

Kolloquium an der FH Regensburg

Der Fachbereich Bauingenieurwesen an der Fachhochschule Regensburg veranstaltete am 12. März 1993 ein Kolloquium über "Rheologische Messungen an mineralischen Baustoffmischungen", bei dem sechs Referenten aus Forschung und Industrie über dieses Sachgebiet referierten.

Vorbemerkung:

Das Fließverhalten von Beton gewinnt zunehmend an Bedeutung, weil die Einbaubedingungen immer schwieriger werden und immer flüssigere Betone verwendet werden. Der Beton muß also möglichst flüssig sein, darf aber nicht sedimentieren. Es besteht deshalb die Notwendigkeit Betonrezepturen schon im Vorfeld zu optimieren.

Beton besteht aus Feststoffen und flüssigen Bestandteilen. Zur Flüssigkeit Wasser wird zunächst der Feststoff Zement zugegeben, deren Verhältnis durch den w/z-Wert meist vorgegeben ist. Man erhält so Zementleim, der je nach Zement unterschiedliches Fließverhalten zeigt. Kommt Sand dazu, ergibt das den Mörtel. Je nach Herkunft des Sandes (Kornart, Sieblinie) wird durch ihn das Fließverhalten des Mörtels dadurch noch zusätzlich beeinflusst. Am wenigsten Einfluß auf das Fließverhalten des Betons hat der Grobzuschlag.

Um das Fließverhalten von Zementleim oder Mörtel zu messen, werden spezielle, elektronisch gesteuerte und geregelte Rotationsviskosimeter (z.B. Viskomat PC der Firma Schleibinger Geräte, Schwindegg) benutzt. Dabei rotiert mit variabler Geschwindigkeit in einem Meßtopf die zu messende Flüssigkeit. Es werden besonders geformte Scherkörper in die Flüssigkeit getaucht. Je nach Fließfähigkeit der Flüssigkeit wird ein Drehmoment erzeugt, das als Meßergebnis gespeichert wird. Wenn man nun das gemessene Drehmoment gegen die Rotationsgeschwindigkeit des Meßtopfes aufträgt, so zeigt sich, daß die Meßpunkte sehr gut auf einer Geraden liegen, einer Geraden mit einer Steigung μ und einem Achsabschnitt τ_0 . Danach entsprechen Mörtel und Beton einem Bingham Körper. Man kann sich das auch so vorstellen: Mörtel und Beton verhalten sich ähnlich wie Zahnpaste. Wenn man beim Zähneputzen einen Strang Zahnpaste auf die Bürste drückt, so fließt die Paste aus der Tube, solange man drückt, das heißt solange man eine bestimmte Kraft überschreitet. Unterhalb einer bestimmten Krafteinwirkung fließt die Zahnpaste nicht, sonst würde sie der Schwerkraft folgend von der Bürste tropfen (was zum Beispiel bei einem Öl, einer Newton'schen Flüssigkeit, der Fall wäre). Die Krafteinwirkung, die notwendig ist, um eine solche Bingham'sche Flüssigkeit zum Fließen zu bringen, bezeichnet man als Fließgrenze (τ_0).

Rührt man z.B. ein Glas Honig langsam mit dem Löffel um, dann geht es sehr leicht, versucht man aber sehr schnell rühren, dann braucht man viel Kraft (viel mehr als wäre es, um beim vorigen Beispiel zu bleiben, Zahnpaste). Daraus folgt, daß eine Flüssigkeit, abhängig vom Grad der Beanspruchung, letzterer einen bestimmten Widerstand entgegengesetzt. Dieses Verhalten kommt in der Steigung μ der Geraden zum Ausdruck und man bezeichnet es als Viskosität. Das Fließverhalten von Flüssigkeiten läßt sich also mit dem Achsabschnitt τ_0 und der Steigung μ genau beschreiben. Um beide Werte bestimmen zu können, braucht man mindestens zwei Meßpunkte (Zweipunktmessung). Nur wenn man davon ausgeht, daß das viskose Verhalten gleich ist, d.h. die Steigung der Geraden sich nicht ändert, würde zur Unterscheidung des Fließverhaltens auch ein Meßpunkt ausreichen (Einpunktmessung).

