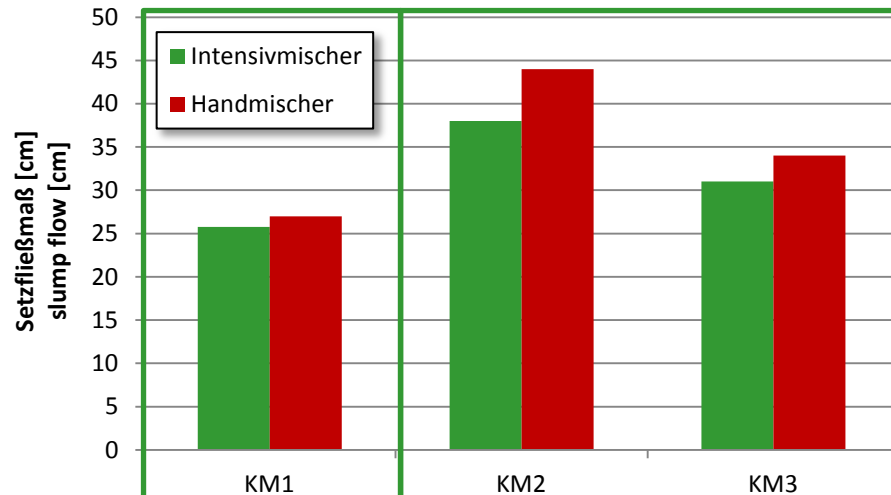
- Intensivmischer (IM) → 20s
- Handmischer (HM) → 60s
- Labor-Mörtelmischer (MM) → 60s

Absenkung des w/f-Wertes

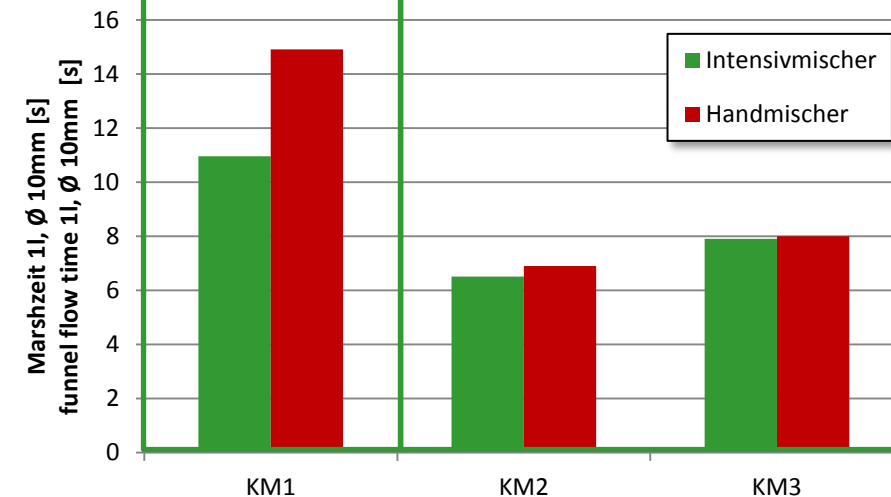




### Setzfließmaß – Slump flow test



### Marshzeit – Marsh viscosity



Für KM1 gilt:

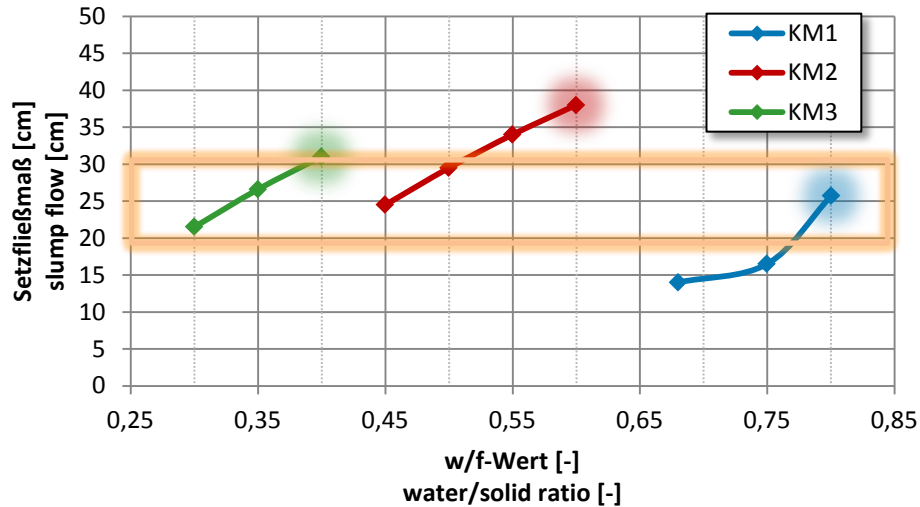
- Mischertyp hat geringen Einfluss auf Setzfließmaß ( $\approx$ Fließgrenze)
- Mischertyp beeinflusst Marshzeit  
→ Intensität  $\uparrow$  = Marshzeit  $\downarrow$  = Viskosität  $\uparrow$

Für KM2 und KM3 gilt:

- Mischertyp hat Einfluss auf Setzfließmaß  
→ Intensität  $\downarrow$  = SFM  $\uparrow$  = Fließgrenze  $\downarrow$
- Mischertyp beeinflusst die Marshzeit kaum

→ Einfluss der Mischtechnik abhängig von Werkstoffphilosophie der Hersteller!

