

28. Konferenz

Rheologische Messungen an mineralischen Baustoffen

**Scherinduzierte Partikelmigration:
Relevanz bei rheologischen Messungen an
Mörteln und Betonen**

**Shear-induced particle migration:
relevance for rheological measurements on
mortars and concretes**

Christian Baumert
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Universität Stuttgart

```
graph TD; A[Scherinduzierte Partikelmigration: Relevanz bei rheologischen Messungen an Mörteln und Betonen] --> C[Christian Baumert Institut für Werkstoffe im Bauwesen Universität Stuttgart]; B[Shear-induced particle migration: relevance for rheological measurements on mortars and concretes] --> C;
```

The diagram features a blue background with white text and lines. At the top, a dark blue header contains the conference title. Below it, two text blocks are arranged vertically. White lines with arrows originate from the left and right sides of these blocks, converge towards a central rounded rectangle containing the presenter's name and affiliation, and then continue downwards as a single line.

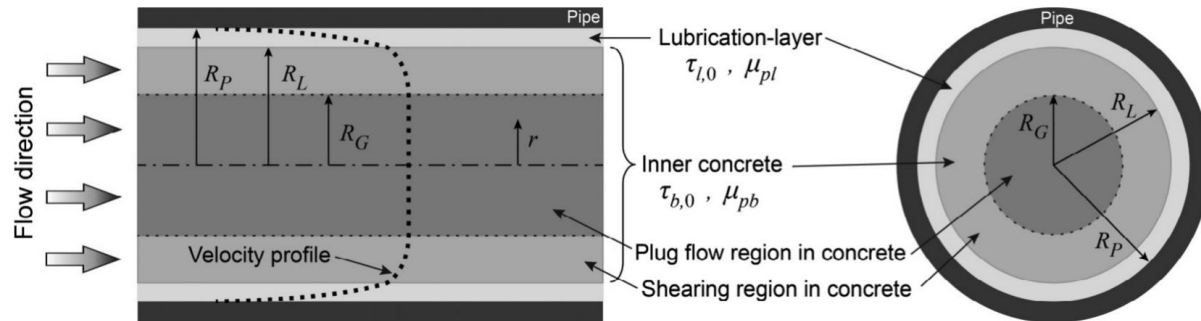
Übersicht / Overview

- Scherinduzierte Partikelmigration in der Praxis
- Haupthypothesen für die Umrechnung in absolute Einheiten
- Bedeutung der scherinduzierten Partikelmigration bei Messungen
- Messtechnische Maßnahmen zur Vermeidung?
- Lösungsansatz beim KNIELE KKM-RT 22.5/15
- Vergleichsmessung Konventionell / KNIELE
- Auswertung der Ergebnisse nach Reiner-Rivlin
- Shear induced particle migration in practice
- Main hypotheses for conversion to absolute units
- Significance of shear induced particle migration for measurements
- Measurement techniques to avoid the particle migration?
- Solution with the KNIELE KKM-RT 22.5/15
- Comparativ measurement Konventionell / KNIELE
- Evaluation of the results using Reiner-Rivlin

Scherinduzierte Partikelmigration in der Praxis

Shear-induced particle migration in practice

Pumpen von Beton / Pumping concrete

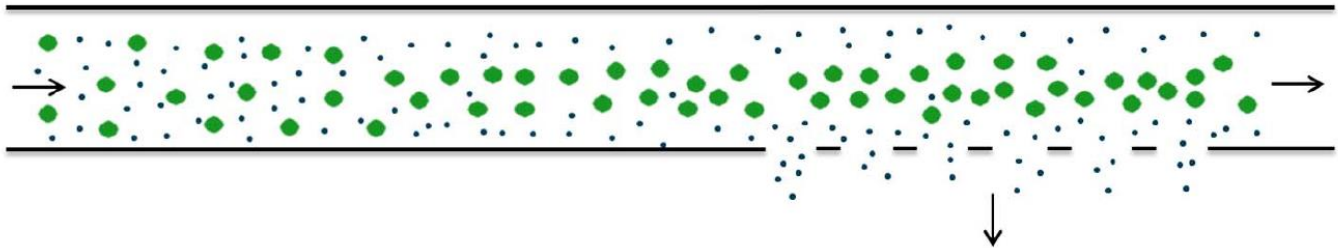


Effect of the coarse aggregate size on pipe flow of pumped concrete Myoung Sung Choi et al.

