

## New device for rheological measurements A measuring cell for special mortars

### Neues Gerät für rheologische Messungen Eine Messzelle für Spezialmörtel

**Address/Anschrift**

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Ruprecht Vogel  
Malerstieg 6  
99425 Weimar/Germany  
r.vogel@vogel-labor.de

Both quality and quantity of rheological tests are mainly determined by the available range of measuring cells. In this field, unmet needs exist especially with respect to building materials testing. This article describes one of these cells that is suitable for highly flowable mortars. This so-called basket cell enables fluid-in-fluid shear, and thus suppresses wall shear effects. The basket cell has been designed as a double annular gap cell ensuring high performance at low yield stresses.

#### Working principle

Under the assumption that solids of revolution can be used to create an appropriate shear area (see DIN 53 018 or 53 019), it must be observed, as a restrictive condition, that aqueous fluid may segregate at the interfaces when subjected to compression and/or shear. From a processing point of view, this is often a useful characteristic of mortars. However, this behavior results in the well-documented wall shear in the measuring cells referred to above, and thus leads to a distortion of measurement results. This effect may be limited by providing the measuring cells with a special surface texture, such as a ribbed pattern. Another possible solution could be to replace the adhesive fluid-wall bond with a cohesive bond. When pursuing this idea further, at least the critical cell walls would have to be replaced with fluid walls.

Following a large number of various experiments to create such cell walls, i.e. a "fluid-in-fluid shear" using external fields of force and the correspondingly high effort, the experience gained has been used to identify an easy-to-implement compromise solution. The setup comes very close to fluid-in-fluid shear if the intended fluid wall is established by means of a filigree framework. If a cylindrical framework is chosen – which would inevitably create an inner and outer fluid wall leaf –, it would appear logical to also look for a solution similar to a double annular gap cell.

#### Measuring cell design

The double annular gap geometry is a favorable design not only on the basis of the considerations outlined above. It is also a suitable option because of the anticipated low limit yield stresses that result from the stability criterion [1] for self-compacting mortars (SCM).

Co-axial double gap measuring cells are not a new invention. For example, DIN 54453 recommends the use of such a cell to determine the dynamic viscosity of anaerobic adhesives. While the cell's basic design is retained, its inner cylinder forming the double gap is replaced with the framework referred to above. As a result, the new measuring cell consists of an annular gap vessel – as shown in Fig. 1 – and the basket-like framework forming the sensor (Fig. 2). The framework is enclosed by a disc-shaped slot at the top and stiffened by an annular insert at the bottom. Following the infill of mortar into the annular gap vessel,

Qualität und Quantität rheologischer Untersuchungen werden vornehmlich durch die verfügbaren Messzellen bestimmt. Insbesondere für Baustoffuntersuchungen gibt es hier Lücken. Im nachfolgenden Beitrag wird eine solche für Mörtel mit hoher Fließfähigkeit vorgestellt. Diese Messzelle – die so genannte Korbzelle – ermöglicht eine Fluid-in-Fluid-Scherung und damit die Unterdrückung von Wandgleitwirkungen. Der Aufbau der Korbzelle in Form einer Doppelringspalt-Zelle verspricht bei geringen Fließspannungen eine hohe Leistungsfähigkeit.

#### Zum Prinzip

Geht man davon aus, dass zur Realisierung eines geeigneten Scherfeldes Rotationskörper genutzt werden können (siehe DIN 53 018 bzw. 53 019), so ist einschränkend zu beachten, dass sich an den Grenzflächen unter Umständen bei Druck- und/oder Scherbelastung des Mörtels wässriges Fluid absondert. Aus verarbeitungstechnischer Sicht ist dies oft eine nützliche Eigenschaft von Mörteln, sie führt jedoch in den genannten Messzellen zum bekannten Wandgleiten und damit zu einer Verfälschung der Messergebnisse. Man kann diesen Effekt durch eine besondere Formgebung der Oberflächen der Messzellen (z. B. Rippung) einschränken. Eine andere Lösung wäre es möglicherweise, wenn der Adhäsionsverbund Fluid-Wand durch einen Kohäsionsverbund ersetzt werden könnte. Verfolgt man diesen Gedanken, müssten wenigstens die kritischen Zellenwände durch Fluidwände ersetzt werden.

Nach vielfältigen Orientierungsversuchen zur Realisierung solcher Zellenwände, also einer „Fluid-in-Fluid-Scherung“ mit Hilfe äußerer Kraftfelder und dem damit verbundenen verhältnismäßig hohen Aufwand, wurde an Hand der gesammelten Erfahrungen nach einer einfach zu realisierenden Kompromisslösung gesucht. Einer Fluid-in-Fluid-Scherung kommt man sehr nahe, wenn die gewünschte Fluid-Wand mit Hilfe eines filigranen Gerüsts aufgebaut wird. Wählt man ein zylinderförmiges Gerüst – und damit zwangsläufig verbunden eine innere und äußere Fluid-Wandschale – so liegt es nahe, im Weiteren nach einer Lösung in Anlehnung an eine Doppelringspalt-Messzelle zu suchen.

