Die Messung der Konsistenz von Betonmörtel und ihre Bedeutung für die Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons

Measuring the consistency of concrete mortar and its importance to the workability of fresh concrete

Von Dipl.-Geol. Jürgen Teubert, Obertaufkirchen

Mit Beginn der Entwicklung des Stahlbetonbaues standen zunächst die Festigkeitseigenschaften des erhärteten Betons sowie die Einflüsse der Ausgangsstoffe und deren Zusammensetzung auf die Festigkeitsentwicklung im Vordergrund. Die Technologie des Betons wurde deshalb vom Festbeton geprägt, wobei der Frischbeton als unvermeidbarer Zwischenzustand ausschließlich aus der Sicht der Festbetoneigenschaften betrachtet wurde.

Die Weiterentwicklung des Betonbaues führte zu einer ständigen Steigerung der Anforderungen an die Betonkonstruktionen und damit zu höheren Betonfestigkeiten, zunehmendem Bewehrungsanteil und komplizierteren Schaltechniken.

Durch den Zwang zur Rationalisierung bei laufend steigenden Qualitätsanforderungen verlagerte sich die Herstellung des Betons zunehmend von der Baustelle zum objektunabhängigen Lieferwerk. Mit dieser ganzen Entwicklung veränderte sich die Betontechnologie weitgehend zu einer Technologie des Frischbetons, die wesentlich durch die Verarbeitungstechnik geprägt ist. Die bis heute weitreichendste Entwicklung in dieser Hinsicht stellt der Fließbeton dar.

Um Fehlschläge und Schäden im Betonbau bei einer wirtschaftlichen und optimalen Verarbeitung des Betons in Zukunft zu vermeiden, ist es unerläßlich, die Zusammensetzung des Betons nicht nur in Hinblick auf seine Festigkeitseigenschaften zielsicher zu entwerfen, sondern in verstärktem Maße die Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons unter Berücksichtigung der Einflüsse der Ausgangsstoffe zugrunde zu legen.

Im folgenden soll darüber berichtet werden, wie die Verarbeitungseigenschaften des Betons beim Mischungsentwurf besser berücksichtigt werden können und welche Überlegungen sowie Messungen mit den Ausgangsstoffen entsprechend zum Ziele führen.

1. Ein verarbeitungsrelevantes Frischbetonmodell:

Zum besseren Verständnis der physikalischen Beziehungen zwischen einer weichplastischen Betonmasse mit ihren spezifischen, guten Verarbeitungseigenschaften und den Einflüssen der Ausgangsstoffe darauf, soll das in Bild 1 dargestellte Schema dienen. Wie zu sehen ist, besteht der Frischbeton aus einem Gemisch unterschiedlicher fester und flüssiger

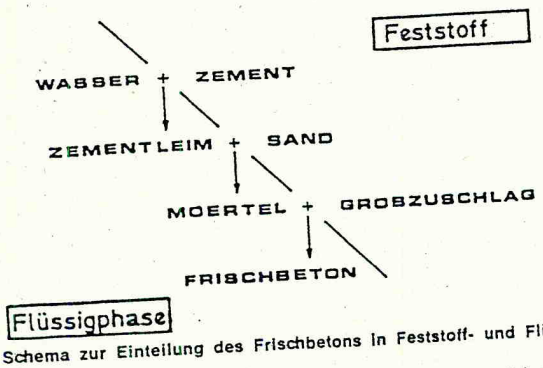

Bild 1. Schema zur Einteilung des Frischbetons in Feststoff- und Flüssigphasen

Fig. 1. Diagram for the subdivision of fresh concrete into solid and liquid phases

Fig. 1. Schéma des classifications de béton dans ces phases solides et fluides

In the early period of development of reinforced concrete construction the strength properties of the hardened concrete and the influences of the starting materials and their composition upon strength development recieved most attention. Concrete technology was thus geared essentially to the hardened material, while the fresh concrete was regarded merely as an unavoidable intermediate state and was considered solely in terms of the properties of the hardened concrete.

Further progress in concrete construction was associated with increasingly high demands being made on the structures built of this material and thus with the need for higher concrete strengths, higher reinforcement percentages and complicated formwork techniques. As a result of the need for rationalization in response to ever more exacting quality requirements the manufacture of concrete was increasingly shifted from construction site to the independent precasting works or ready-mix plant. With this whole process of evolution, concrete technology underwent a major change to a technology of fresh concrete, notably characterized by the technique of working the material. The most outstanding development in this respect has been superplasticized concrete.