Scherinduzierte Partikelmigration in der Praxis

Shear-induced particle migration in practice

Filtration / Filtration



R.M. Klaver, C.G.P.H. Schroën,
A review of shear-induced particle migration for
enhanced filtration and fractionation, 211–233, 2015

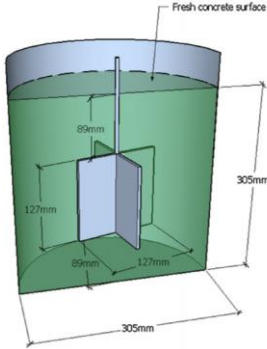
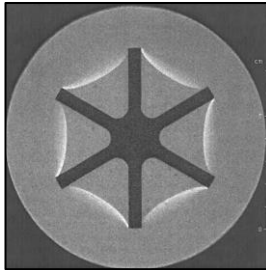
Hauptthesen für die Umrechnung in absolute Einheiten

Main hypotheses for conversion to absolute units

mixture	 BML		 BTRHEOM		 CEMAGREF-IMG		 Two-Point		yield-stress	viscosity
	yield-stress	viscosity	YS	viscosity	YS	viscosity	YS	viscosity	factor	factor
	Pa	Pa·s	Pa	Pa·s	Pa	Pa·s	Pa	Pa·s		
1	738	114	1619	181	1832	-	919	61	2,5	3,0
2	76	17,4	406	18	437	-	80	13	5,8	6,0
3	408	82,4	771	136	1059	-	314	83	2,5	1,6
4	840	72	2139	51	1059	-	1059	-	2,5	1,4
5	910	108	1753	94	-	-	698	19	2,5	5,7
6	139	45	505	78	487	-	145	41	3,6	1,9
7	90	32,7	549	54	410	43	98	38	6,1	1,7
8	717	29	1662	67	1417	-	689	22	2,4	3,0
9	125	15	624	25	504	3	159	19	5,0	8,3
10	248	35,9	740	50	535	43	253	19	3,0	2,6
11	442	29	1189	27	1034	21	516	16	2,7	1,8
12	584	39	1503	38	929	47	525	22	2,9	2,1

Hauptthesen für die Umrechnung in absolute Einheiten

Main hypotheses for conversion to absolute units

- Umrechnung von Maschinendaten (Drehzahl und Drehmoment) in Scherspannung und Scherrate
 - Conversion of machine data (speed and torque) into shear stress and shear rate
 - Vermeidung von Wandgleiten an den Oberflächen der Messwerkzeuge
 - Ansatz: Blattrührer um Wandgleiten zu vermeiden
 - Blattrührer begünstigt Wandgleiten ! (Saak et al. 2001)
 - Ergebnis: zu geringe Messwerte (Drehmoment)
- 

 - No-slip boundary condition on the geometry walls
 - Approach: vane to avoid wall slippage
 - Vane favours wall slippage ! (Saak et al. 2001)
 - Result: measurement values too low (torque)
- 

Empfehlung:

Raue Oberfläche oder minimale Profilierung

Magnetic resonance image of a suspension of particles in a yield stress fluid after shear in a vane-cup geometry. (Ovarlez et al.)

Hauptthesen für die Umrechnung in absolute Einheiten

Main hypotheses for conversion to absolute units

- Homogenes Fließverhalten im Scherspalt
- Homogeneity of the flow

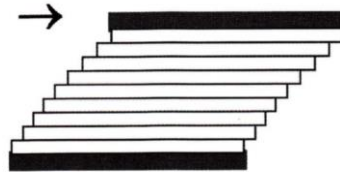
- Aufgrund der Fließgrenze gescherte und nicht gescherte Bereiche

Empfehlung:

Berücksichtigung bei der Auswertung

- Yield stress : sheared and not sheared areas

- Ausbildung einer homogenen Scherung (zeitabhängig)



- Formation of homogeneous shear (time-dependent)

