

Kurzerläuterungen

Konsistenz und Rheologie von Beton

1. Betonrheometer

Mit dem **Betonrheometer „ConTec BML WO-3“** können rheologische Parameter (Fließwiderstand, Viskositätskoeffizient) von Betonen bis Grösstkorn = 32 mm gemessen werden.

Der rheologische Parameter „Fließwiderstand“ hat einen direkten praktischen Bezug. Konsistenzmessungen wie das „Ausbreitmass“, oder wie in **Bild 1** gezeigt, zum „Slump“ und der „Slump flow“. Diese Grössen verhalten sich indirekt proportional zum Fließwiderstand: Mit steigendem Fließwiderstand sinkt der Slump, resp. der Slump flow.

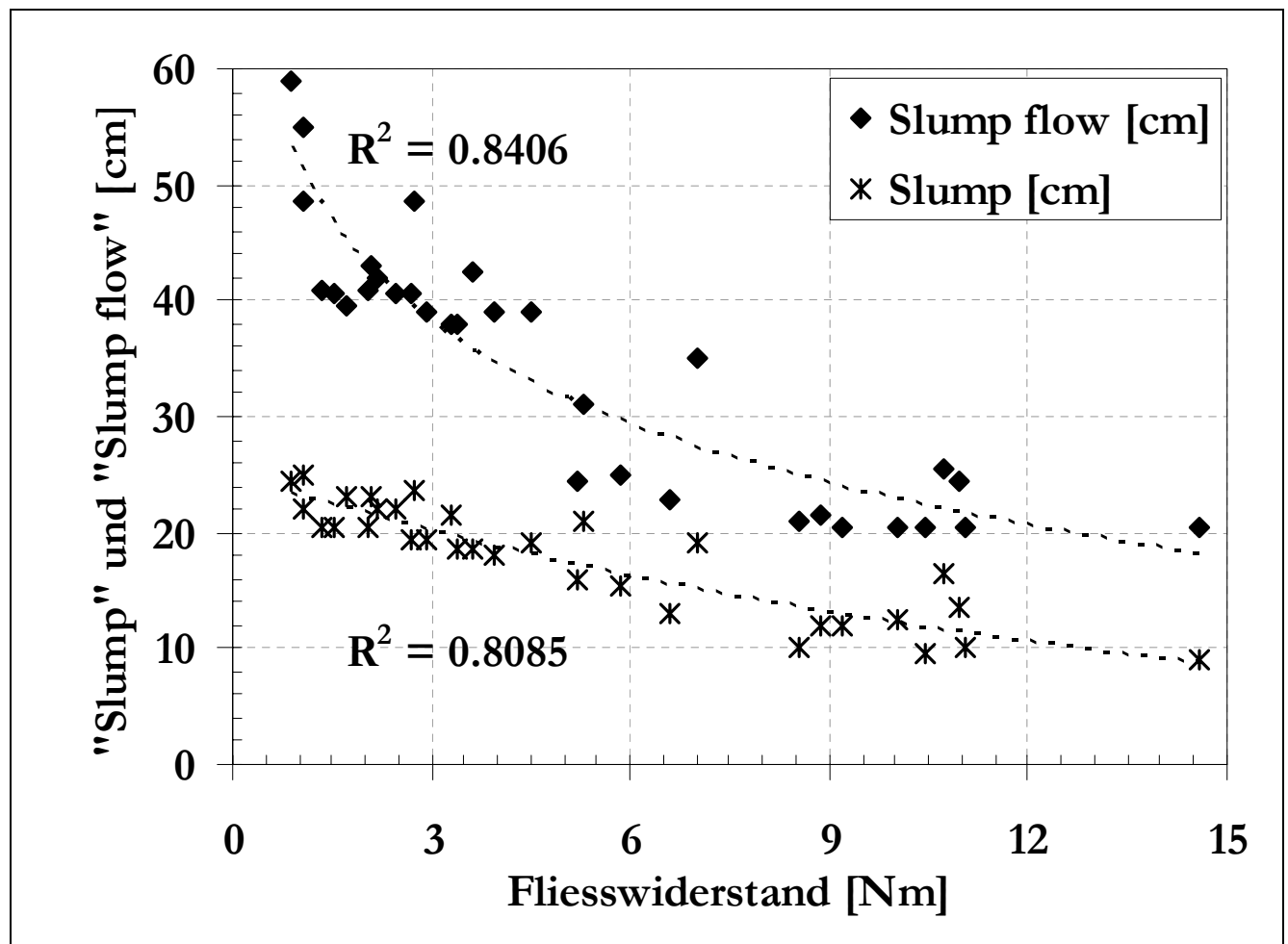


Bild 1: „Slump“ und „Slump flow“ als Funktion des Fließwiderstandes (ermittelt mit dem Betonrheometer).