In order to avoid costly mistakes and losses in concrete construction and, instead, to ensure economic and optimal utilization of this material in the future, it is essential to base its mix design not just on its strength properties, but more particularly also on its workability properties in the freshly mixed state, with due regard to the influences exercised by the starting materials employed.

In this article it will be examined how the workability of fresh concrete can be better taken into account in mix design and what considerations and what measurements involving the starting materials can lead to the desired result.

1. A workability-oriented model of fresh concrete

The schematic representation in Fig. 1 will help to understand the physical relationships between a plastic mass of concrete with its specific good workability properties and the influences exercised upon it by the starting materials. As appears from the diagram, fresh concrete consists of a mixture of various solid and liquid phases. This provides a serviceable model conception for assessing the properties of fresh concrete and their dependence upon the starting materials. For convenient representation of these relationships, it can be subdivided into three phases: cement paste, mortar, (fresh) concrete.

1.1 Cement paste

Cement paste consists of a liquid phase (water) in which is suspended a solid (cement). The mix proportions are characterized by the water-cement ratio with reference to the strength class of the cement and to the required strength properties of the hardened concrete. An important requirement for a properly workable concrete is that the physical properties of its cement paste should prevent sedimentation of the solid cement particles, i. e., the paste should be "stiff" enough to inhibit excessive fluidity of the concrete. Depending on the type of cement used, adequate stability of the cement paste is attainable by not exceeding a certain maximum water-cement ratio (I) or by appropriately in-

Phasen. Mit dieser Aufteilung erhält man ein brauchbares Arbeitsschema, das eine bessere Beurteilung der Frischbetoneigenschaften und ihrer Abhängigkeiten von den Ausgangsstoffen ermöglicht. Zur übersichtlichen Darstellung dieser Zusammenhänge läßt sich der Frischbeton in die 3 Phasen unterteilen: Zementleim, Mörtel und Frischbeton.

1.1 Zementleim

Zementleim besteht aus der Flüssigphase Wasser und dem darin suspendierten Feststoff Zement. Das Mischungsverhältnis ist mit dem Wasserzementwert aufgrund der Zementfestigkeitsklasse und der Festigkeitsanforderungen an den Beton festgelegt. Wichtig für einen gut verarbeitbaren Beton ist, daß die physikalischen Eigenschaften des Zementleimes ein Absetzen der Feststoffteilchen des Zementes nicht zulassen. Der Zementleim muß also „steif" genug sein, um eine Entmischung unmöglich zu machen, zum anderen darf er natürlich auch nicht zu „steif" sein, um die Fließfähigkeit des Betons zu behindern. Eine ausreichende Stabilität des Zementleimes, auch bei Zusatzmittelzugabe, ist, abhängig vom verwendeten Zement, durch Einhaltung eines maximalen Wasserzementwertes [1] oder entsprechende Erhöhung des Feststoffanteils im Zementleim durch geeignete Zusatzstoffe, wie z. B. Flugasche, erreichbar.

1.2 Betonmörtel

Füllt man die Flüssigkeit Zementleim mit dem Feststoff Sand der Zuschläge auf, so erhält man die fließfähige Phase Mörtel des Betons. Die Fließfähigkeit des Mörtels wird bestimmt durch das Fließverhalten des Zementleimes, der Menge an Sand im Zementleim und natürlich durch den Kornaufbau des Sandes. Je zähflüssiger der Zementleim ist, um so weniger Sand wird man bis zu einer bestimmten Fließfähigkeit des Mörtels hineingeben können; ist der Zementleim flüssiger, wird er mehr dieses Sandes aufnehmen können.

Auch für den Mörtel ist es wichtig, daß er stabil ist, d. h., daß er bei der Verarbeitung nicht entmischt. Hierzu darf der Zementleim nicht zu weich sein, damit das darin suspendierte Sandkorn sich nicht absetzt. Der Zementleim als Flüssigkeit des Mörtels muß andererseits aber flüssig genug sein, um bei optimalem Sandgehalt dem Mörtel noch die gewünschte Fließfähigkeit zu verleihen. Diese Zusammenhänge sollte man immer vor Augen haben, wenn in der Praxis Verarbeitungsschwierigkeiten auftreten.

Die Menge an Sand, die im Zementleim untergebracht werden kann, bis der Grenzwert der zulässigen Verarbeitbarkeit erreicht ist, hängt, wie schon erwähnt, von der Zähigkeit des Zementleimes und von der Kornzusammensetzung des Sandes ab. Als Beurteilungsgröße für die Zusammensetzung des Betonmörtels kann man den Volumenanteil an Sand im Zementleim heranziehen (Füllungsgrad des Mörtels). Standardwerte hierfür lassen sich, wegen der Einflüsse aus der Zementleimsteife und der für jeden Sand eigenen Kornzusammensetzung, nicht angeben. Die Werte für einen normal verarbeitbaren Beton streuen in einem verhältnismäßig breiten Spielraum. Im Vergleich hierzu ist der Spielraum der Mörtelkonsistenz nur sehr gering. Daraus ergibt sich die Bedeutung einer genauen Kenntnis einer auf die Eigenschaften der Ausgangsmaterialien abgestimmten Mörtelzusammensetzung.