Empfehlung:

**Messwerte unmittelbar nach
Drehzahländerung nicht
berücksichtigen**

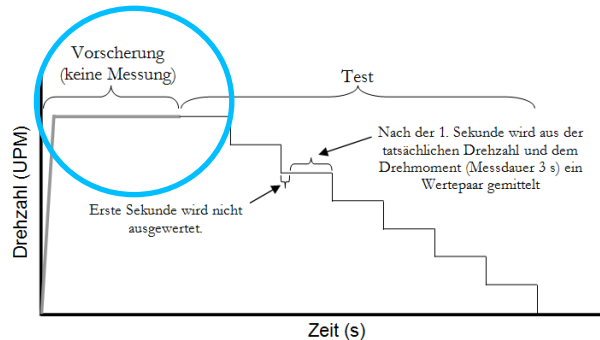
Hauptthesen für die Umrechnung in absolute Einheiten

Main hypotheses for conversion to absolute units

- Homogenes Material im Scherspalt
- Material heterogeneities

- **radiale** scherinduzierte Partikelmigration

- Ziel: Strukturabbau ohne Entmischung

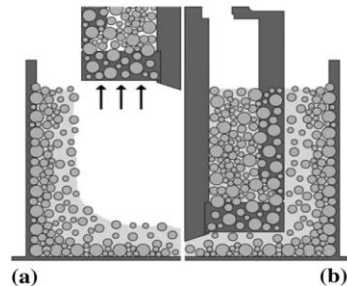


- **radial** shear induced particle migration

- aim: Structure degradation without segregation

Empfehlung:

siehe folgende Folien



Contec Visco 5; Heirman G.

Hauptthesen für die Umrechnung in absolute Einheiten

Main hypotheses for conversion to absolute units

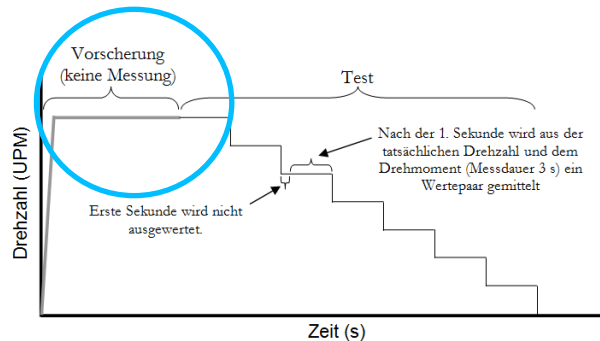
- Homogenes Material im Scherspalt
- Material heterogeneities

- **axiale** scherinduzierte Partikelmigration

- Sedimentation bei Scherung ist auch bei stabilen Mischungen möglich!

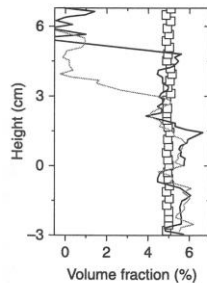
Empfehlung:

siehe folgende Folien



- **axial** shear induced particle migration

- Sedimentation during shearing is also possible with stable mixtures!



2.21 Vertical volume fraction profiles observed in the gap of a Couette geometry in a suspension of 5% of glass beads in a concentrated emulsion, after a 24 h rest (squares) and after 15 min (black line) and 25 min (grey line) of shear at 4 s^{-1} . Reprinted with permission from Ovarlez *et al.* (2010).

Bedeutung der scherinduzierten Partikelmigration bei Messungen

Significance of shear induced particle migration in measurements

However, it has been recently shown, that, at high particle volume fraction, migration may be very rapid in some cases (depending on the flow characteristics) and thus unavoidable.