2. Viskomat PC

Mit dem Viskometer „**Viskomat PC**“ werden die rheologischen Parameter „relativer Fließwiderstand“, „relativer Viskositätskoeffizient“, sowie „Ansteifen“ an Mörteln ermittelt. Dank eines angeschlossenen Kryostaten können die Mörteltemperaturen von 5 bis 30 °C variiert werden (**Bild 2**).

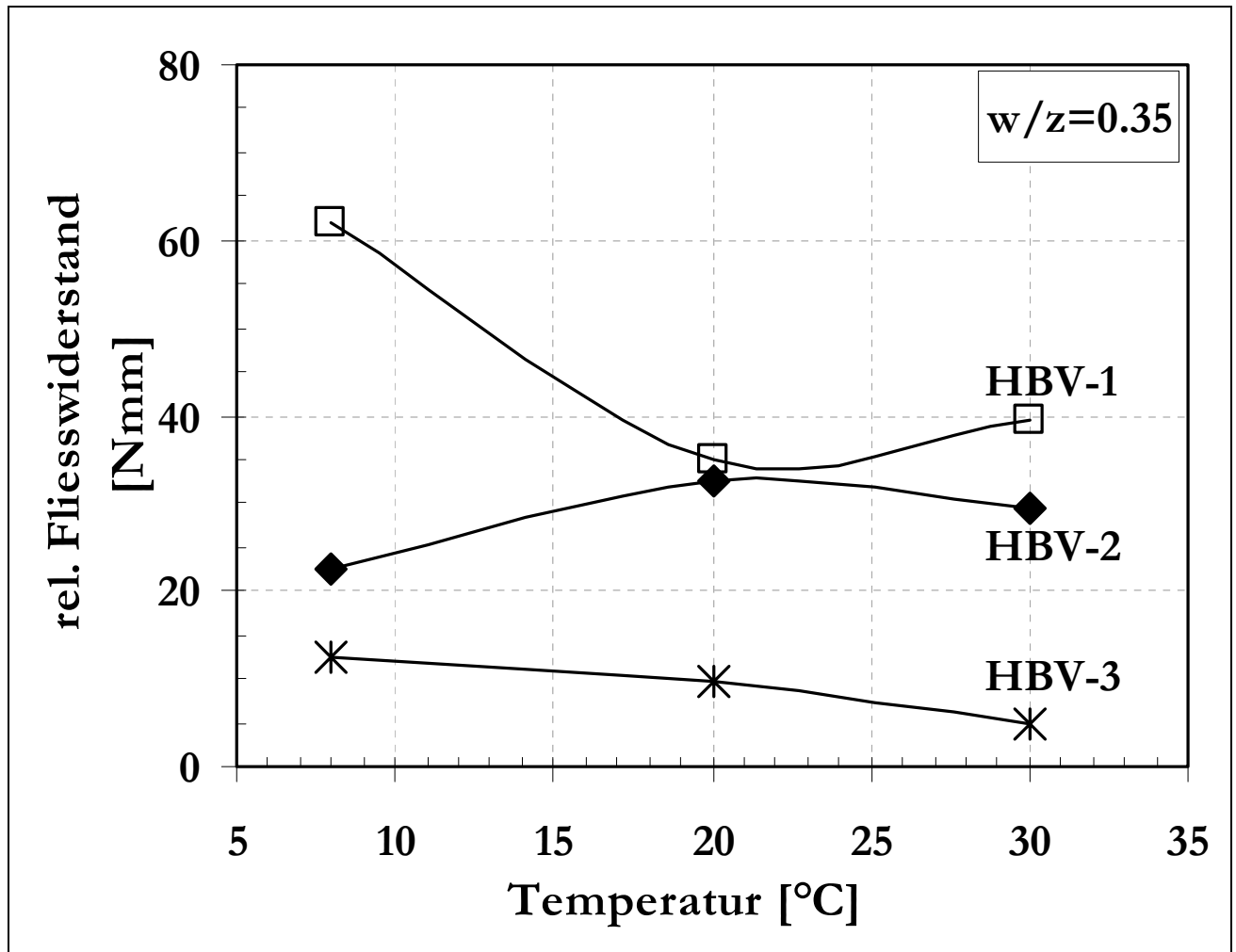


Bild 2: Relativer Fließwiderstand eines Zementes (CEM I 42,5) als Funktion der Temperatur: Sowohl die Temperatur, als auch verschiedene Betonzusatzmittel (in der Abbildung: 3 verschiedene Fließmittel bzw. Hochleistungsbetonverflüssiger, HBV) können einen erheblichen Einfluss auf den Fließwiderstand (d.h. auf die Konsistenz) eines Mörtels/Betons haben.