1.3 Frischbeton

Auch den Frischbeton kann man, wie zuvor Zementleim und Mörtel, als zweiphasiges System betrachten: den Mörtel als Flüssigphase und den Grobzuschlag als Feststoffanteil. Für den Frischbeton gilt wiederum das Prinzip, die Flüssigkeit Mörtel mit dem Feststoff Zuschlag aufzufüllen, allerdings auch wieder nur soweit, daß die volle gewünschte Fließfähigkeit des Betons gegeben ist. Als Beurteilungsgröße hat sich hier die Mörtelmenge in einem m³ Beton eingeführt, die bisher im wesentlichen schon als Kriterium für Ausfallkornbeton herangezogen wurde.

Für den Frischbeton gilt, wie schon zuvor für die anderen Flüssigphasen des Betons, daß bei zu weichem Mörtel der Beton entmischt, andererseits ein zu steifer Mörtel die ge-

creasing the solids content of the cement paste by means of suitable additive substances. This principle is applicable whether or not an admixture is introduced into the mix.

1.2 Concrete mortar

When the liquid cement paste is filled up with fine aggregate (more particularly: sand), the resulting mixture is the "mortar" of the concrete. The fluidity of the concrete mortar is determined by the flow behaviour of the cement paste, the amount of sand incorporated into the paste, and of course the granulometric composition of the sand. The more viscous the cement paste is, the less sand can be added till a certain fluidity of the resulting mortar is attained. On the other hand, if the paste is more fluid, it will be able to absorb more sand.

Also of importance to the mortar is that it should be stable, i. e., does not segregate during "working" (handling, placing, compaction). For this purpose the cement paste must not be too plastic, so as to ensure that the sand grains suspended in it will not settle out. However, the paste must also be sufficiently fluid to ensure that the mortar with its optimum sand content still possesses the desired fluidity. These relationships should always be borne in mind when difficulties with workability are encountered in practice.

The quantity of sand that can be incorporated into the cement paste up to the limit imposed by workability will, as already mentioned, depend on the viscosity of the paste and on the granulometric composition of the sand. The volumetric proportion of sand in the cement paste (degree of filling of the mortar) can be used as a criterion for the composition of the concrete mortar. Because of the influence exercised by the stiffness of the cement paste and because of the granulometric composition which differs for different sands, it is not possible to lay down standard values for this criterion, however. The values for the concrete of normal workability display a relatively wide range of scatter. In comparison with this the variation range of the mortar consistency is small. This shows how important it is to ensure that the composition of the mortar is duly adjusted to the properties of the starting materials.

1.3 Fresh concrete

Like the cement paste and also the mortar, the fresh concrete itself can be conceived as a two-phase system: the coarse aggregate as the "solid" in the mortar as the "liquid". The same principle applies too: fill the liquid phase with the solid up to the limit imposed by the desired fluidity of the concrete. The criterion introduced for this purpose is the quantity of mortar in a cubic metre of concrete; this criterion has in the past already been applied to gap-graded concrete.

Again like the other liquid phases of concrete, the fresh concrete conforms to the rule that too plastic a mortar consistency will cause segregation of the concrete, whereas too stiff a consistency will prevent the desired fluidity being obtained. From this it follows that the consistency of the mortar cannot indefinitely be modified towards every greater fluidity if segregation of the concrete is to be avoided. These relationships must more particularly be borne in mind in connection with the use of superplasticizers, because it often happens that, in the absence of appropriate preliminary tests, the resulting "fluidification" of the mortar causes it to fall below this limit of stability.

The requisite amount of mortar in a concrete depends on the nature and composition of the coarse aggregates. With round particles and a continuous grading the requisite amount of mortar in the mix (assuming the mortar particles to be in the 0–2 mm size range) will be about 500 litres/m³ or 50 per cent in a cubic metre of concrete. This mortar content is valid for concrete compacted with normal equipment. If a more intensive compacting effort is applied, the amount of mortar can of course be reduced. With heavy equipment such as is occasionally used in the production of precast structural components the mortar proportion can thus be reduced to

wünschte Fließfähigkeit nicht erreichen läßt. Aus dieser Überlegung resultiert die zwingende Folgerung, daß die Konsistenz des Mörtels nach unten nicht beliebig weit verflüssigt werden kann, wenn Entmischungen des Betons vermieden werden sollen. Diese Zusammenhänge sind im besonderen bei Einsatz von Fließmitteln zu berücksichtigen, da durch diese häufig, ohne entsprechende Voruntersuchungen, die Verflüssigung des Mörtels unter diese erwähnte Stabilitätsgrenze erfolgt.