#### Aufbau der Messzelle

Die Doppelringspalt-Geometrie empfiehlt sich nicht nur aus den vorangegangenen Überlegungen. Auch wegen der absehbar kleinen Grenzfließspannungen, die aus dem Stabilitätskriterium [1] für Selbstverdichtende Mörtel (SVM) resultieren, kommt der Doppelspalt in Betracht.

Koaxiale Doppelspalt-Messzellen sind nicht neu. In DIN 54 453 wird z. B. eine solche zur Bestimmung der dynamischen Viskosität von anaeroben Klebstoffen empfohlen. Der prinzipielle Aufbau dieser wird beibehalten, aber der den Doppelspalt bildende Innenzylinder durch

the sensor measurement can run to fill the effective depth of space.

This in particular widths a fraction of inert Hatsche

On structure also all strong the mo

For aperture 2.5 mm 32 ≤ ( measurement only a more used. the r only i

Fig. 2



the sensor will be moved coaxially, at low speed, to its measurement position. The fluid displaced during immersion can run off through the leveling openings of the sensor to fill the overflow receptacle of the annular gap vessel. The effective shear height  $L$  is determined by the immersion depth of the basket into the "fluid bath" in the annular gap space.

This cell setup has been subjected to numerous tests, in particular with respect to determining relative gap widths and framework designs. In order to ensure a sufficiently stable bottom flow in the gap against the impact of inertial forces, an instrument drive similar to the Hatschek device was used.

On this basis, diamond-shaped framework mesh structures were found to be particularly well-suited. These also allow for particle incorporation while ensuring a strong bond between the inner and outer fluid interface of the mortar attached on both sides.

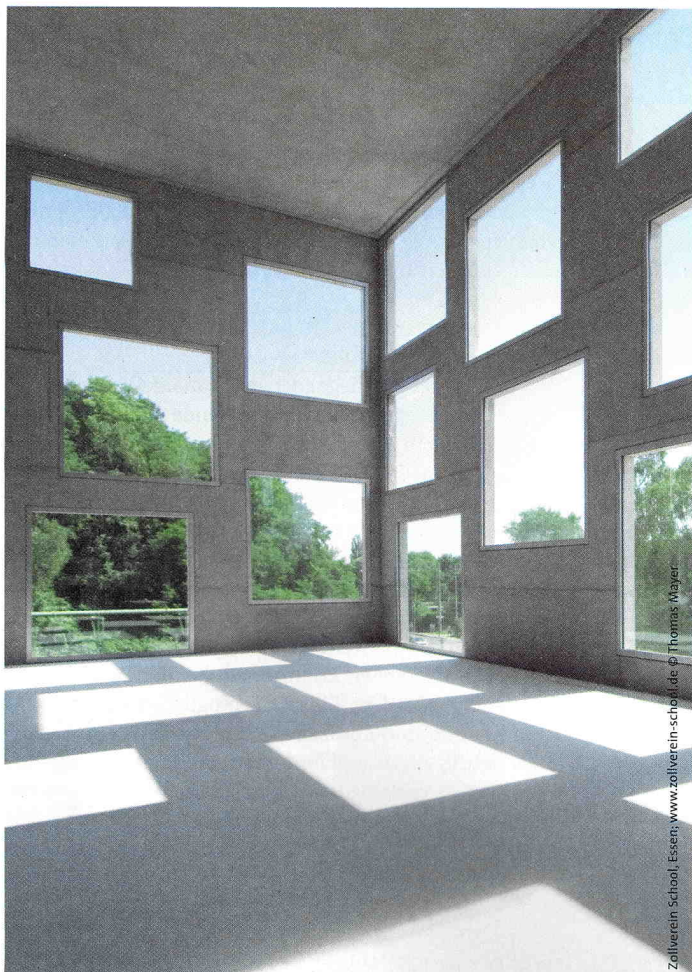
For mortars with a maximum particle size (mesh aperture) of 2 mm and a permissible oversize of up to 2.5 mm, tests involving various wall distances in the range  $32 \leq (4 \Delta \approx D_4 - D_1) \leq 8d_{K, \max}$  demonstrated extreme measuring fluctuations, up to a total standstill of the cell, only at the lowest distances. This effect was caused by a more or less significant wedging of the natural particles used. The wall distance ultimately chosen to determine the main dimensions equals  $\Delta \approx 3d_{K, \max}$  and is usable only in conjunction with the framework design shown in Fig. 2.