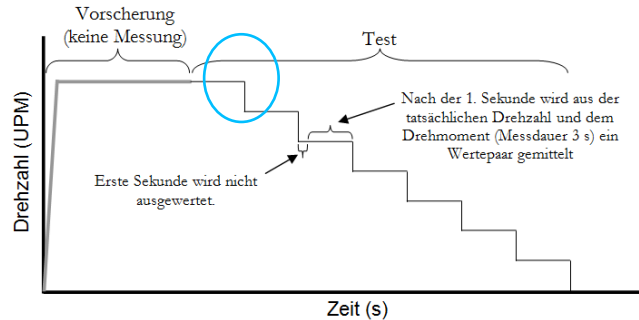
Consequently, this phenomenon can basically not be avoided when performing rheological measurements on such systems and it may occur in most fresh concrete rheology studies.“

„Note that the discrepancy between local (shear stress / shear rate) / macroscopic (torque /RPM) measurements increases with the volume fraction. This phenomenon is most likely the main source of discrepancy in cementitious materials rheology.“ (Hafid et al., 2010)

Gegenmaßnahmen ? / countermeasures ?

Messtechnische Maßnahmen zur Vermeidung ?

Measurement techniques to avoid ?



Messwerte nach **Vorscherung** und **nach Messung** sind auf ähnlichem Niveau

Measured values **after pre-shearing** and **after measurement** are at a similar level.

Problem: Während der Vorscherphase bereits inhomogenes Material

Problem: Already inhomogeneous material during the pre-shear phase

„In thixotropic materials, the time needed to reach steady state during the first measurement can be sufficient to generate steady heterogeneities“, (Ovarlez, 2012)

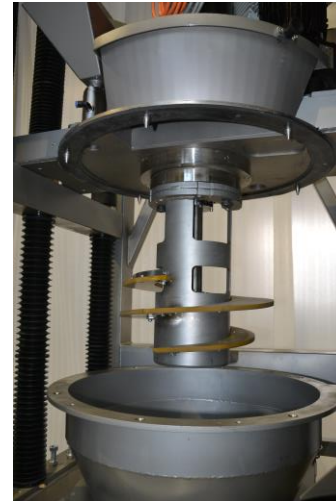
Lösungsansatz beim KNIELE KKM-RT 22.5/15

Solution with KNIELE KKM-RT 22.5/15

- Mischen / Mixing
- +
- Messungen in „relativen Einheiten“ / measurements in „relative units“

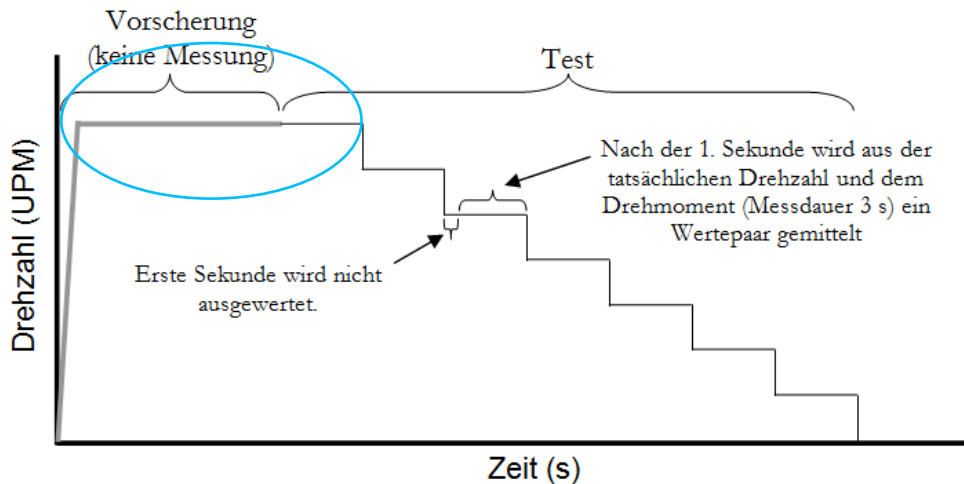
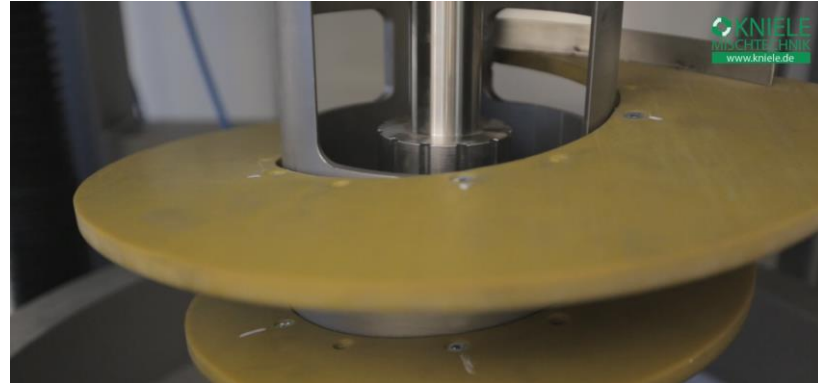
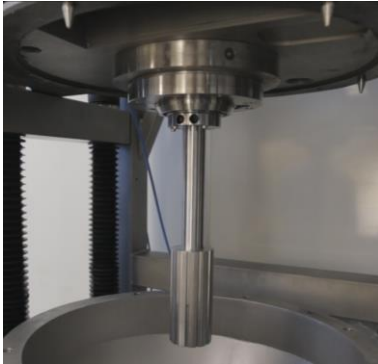