### Setzfließmaß – Slump flow test



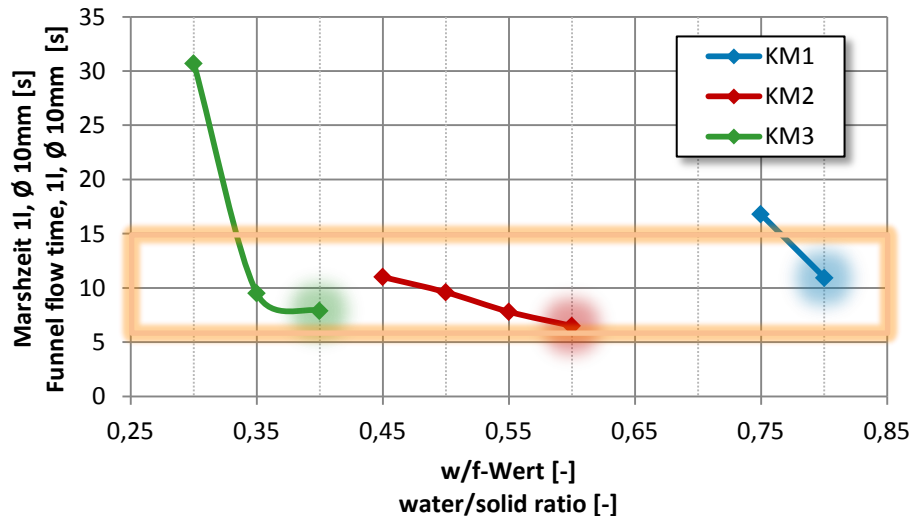
Absenken des Wasseranteils lieferte die zu erwartenden Ergebnisse bei allen drei KM:

- Setzfließmaß ↓
- Marshzeit ↑

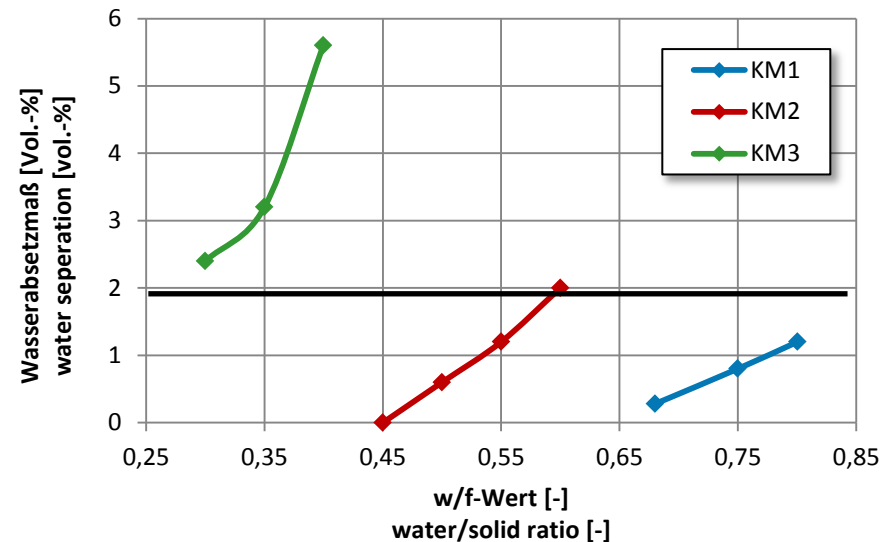
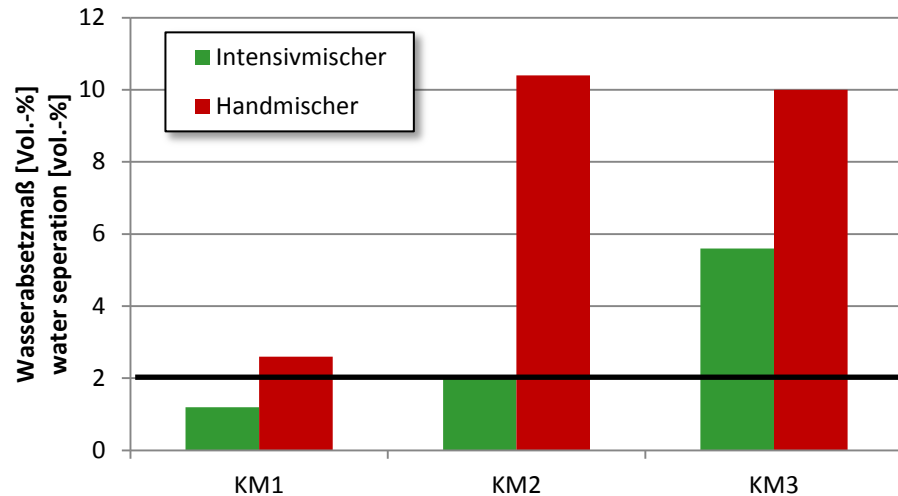
Verarbeitungsfenster der KM:

- Setzfließmaß: 20-30cm
- Marshzeit (1l, Ø 10mm): 7-15s

### Marshzeit – Marsh viscosity



## Wasserabsetzmaß - Water separation



Hohes Wasserabsetzen → Mängel im Bohrloch:

High water separation → Defects in the borehole

- Fehlstellen  
Discontinuities
- Suspensionsverlust  
Slurry losses
- Sedimentation von Inhaltsstoffen  
Sedimentations of additives

## Messungen am Viskomat NT

Measurements with the Viskomat NT

Voraussetzung: Sedimentationsstabiler Mörtel

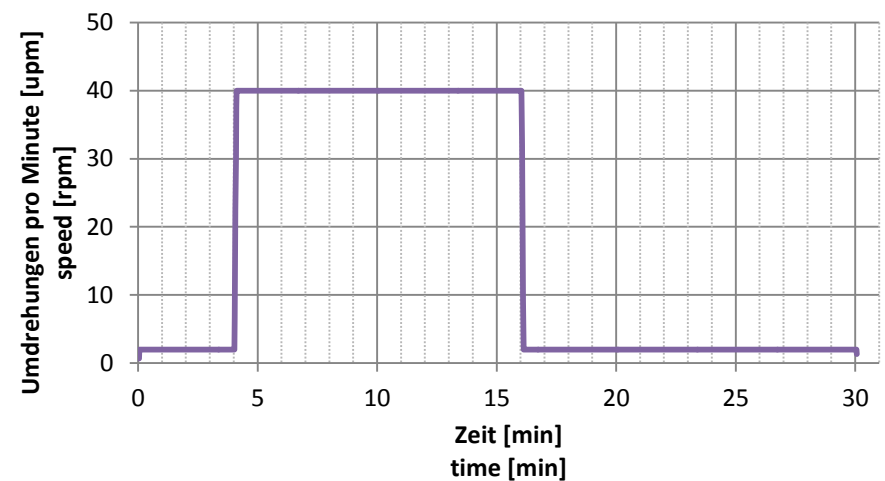
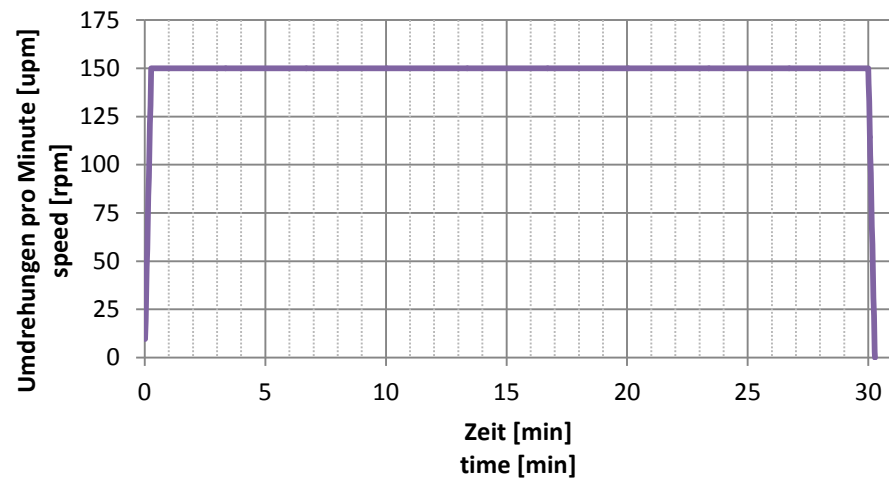
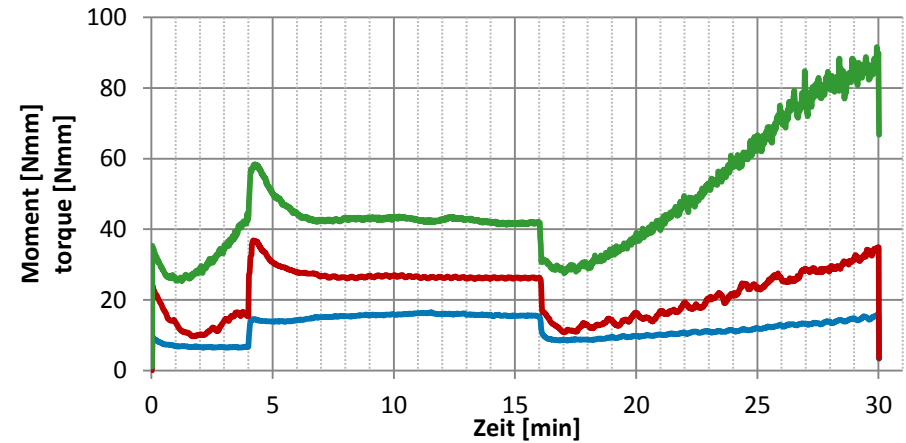
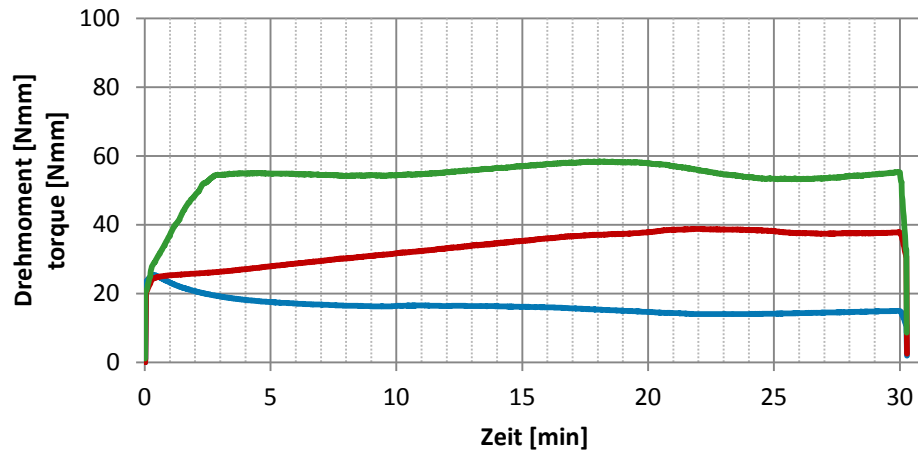
Requirement: Sedimentation-stable mortar