das besprochene Gerüst ersetzt. Die neue Messzelle besteht also aus einem Ringspaltgefäß – wie in Abb. 1 skizziert – und dem den Sensor bildenden korbähnlichen Gerüst (Abb. 2). Das Gerüst ist oben in einer Tellernut gefasst und unten durch einen Ringeinsatz versteift. Nach dem Einfüllen des Mörtels in das Ringspaltgefäß wird der Sensor mit geringer Drehzahl coaxial in Messposition geführt. Das beim Eintauchen verdrängte Fluid kann durch die Nivellieröffnungen des Sensors in die Überlaufkammer des Ringspaltgefäßes abfließen. Die effektive Scherhöhe  $L$  liegt mit der Eintauchtiefe des Korbes in das „Fluidbad“ des Ringspaltraumes fest.

Mit diesem Zellaufbau wurden umfangreiche Tests, vor allem bezüglich der relativen Spaltweiten sowie der Gerüstgestaltung, durchgeführt. Um eine ausreichende Stabilität der Grundströmung im Spalt gegenüber Trägheitskräften abzusichern, kam dafür ein Messgeräteantrieb dem Hatschek-Apparat entsprechend zum Einsatz.

Auf dieser Basis erwiesen sich vor allem rhombusförmige Netzstrukturen des Gerüsts als geeignet. Diese lassen auch Korneinlagerungen zu und realisieren einen ausgeprägten Verbund von innerer und äußerer Fluid-Grenzschicht des beidseits angelagerten Mörtels.

Für Mörtel mit einem Größtkorn (Siebmaschenweite) von 2 mm und zulässigem Überkorn bis höchstens 2,5 mm zeigten die Versuche mit verschiedenen Wandabständen im Bereich  $32 \leq (4 \Delta \approx D_4 - D_1) \leq 8d_{K, \max}$  nur bei den geringsten Abständen, durch mehr oder weniger



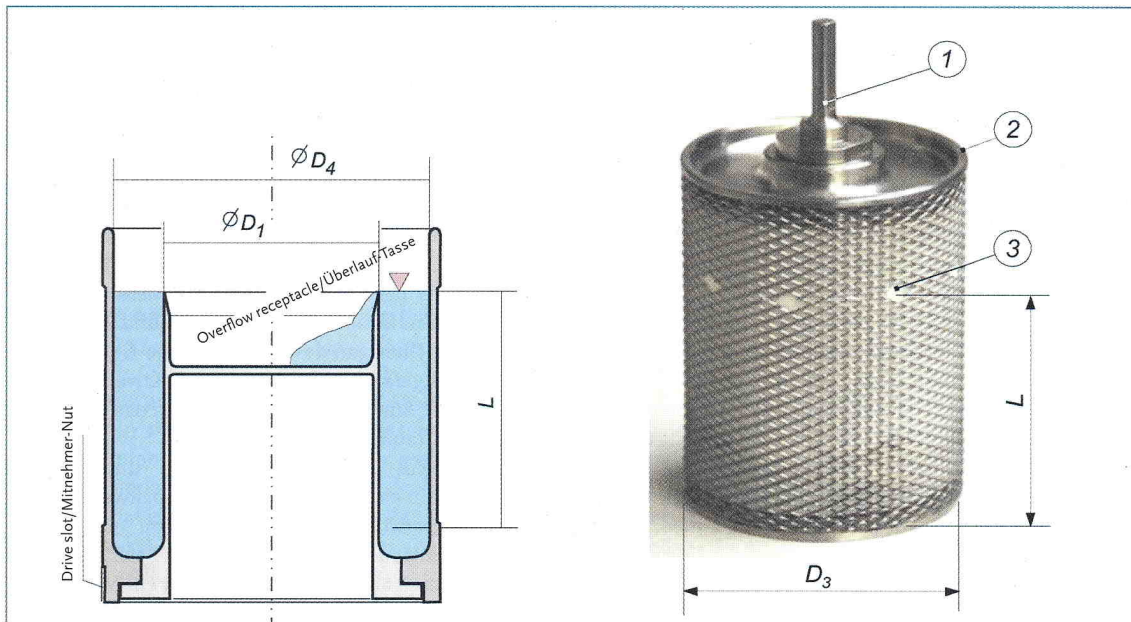
Zellverein School, Essen, www.zellverein-school.de © Thomas Meyer

Concrete Solutions  
**52. BetonTage**  
12. – 14. Februar 2008, Neu-Ulm

[www.betontage.com](http://www.betontage.com)