- „Unter-“Mischen / blending
- +
- Messungen in „absoluten Einheiten“ / measurements in „absolute units“



Lösungsansatz beim KNIELE KKM-RT 22.5/15

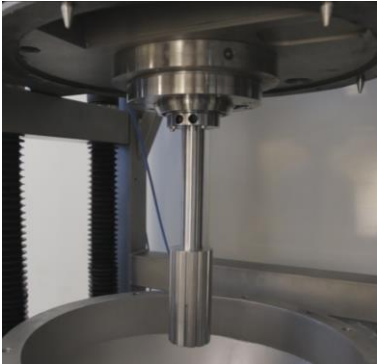
Solution with KNIELE KKM-RT 22.5/15



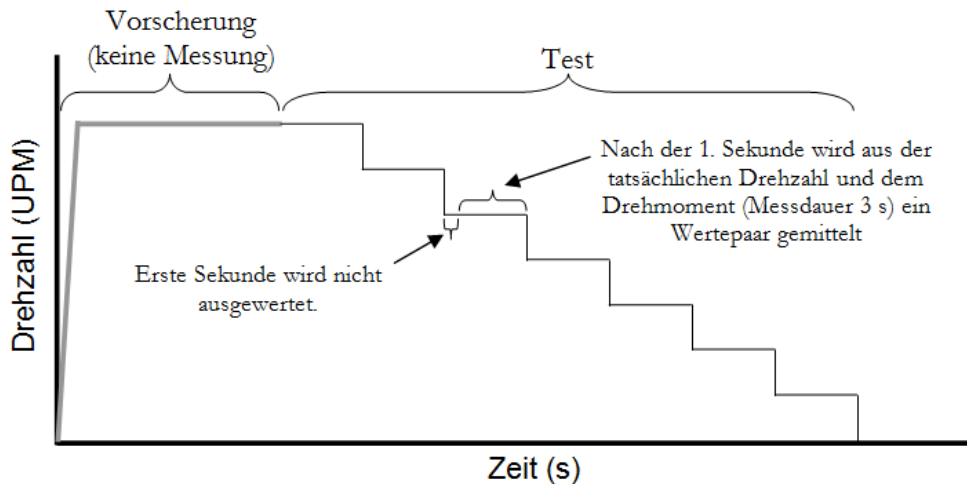
- Wie wird vorgeschert?
- Pre-shearing, but how?

Lösungsansatz beim Kniele KKM-RT 22.5/15

Solution with Kniele KKM-RT 22.5/15

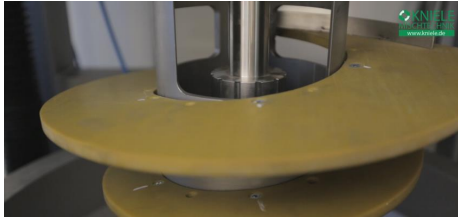


- Konventionell: Vorscherung (5s) und Messungen mit dem inneren Messwerkzeug
- Ausmaß der scherinduzierten Partikelmigration?
- Conventional: Pre-shearing (5s) and measurements with the internal measuring tool
- Extent of shear induced particle migration?