- Rotationsviskosimeter mit Korbzelle  
Rotation viscometer with cage cell
- Verschiedene Belastungsprofile  
Different measurement profiles
- Auswertung nach Bingham und Vogel  
Evaluation after Bingham and Vogel

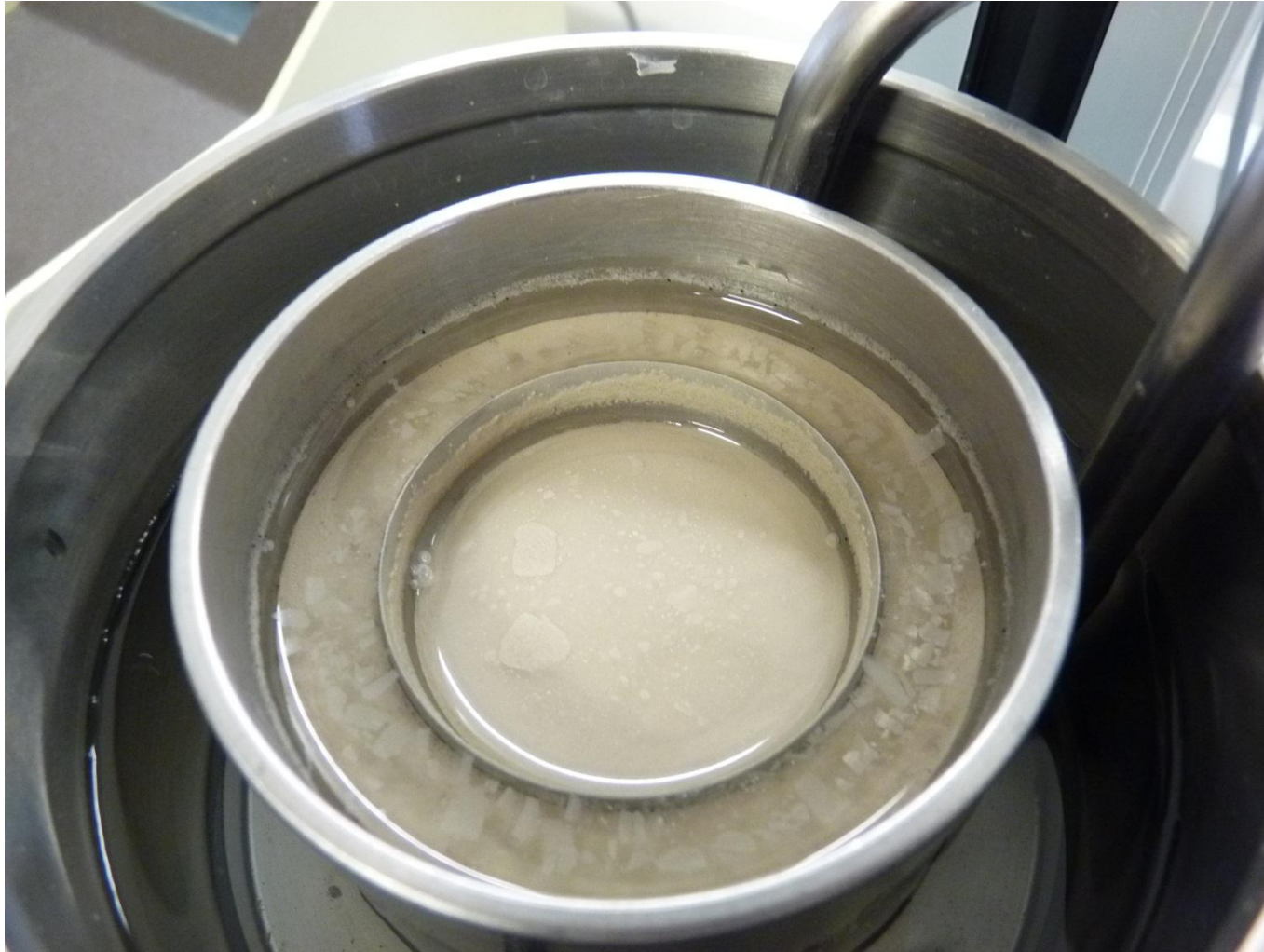


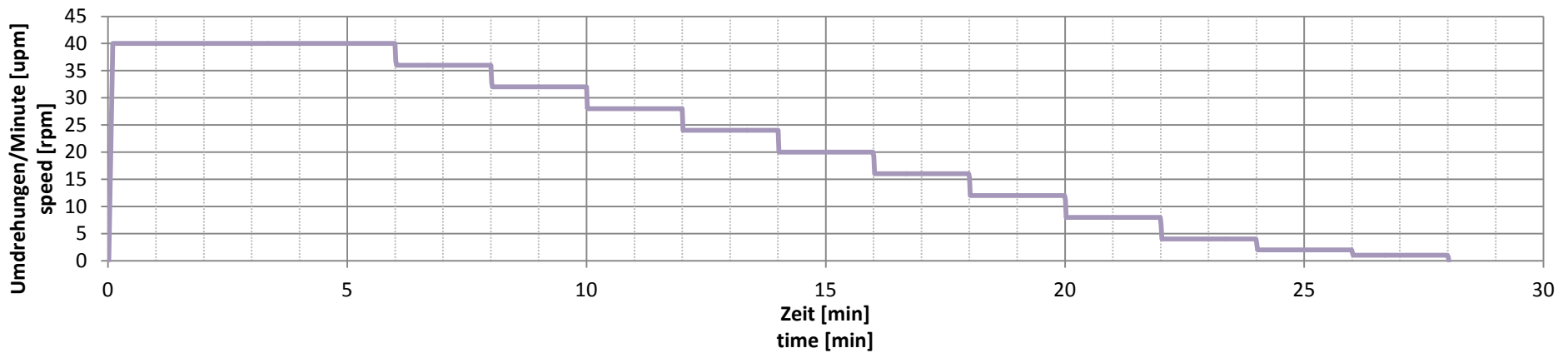
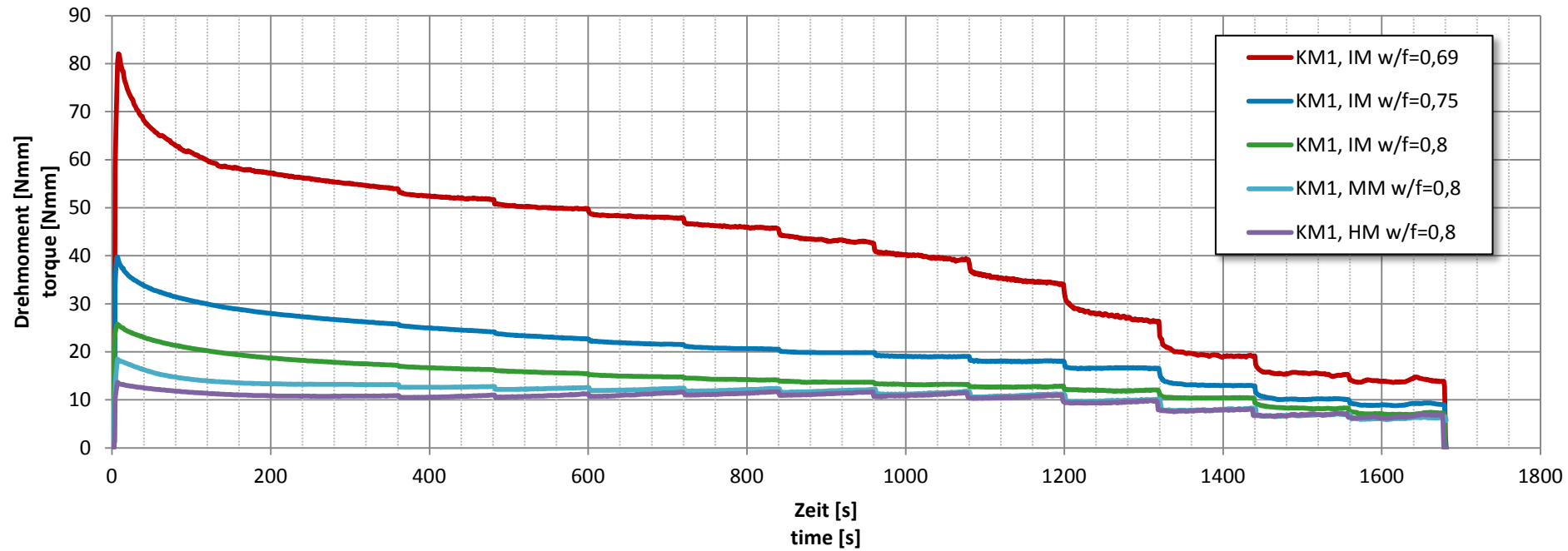
## Messungen am Viskomat NT