Zementleim, Mörtel und Beton zeigen zudem noch einen anderen Effekt. Dazu ein weiterer Vergleich: Man stelle sich einen Pudding vor. Dieser hat eine hohe Anfangscherfestigkeit und eine hohe Viskosität. Rührt man ihn einige Zeit fest um, kann man feststellen, daß er ziemlich flüssig geworden ist. Es hat also ein Strukturbruch stattgefunden.

Das gleiche passiert auch bei Zementleim, Mörtel und Beton. Diese Flüssigkeiten sind also strukturviskos, jedoch dauert der Strukturbruch unterschiedlich lang. Es ist deshalb wichtig, nach welcher Beanspruchungszeit ein Meßwert oder eine Fließkurve aufgenommen wird. Um die Meßergebnisse zweier Materialien vergleichen zu können, darf der Strukturbruch entweder noch nicht stattgefunden haben, oder er muß vollständig abgeschlossen sein.

Rheometrische Messungen an Mörtel oder Zementleim sind mit dem Viskomat PC unter definierten Belastungen möglich, dagegen fehlen für die Messung des Betons auf der Baustelle noch geeignete Ausrüstungen. Bei den üblichen Konsistenzmessungen, wie z.B. dem Ausbreitmaß, ist weder die Beanspruchung des Betons bekannt, die diesen zum Fließen bringt, noch läßt sie sich variieren.

Vortrag Dr. Hornung, E. Schwenk KG

Kurzfassung:

Herr Dr. Hornung untersucht im Rahmen eines Projektes der Forschungsgemeinschaft Transportbeton das Fließverhalten von Beton. Ziel ist es dabei, aus dem Fließverhalten des Mörtels auf das Fließverhalten von Beton zu schließen. Es wurden Messungen am Beton mit dem BML Viskosimeter, am Mörtel mit dem Viskomat PC durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, daß beide Meßverfahren auf physikalisch rheologische Größen umgerechnet werden können. Korrelationen zwischen den Messungen am Mörtel und am Beton wurden hergestellt.

Langfassung:

Herr Dr. Hornung untersucht im Rahmen eines Projektes der Forschungsgemeinschaft Transportbeton das Fließverhalten von Beton. Ziel ist es dabei, aus dem Fließverhalten des Mörtels auf das Fließverhalten von Beton zu schließen. Der Einfluß des Grobkorns soll dabei rechnerisch berücksichtigt werden.

Dazu werden vergleichende Messungen am Mörtel mit dem Viskomat PC, und am Beton mit dem BML Viskometer durchgeführt. Beide Geräte ähneln sich im Meßprinzip, unterscheiden sich aber stark in den äußeren Abmessungen.

Es kann davon ausgegangen werden, daß sich Mörtel und Beton im rheologischen Sinn wie sog. Bingham-Körper verhalten. Obwohl sich die beiden verwendeten Viskometer, aufgrund des verwendeten Untersuchungsmaterials (körnige Suspensionen) im Aufbau von klassischen Viskometern unterscheiden, messen beide hinreichend genau. Die Ergebnisse lassen sich in den üblichen physikalischen Größen für Fließgrenze und plastischer Viskosität darstellen.

Um reproduzierbare Messungen zu erhalten ist insbesondere der Einfluß der Temperatur, aber auch vieler anderer Größen zu berücksichtigen. Es konnte nachgewiesen werden, daß das Ausbreitmaß des Betons mit der Fließgrenze des Betons korreliert, diese wiederum korreliert mit der Fließgrenze des Mörtels.

Die plastische Viskosität des Betons ist nur an diesem selbst zu messen und nicht am Mörtel, da sie hauptsächlich durch den Grobzuschlag bestimmt wird. In der Praxis entstehen die Probleme jedoch meist durch die Streuung des Zements, die Streuung des Grobzuschlags ist im allgemeinen vernachlässigbar.

Folgende Beziehungen konnten experimentell gefunden werden:

- * Das Ausbreitmaß des Mörtels korreliert mit dem Ausbreitmaß des Betons.
- * Die plastische Viskosität des Mörtels korreliert nicht mit dem Ausbreitmaß des Betons.

- * Die plastische Viskosität des Betons korreliert nicht mit dem Ausbreitmaß des Betons.
- * Die Fließgrenze des Betons korreliert mit dem Ausbreitmaß des Betons.

Ziel der Untersuchungen soll es sein, einen im Fließverhalten reproduzierbaren Beton herzustellen.