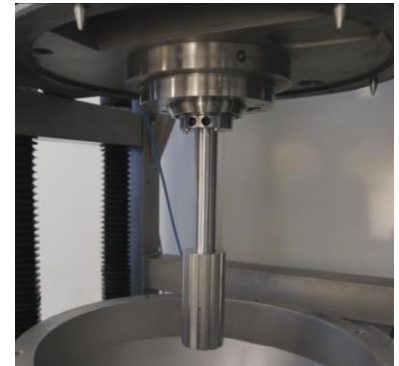
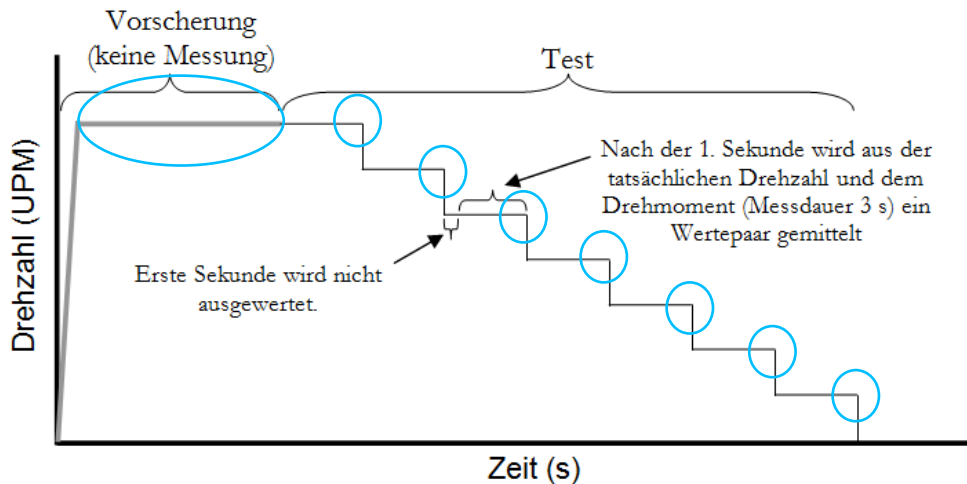


Lösungsansatz beim KNIELE KKM-RT 22.5/15

Solution with KNIELE KKM-RT 22.5/15



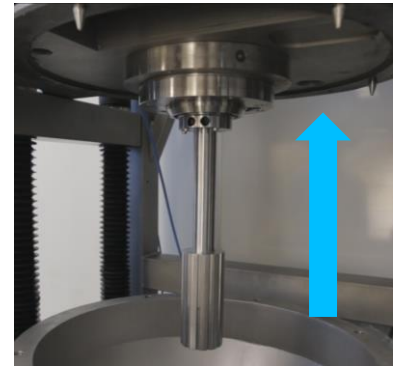
- Neuer Ansatz: Vorscherung mit der Spirale für 30 s und vor jeder Drehzahländerung
- Messungen mit dem inneren Messwerkzeug
- New approach: Pre-shearing with the spiral and measurements with the internal measuring tool