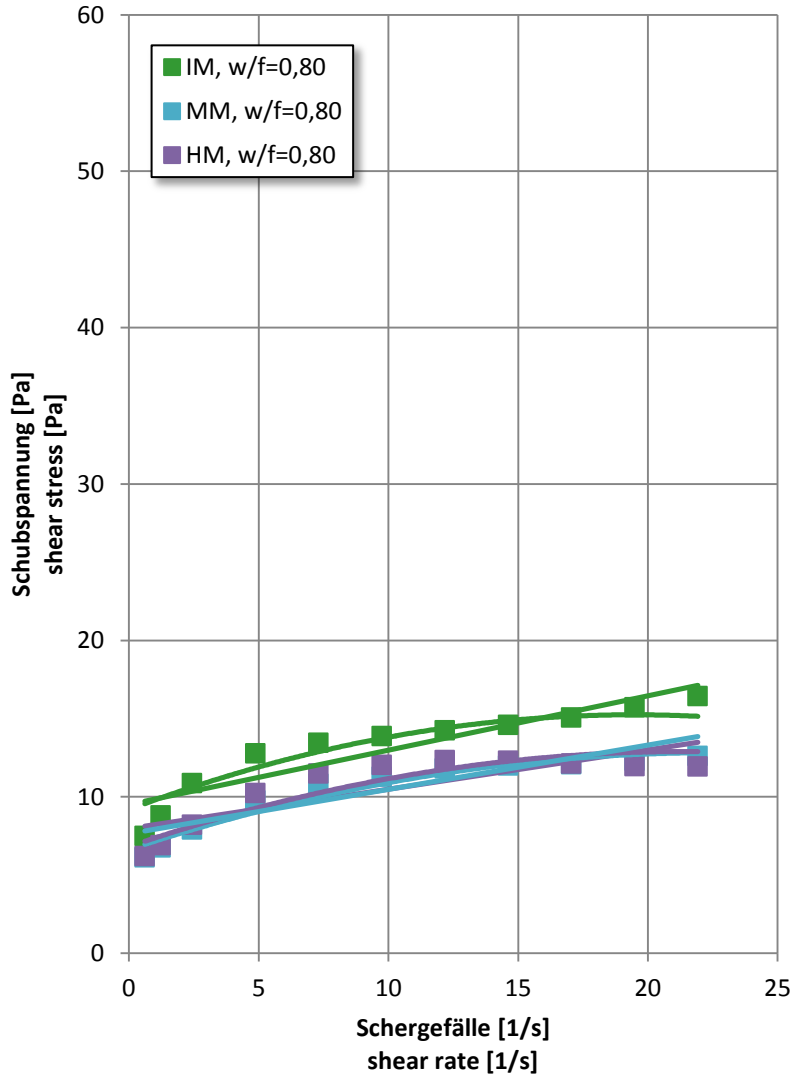
— KM1, IM w/f=0,8    — KM2, IM w/f=0,6    — KM3, IM w/f=0,4