3. Erläuterungen zu den rheologischen Messungen der TFB

Die TFB verfügt über ein rheologisches Messgerät mit dem es möglich ist, das rheologische Verhalten von Zementleimen und Mörteln (Grösstkorn ca. 2 mm) in einem Temperaturbereich zwischen nahezu 0°C und mehr als 40 °C zu messen.

Die Rheologie ist die Lehre vom Deformations- und Fließverhalten von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Mittels rheologischer Untersuchungen soll ein Zusammenhang zwischen der Beanspruchung und der Verformung gefunden werden. Dieser Zusammenhang wird als Fließgesetz bezeichnet, wenn sich der Stoff im betrachteten Beanspruchungszustand wie eine Flüssigkeit verhält. Wird Frischbeton beispielsweise aus einem Behältnis ausgeleert, verbleibt ein Haufen aus Beton, der Beton scheint ein Festkörper zu sein. Wird jedoch eine Vibriernadel in den Beton eingeführt, fliesst der Beton und verhält sich wie eine Flüssigkeit.

Bei den rheologischen Untersuchungen wird der Zusammenhang zwischen der Beanspruchung des Betons (hier durch Vibriernadel oder dem Eigengewicht bei selbstverdichtendem Beton) und der Verformung (hier Fließverhalten) betrachtet. Da beispielsweise der Energieeintrag und die Auswirkungen der Vibriernadel nicht ausreichend genau erfasst werden können, werden die Untersuchungen mit speziellen Messgeräten durchgeführt.

Das rheologische Verhalten von Mörteln und Betonen wird durch die mineralogische und chemische Zusammensetzung und Korngrößenverteilung des Zements sowie die Abstimmung dieser Eigenschaften auf die der restlichen Mörtel- und Betonbestandteile wesentlich bestimmt.

Im Rahmen solcher Untersuchung wird der Viskomat PC der Firma Schleibinger, Deutschland, benutzt. Für die Messung wird ein Topf mit Mörtel gefüllt und auf das Gerät gesetzt. In diesen Topf taucht ein Paddel ein. Während der Messung wird der Topf gedreht und am Paddel das Drehmoment gemessen. Die Messungen werden bei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten und bei konstanter Temperatur durchgeführt (**Bild 3**).

Bei der Auswertung wird wie folgt vorgegangen: Zwischen der Beanspruchung (Umdrehungsgeschwindigkeit) und den gemessenen Drehmomenten wird bei Mörteln eine lineare Regression durchgeführt. Der Proportionalitätsfaktor wird als Viskositätskoeffizient (oder auch scheinbare Viskosität, Zähigkeit) bezeichnet. Unterhalb einer gewissen Beanspruchung verhält sich Beton wie ein Festkörper (der Beton mehr oder weniger seine Form). Bei rheologischen Messungen zeigt sich dies dadurch, dass das Paddel bei niedrigen Umdrehungsgeschwindigkeiten mit dem Topf mitdrehen würde. Erst oberhalb einer von der Mörtelzusammensetzung abhängigen Umdrehungsgeschwindigkeit verhält sich der Mörtel wie eine Flüssigkeit. Der Punkt, ab dem sich der Mörtel wie eine Flüssigkeit verhält, wird Fließwiderstand oder auch (Fließgrenze) genannt. Mittels der zwei Kenngrößen Viskositätskoeffizient und Fließwiderstand kann das Mörtel- bzw. Betonverhalten im frischen Zustand in der Regel ausreichend beschrieben werden. Flüssigkeiten, die nur einen Viskositätskoeffizienten aufweisen, werden als Newton'sche Flüssigkeiten bezeichnet, Flüssigkeiten die zusätzlich einen Fließwiderstand zeigen, als **Bingham-Körper**.

Bei und nach der Herstellung des Mörtels bilden sich teilweise chemische und physikalische Bindungen aus. Um diese Bindungen aufzubrechen, wird der Mörtel zu Beginn des Versuchs bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten beansprucht, es wird ein so genannter Strukturbruch herbeigeführt. Dadurch ist ein einheitlicher Messbeginn gegeben.