Lösungsansatz beim KNIELE KKM-RT 22.5/15

Solution with KNIELE KKM-RT 22.5/15

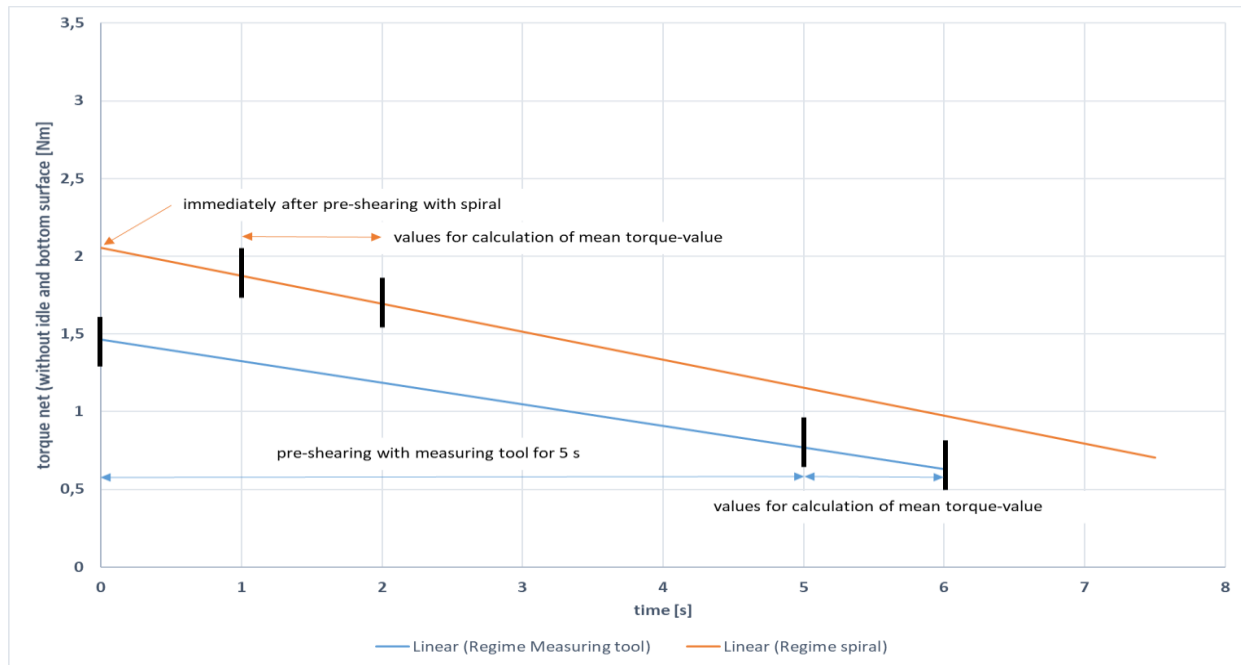
- Messwerte sind Brutto-Messwerte!
- Measured values are brutto measured values!
- Leerlaufverluste und Drehmoment für Bodenfläche sind abzuziehen
- No-load losses and torque for the bottom area must be deducted.
- Messwerkzeug wird hochgefahren, bis nur noch Bodenfläche Kontakt zum Beton hat. Dann Messprozedur
- The measuring tool is raised until only the bottom surface is in contact with the concrete. Then measuring procedure



Vergleichsmessung Konventionell / KNIELE

Comparative measurement Conventional / KNIELE

- Situation beim Vorscheren
- Situation at pre-shear



Measuring tools for values in absolute units



Vergleichsmessung Konventionell / KNIELE

Comparative measurement Conventional / KNIELE

- Untersucher Beton: „Smart Dynamic Concrete“; LVB
- Concrete investigated; „Smart Dynamic Concrete“; easily compactable concrete

	[kg/m ³]
CEM III/A 42.5 N	292
limestone s&h easyflow	98
superplasticizer BASF ACE 430	2,2
stabilizer BASF Rheomatrix	0,88
water	175
gravel 8/16	381,5
gravel 2/8	606,3
sand 0/2	783,8