Vortrag Schneider, SAFA GmbH & Co. KG

Kurzfassung:

Herr Schneider untersuchte den Zusammenhang zwischen dem Ausbreitmaß des Betons und dem Fließverhalten des Betonmörtels, gemessen durch dessen Schwerwiderstand (Viskomat PC). Der bereits von Prof. Teubert ermittelte Zusammenhang konnte mit dieser Meßreihe weitgehend bestätigt werden.

Langfassung:

Herr Schneider untersuchte den Zusammenhang zwischen dem Ausbreitmaß des Betons und dem Fließverhalten des Mörtels. Dabei wurden bei 16 verschiedenen Betonrezepturen jeweils der Scherwiderstand des zugrunde liegenden Mörtels im Viskomat PC und das Ausbreitmaß des Betons untersucht. Die Messungen wurden am frischen Ausgangsmaterial, sowie nach 30 Minuten durchgeführt. Von Prof. Teubert wurde früher schon experimentell nachgewiesen, daß sich unter gewissen Voraussetzungen ein rechnerischer Zusammenhang zwischen Scherwiderstand und Ausbreitmaß herstellen läßt. Diese Aussage konnte Schneider insbesondere bei Messungen nach 30 Minuten weitgehend bestätigen. Dies gilt auch beim Einsatz von Zusatzmitteln. Die gefundene Korrelation lag bei den 16 untersuchten Proben bei 0,893.

Vortrag Schwegk, TU Cottbus

Kurzfassung:

Die TU Cottbus hat eine Untersuchungsreihe zum Thema Ansteifverhalten von Transportbeton begonnen. Von den verwandten Untersuchungsmethoden sowie ersten Ergebnissen wird berichtet. Folgende Untersuchungsmethoden werden eingesetzt: Viskomat PC, Haegermann Tisch, Differentialkalorimeter sowie ein Laser Partikel-Sizer.

Langfassung:

Die TU Cottbus hat eine Untersuchungsreihe zum Thema Ansteifverhalten von Transportbeton begonnen. Von den verwandten Untersuchungsmethoden sowie ersten Ergebnissen wird berichtet. Folgende Untersuchungsmethoden werden eingesetzt: Viskomat PC, Haegermann Tisch, Differentialkalorimeter sowie ein Laser Partikel-Sizer.

Untersucht wird insbesondere der Einfluß von kontinuierlichem und intermittierendem Mischen des Mörtels. Es wird gezeigt, daß an Mörtel, parallel zu Messungen am Viskomat, die Zunahme der Festigkeit bei intermittierendem Rührbetrieb deutlich langsamer verläuft als bei kontinuierlichem Rührbetrieb. Äquivalentes Verhalten gilt für das Ausbreitmaß. Das Ansteifverhalten des Zementleims korreliert qualitativ deutlich mit dem Enthalpieverlauf des Zementleims. Der Einsatz von Luftporenbildnern zeigte überraschenderweise eine deutliche Zunahme des Scherwiderstandes bei Messungen am Viskomat, im Vergleich zum gleichen Mörtel ohne Luftporenbildner.

Vortrag Keck, UNI Essen

Kurzfassung:

Herr Keck von der Universität Essen referierte über den Zusammenhang von Ausbreitmaß und Fließkurve an Zementmörteln. Es wurden Proben mit zwei verschiedenen Wasserzementwerten, vier verschiedenen Füllungsgraden und vier verschiedenen Sieblinien untersucht. Es konnte ein Zusammenhang zwischen Fließgrenze und Ausbreitmaß

aufgezeigt werden. Abweichungen in der Korrelation beider Verfahren sieht Keck in der geringeren Empfindlichkeit des Ausbreitmaßes im Bereich einer hohen Fließgrenze begründet.

Langfassung:

Herr Keck von der Universität Essen referierte über den Zusammenhang von Ausbreitmaß und Fließkurve an Zementmörteln. Es wurden Proben mit zwei verschiedenen Wasserzementwerten, vier verschiedenen Füllungsgraden und vier verschiedenen Sieblinien untersucht.

Keck unterscheidet bei der Scherwiderstandsmessung mit konstanter Drehzahl des Meßtopfes mit dem Viskomat PC drei Bereiche: Bereich 1 zu Beginn der Meßkurve zeigt einen Abfall des Scherwiderstandes (Strukturbruch); Bereich 2 zeigt einen konstanten Scherwiderstand; Bereich 3 zeigt einen zunehmenden Scherwiderstand (Ansteifen). Für Vergleichsuntersuchungen werden nur Meßwerte im Bereich 2 berücksichtigt. Nur in diesem Bereich 2 ist ein weitgehend linearer Zusammenhang zwischen Scherwiderstand, und Rotationsgeschwindigkeit des Meßbechers gegeben.