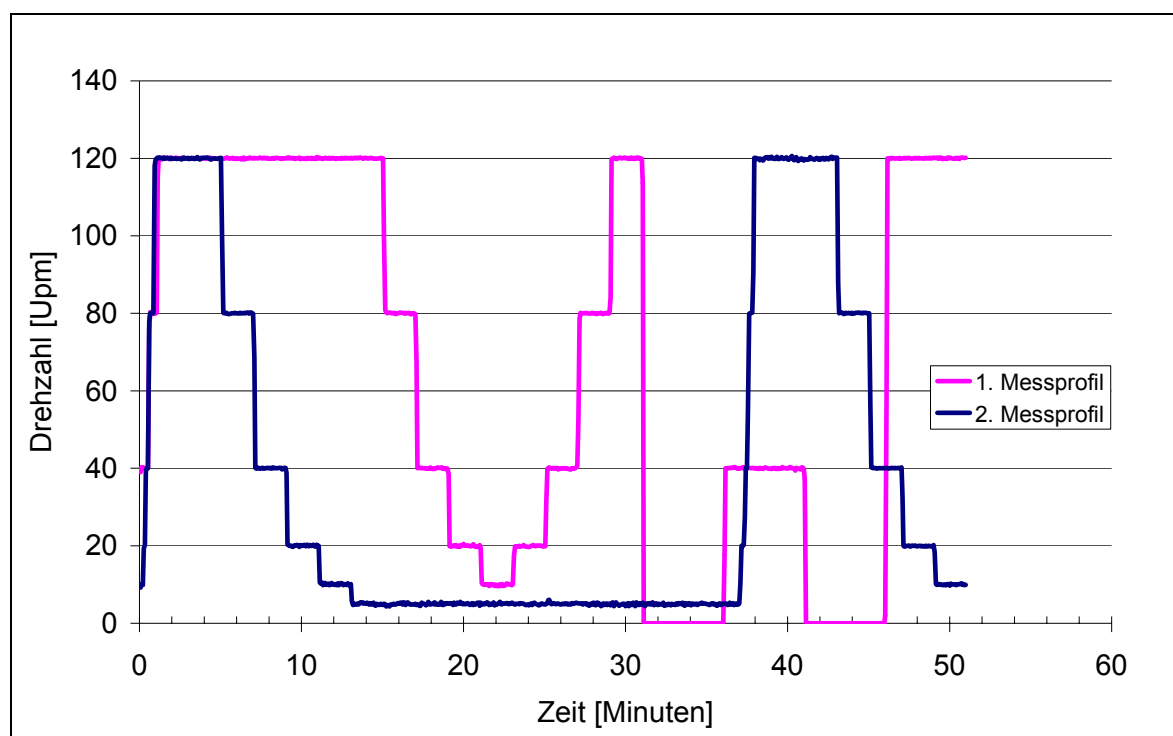


Bild 3: Messprofil für rheologische Messungen mittels Viskomat PC; bei den hier beschriebenen Messungen wurde das Messprofil 1 gewählt.

Bei der Messung (**Messprofil 1 in Bild 3**) wird während der ersten 14 Minuten dieser Strukturbruch herbeigeführt. Zur Berechnung der Viskositätskoeffizienten und Fließwiderstände werden die Drehmoment - Zeit - Kurven zwischen Minute 15 und 23 ausgewertet. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit jenen zwischen Minute 23 und 31 zeigt i.d.R. nur ein geringfügiges Abweichen.

Die Messungen zwischen den Minuten 36 und 41 bzw. 46 und 51 dienen der Untersuchung der **Thixotropie** bei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten. Unter Thixotropie wird die Abnahme der Viskosität mit zunehmender Beanspruchung verstanden, d.h. das gemessene Drehmoment nimmt mit zunehmender Versuchsdauer ab. Nach einer Ruheperiode bilden sich die zuvor aufgebrochenen Bindungen neu. Dieser Effekt kann durch die Strukturviskosität überlagert werden.

Interpretation der ermittelten rheologischen Kenngrößen:

- Der Fließwiderstand ist als Mass für die Steifigkeit (Fließfähigkeit) des Mörtels zu betrachten.
- Aus dem Viskositätskoeffizienten kann die Neigung zur Entmischung des Mörtels abgeleitet werden.
- Die sich ergebende Drehmomentänderung bei 120 Umdrehungen pro Minute am Anfang und am Ende des Versuchs erlaubt Aussagen über den zeitlichen Verlauf des Ansteifens.

Im Regelfall werden die rheologischen Untersuchungen an Mörteln mit einem Zement- bzw. Sandgehalt von 400 g bzw. 300 g und einem W/Z-Wert von 0.48 durchgeführt. Beim Sand handelt es sich um Normsand der Körnung 0 – 1 mm, sofern nicht spezifisch der Einfluss eines bestimmten Sandes untersucht werden soll.