Vergleichsmessung Konventionell / KNIELE

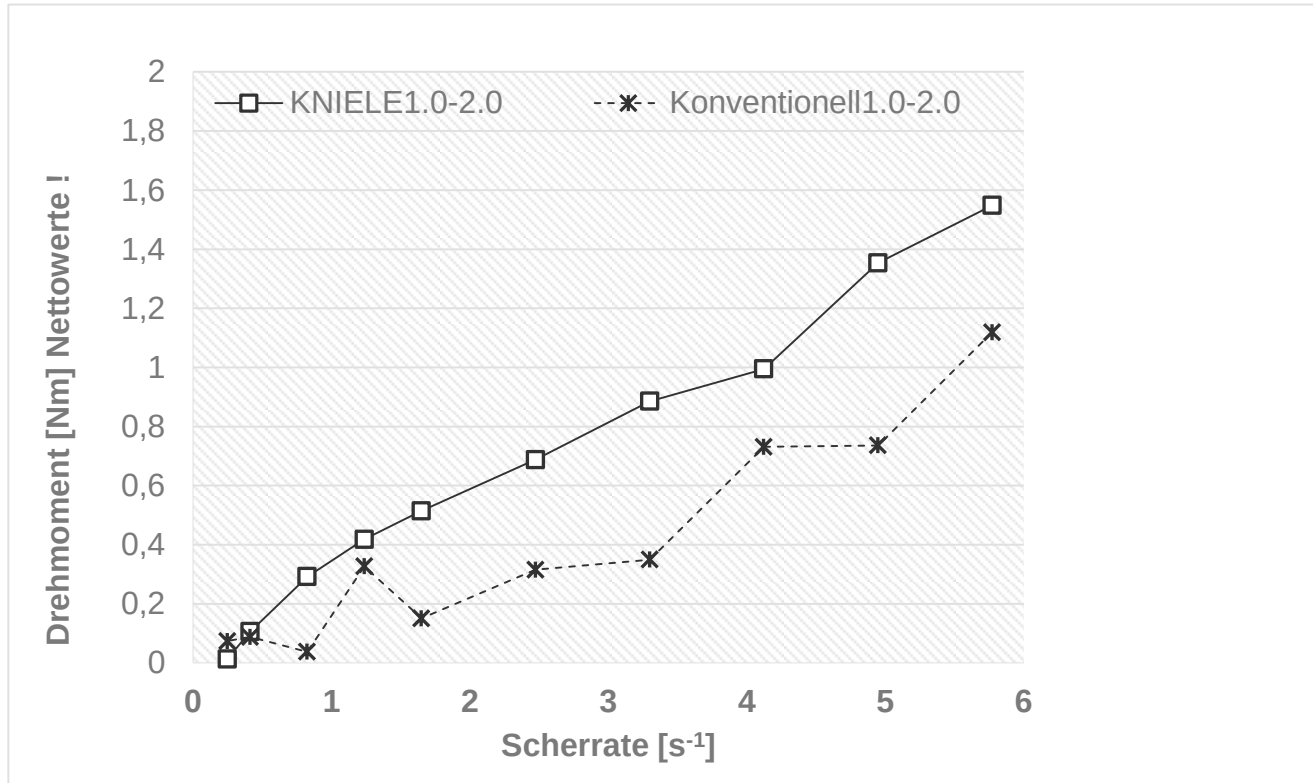
Comparative measurement Conventional / KNIELE

- Bestimmung der Referenzwerte in absoluten Einheiten?
- Determination of the reference values in absolute units?
- Lösung zumindest für die Fließgrenze
- Solution at least for the yield stress
- Fließgrenze für den LVB: 70 Pa
- Yield stress for SDC: 70 Pa



Vergleichsmessung Konventionell / KNIELE

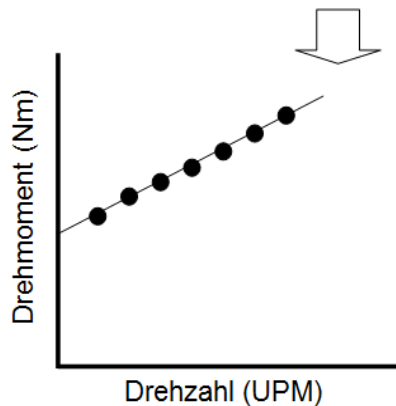
Comparative measurement Conventional / KNIELE



Auswertung der Ergebnisse nach Reiner-Rivlin

Evaluation of the results using Reiner-Rivlin

	Spiral	Traditional
yield stress in [Pa]	23,141	0,010
viscosity in [Pas]	51,767	30,300
deviation for viscosity (basis Traditional)	+ 71%	0 %
coefficient of determination R^2	0,995	0,944
min. speed without shear-localisation [rad/s]	0,542	0,000



Fließgrenze: 70 Pa

Auswertung der Ergebnisse nach Reiner-Rivlin

Evaluation of the results using Reiner-Rivlin

Nach [MEZGER] „sollte diese Methode [drehzahlgeführter Betrieb] nur für einfache QS-Tests verwendet werden, aber nicht mehr für zeitgemäße Forschung und Entwicklung“.

Beim KKM-RT 22.5/15 wird deshalb zukünftig im Forschungsvorhaben die **Schubspannung vorgegeben** und die Fließgrenze somit direkt als **Messwert** bestimmt.

Vielen Dank!

Thank you!

Vielen Dank auch an die DFG

Förderung im Rahmen des
Schwerpunktprogrammes 2005