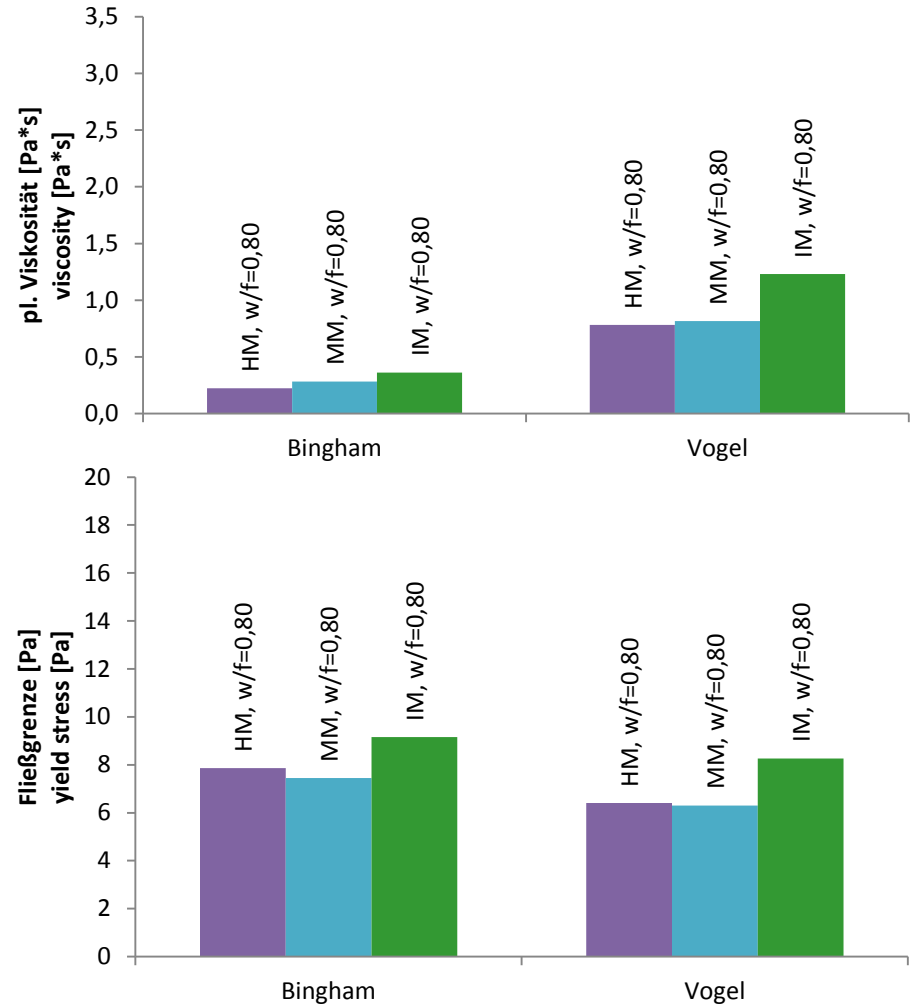


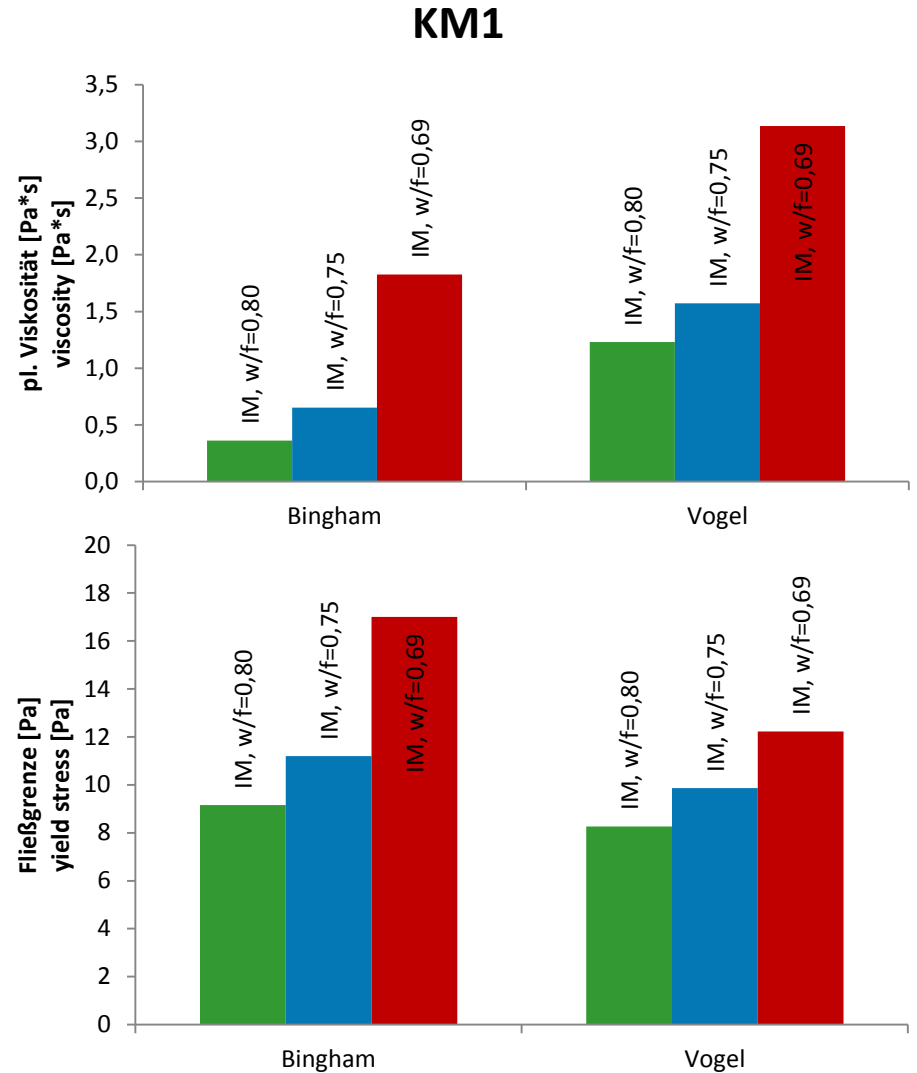
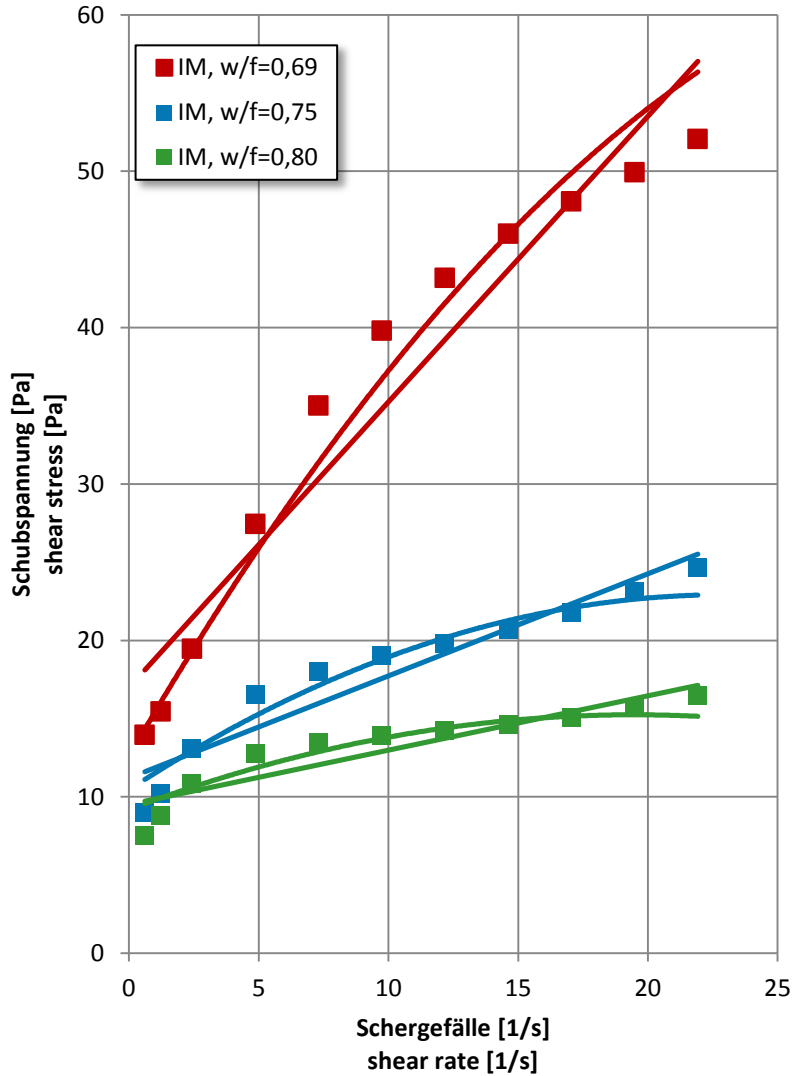






### KM1





Für den KM1 gilt:

### Der Intensivmischer...

The intensive mixer...

- **Setzfließmaß** ↓  
Slump flow diameter
- **Marshzeit** ↑  
Marsh funnel flow time
- **Wasserabsetzmaß** ↓  
Water separation
  
- **Viskosität** ↑  
Viscosity
- **Fließgrenze** ↑  
Yield stress

### Steigender Wasseranteil...

Increasing water content...

- **Setzfließmaß** ↑  
Slump flow diameter
- **Marshzeit** ↓  
Marsh funnel flow time
- **Wasserabsetzmaß** ↑  
Water separation
  
- **Viskosität** ↓  
Viscosity
- **Fließgrenze** ↓  
Yield stress



## Kontaktmörteleigenschaften:

Laborbedingungen  $\leftarrow \rightarrow$  Baustellenbedingung

- Mischtyp gleich? Mischdauer gleich? Mischintensität gleich?
- Abgleich der Bedingungen:
  - Suspensionsdichte nach Herstellerangaben
  - Marshzeit: keine konkreten Herstellerangaben, nicht zielführend
  - Wasserabsetzmaß unpraktisch (3 Stunden!)
  - Setzfließmaß bislang nicht für KM eingesetzt

→ Erfahrung des Mischpersonals auf Baustelle

→ Viskomat für Werkstoffuntersuchungen im Labor