Aus den Untersuchungen ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

- * Nur im Bereich 2 läßt sich das rheologische Verhalten mit dem Ausbreitmaß korrelieren.
- * Bei gleicher Sieblinie korreliert das Ausbreitmaß mit der Fließgrenze.
- * Mit zunehmendem Mehlkornanteil nimmt die Steigung der Viskosität zu.

Bei nicht zu großen Änderungen des Wasserzementwertes und des Füllungsgrades sieht Keck eine gute Korrelation zwischen Ausbreitmaß und Fließgrenze. Bei zunehmender Fließgrenze sieht Keck eine Verschlechterung der Korrelation. Dies begründet er mit einer höheren Empfindlichkeit des Viskomat in diesem Meßbereich. Das Ausbreitmaß reagiert in diesen Bereichen unempfindlicher, wodurch sich die Abweichung erklären läßt.

Vortrag Dr. Masuch, E. Heitkamp GmbH

Kurzfassung:

Frau Dr. Masuch referierte über den Einfluß von Fließmitteln bei unterschiedlichen Temperaturen auf verschiedene Zemente in Kombination mit Kunststoffdispersionen. Alle Messungen wurden an Mörtelmischungen mit Viscosand vorgenommen. Es wurden das Ansteifen und die Wirksamkeit der Mittel untersucht. Dabei ergab sich, daß dieses Verfahren sehr gut geeignet ist, Materialien für bestimmte Bauvorhaben gezielt auszuwählen und damit den Aufwand der Eignungsprüfungen stark zu reduzieren.

Langfassung:

Frau Dr. Masuch referierte über den Einfluß von Fließmitteln bei unterschiedlichen Temperaturen auf verschiedene Zemente in Kombination mit Kunststoffdispersionen. Die Messungen erfolgten an Mörteln mit Viscosand. Durch Temperieren des Prüfgutes konnte die Reproduzierbarkeit der Messungen verbessert werden. Es wurde nachgewiesen, daß die Scherbeanspruchung während der Messung keine Auswirkung auf die Festigkeit des Materials hat. Bei weiteren Untersuchungen wurde die Scherwiderstandsmessung mit dem Ausbreitmaß nach DIN 18555 verglichen. Der Vergleich der Mörtelmessung bei unterschiedlichen Temperaturen ergab eine gute Übereinstimmung der Werte bei 20 ° C. Bei 30 ° C und höher zeigten sich größere Abweichungen, weil die Verdunstung das Meßergebnis des Ausbreitmaßes zu stark beeinträchtigte.

Es konnte außerdem gezeigt werden, daß manche Verflüssiger bei bestimmten Temperaturen mit bestimmten Zementen eher versteifend wirken.

Es konnten so auf einfache Weise die Materialien für bestimmte Bauvorhaben schon im Vorfeld sondiert und ausgewählt werden, um danach den Aufwand der Eignungsprüfungen stark zu reduzieren.

Dr. Banfill, UNI Liverpool

Langfassung:

Es steht fest, daß sich Frischbeton wie ein Binghamkörper verhält. Die rheologischen Eigenschaften können in einer Gleichung mit zwei Konstanten, der plastischen Viskosität und der Fließgrenze, ausgedrückt werden:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \gamma$$

Das bedeutet, daß man zwei oder mehr Messungen benötigt, um das Fließverhalten von Beton zu beschreiben: Die Zweipunktmessung.

Es gibt eine Meßgerät, um die beiden Konstanten für Beton zu bestimmen und es gibt viele Informationen über den Einfluß der Art und der Zusammensetzung des Betons.

Die gleiche Möglichkeit bietet der Viskomat PC für Mörtel. Die Meßergebnisse können in physikalische Einheiten umgerechnet werden. Die Fließgrenze und die plastische Viskosität hängen von Zementtyp, von der Feinheit des Sandes, vom Wasserzementwert, vom Verhältnis Sand zu Zementleim (Füllungsgrad), von Fließmitteln, Luftporenbildnern, Flugasche oder Microsilika ab. Die Auswirkungen auf den Mörtel sind die gleichen wie auf den Beton.