**Fig. 1** Section of the fluid-filled annular gap vessel of the measuring cell.

**Abb. 1** Schnitt durch das Ringspaltgefäß der Messzelle mit Fluid-Füllung.

**Fig. 2** Photo of the measuring cell sensor.

**Abb. 2** Foto-Ansicht des Sensors der Messzelle.

- (1) Coupling adapter/Kupplungs-Adapter
- (2) Mesh lining/Geflechtfassung
- (3) Openings for fluid leveling/Durchbrüche für Fluidnivellierung
- (L) Layout

Further design features were determined on the basis of a rather pragmatic approach. These include the position and design of the overflow receptacle and the minimization of the total weight of the annular gap vessel. These features also include the sensor immersion depth, which was determined at  $T [mNm] \approx \tau [Pa]$  on a preliminary basis to enable a quick overview in the course of individual measurements.

Prior to its use, the measuring cell must be calibrated. It is always advisable to calibrate the cell together with the other instruments available.

**Findings and outlook**

According to the experimental results obtained to date, the basket cell is suitable for all highly flowable fluids that are characterized by several phases, such as self-compacting mortars, grouting mortars, float finishes and fillers, as well as cementitious binder glues, ceramic slips, slurries of all types, and paints. Solutions can also be subjected to testing. As a prerequisite to any rheological materials testing, the object to be tested must be stable. This is also required for the setup described in this article.

The experience gained in the course of development, testing and application enables continuous improvement of the basket cell depending on the specific requirements. This includes both the main dimensions of the measuring cell determined by varying maximum particle sizes and the adjustment of the framework structure to special modes of application.

**References and further information/  
Literatur und weiterführende Informationen**

- [1] Vogel, R.: Ein Stabilitätskriterium für Selbstverdichtenden Beton, BFT Betonwerk+Fertigteil-Technik 12 (2005), S.42-49
- [2] Vogel, R.; Riedel, M.: Untersuchungen mit dem Rotationsviskosimeter RHEOTEST 2 zur Abgrenzung des Einsatzbereiches, Silikattechnik 41 (1990), Heft 2, S. 59...64
- [3] Vogel, R.: Stabilität und Fließverhalten von Selbstverdichtendem Beton, Vortrag Ibausil Weimar Sept. 2006, Druck Bd. 2, S. 1047...1058
- [4] Vogel, R.: Fließen von Selbstverdichtendem Beton – Das Fließgesetz; www.vogel-labor.de (Mitteilung 04/6)

deutliches Verkeilen des verwendeten natürlichen Korns, extreme Messwertschwankungen bis hin zum totalen Abbremsen der Zelle. Der schließlich für die Festlegung der Hauptabmessungen verwendete Wandabstand beträgt  $\Delta \approx 3d_{K, max}$  und ist nur im Zusammenhang mit der Gerüstausführung nach **Abb. 2** brauchbar.

Die weitere konstruktive Gestaltung erfolgte schließlich von einem mehr oder weniger pragmatischen Standpunkt aus. Hierzu gehört die Anordnung und Gestaltung der Überlauf-tasse genauso wie die Minimierung der Gesamtmasse des Ringspaltgefäßes. Auch die Eintauchtiefe des Sensors zählt hierzu, die fürs erste nach  $T [mNm] \approx \tau [Pa]$  gewählt wurde, um einen schnellen Überblick bei den Messungen zu ermöglichen.

Dem Einsatz der Messzelle muss eine Kalibrierung vorausgehen. Es ist immer ratsam, diese zusammen mit dem zur Verfügung stehenden Messgerät durchzuführen.

**Ergebnis und Ausblick**

Nach den bisher vorliegenden experimentellen Befunden eignet sich die Korbzelle für alle Fluide mit hoher Fließfähigkeit, deren Habitus durch mehrere Phasen gekennzeichnet ist, wie z. B. Selbstverdichtende Mörtel, Vergussmörtel, Fließestriche und Spachtelmassen ebenso wie Bindebaustoffeime, keramische Schlicker, Schlämme aller Art sowie Farben. Lösungen sind ebenfalls prüfbar. Voraussetzung für jegliche rheologische Materialuntersuchung ist eine Stabilität des Untersuchungsobjektes, sie ist auch hier notwendige Bedingung.

Die gesammelten Erfahrungen bei der Entwicklung, Erprobung und dem Einsatz ermöglichen eine weitere Optimierung der Korbzelle entsprechend dem Bedarf. Dies betrifft die Hauptabmessungen der Messzelle, bedingt durch verschiedenes Größtkorn genauso wie die Gerüststruktur für Spezialeinsatzfälle.

Prof. Dr.-Ing. habil. Ruprecht Vogel, Weimar