Die erforderliche Mörtelmenge eines Betons hängt von der Art und Zusammensetzung der Grobzuschläge ab. Bei Rundkorn und stetigem Kornaufbau liegt die erforderliche Mörtelmenge (Korngröße 0–2 mm) bei ca. 500 l/m³ oder 50% eines m³ Beton. Diese Mörtelmenge gilt für einen mit normalen Verdichtungsgeräten verarbeiteten Beton. Selbstverständlich kann die Mörtelmenge geringer sein, wenn der Verdichtungsaufwand steigt. Bei schweren Verdichtungsgeräten, wie sie gelegentlich im Fertigteilbau üblich sind, kann Beton mit einer geringeren Mörtelmenge von 430–500 l/m³ verarbeitet werden. Bei der heute üblichen Verarbeitung von normalem Konstruktionsbeton erfolgt die Verdichtung durch ein unbehindertes freies Ineinanderfließen der Betonmasse. Allerdings muß die Konsistenz und die Menge des Mörtels dieses freie Ineinanderfließen zulassen.

Die erforderliche Mörtelmenge eines Betons hängt dann weiterhin noch von der maximalen Korngröße des Grobzuschlages sowie von der Kornform, d. h., ob rund oder splittig, ab. Für Splittkorn als Grobzuschlag wird die Mörtelmenge in der Regel um ca. 10% zu erhöhen sein, bei Reduzierung des Maximalkornes auf z. B. 16 mm wird eine Erhöhung der Mörtelmenge um ca. 5% notwendig werden.

2. Die Messung der Konsistenz des Betonmörtels:

Wie sich aus den vorangegangenen Darlegungen zeigt, ist der Betonmörtel die „Kernphase" für einen verarbeitungsgerechten Frischbeton. Es lag deshalb nahe, nach einem Verfahren zu suchen, mit dem die Verformbarkeit des Mörtels unter einer Krafteinwirkung mit guter Reproduzierbarkeit gemessen werden kann. Nach dem Studium einschlägiger Literatur [2–5] und durchgeführten eigenen Untersuchungen [6, 7] erwies sich die rheometrische Bestimmung des Scherwiderstandes eines definiert zusammengesetzten Betonmörtels als

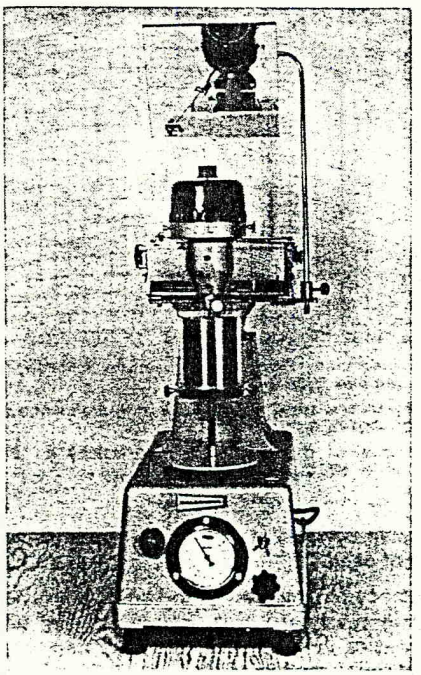

Bild 2. Für die Scherwiderstandsmessung an Betonmörtel herangezogenes Viskosimeter: VISCO-CORDER der Firma Brabender, Duisburg

Fig. 2. VISCO-CORDER viscosimeter (Brabender, Duisburg) used for shearing resistance measurements on concrete mortar

Fig. 2. Viscsimètre "VISCO-CORDER" de Brabender à Duisburg, utilisé pour mesurer la résistance au cisaillement de mortier de béton

between 430 and 500 litres/m³. For ordinary structural concrete the compaction effect is achieved by unrestrained flow within the concrete, so that all parts thereof can merge together. Obviously, the consistency and quantity of mortar in the mix must be sufficient to enable this to happen.

The requisite mortar content of concrete will furthermore depend on the maximum coarse aggregate particle size and on the particle shape, i. e., round or splintery. If the coarse aggregate consists of stone chippings, the mortar amount will in general have to be increased by about 10 per cent. Also, if the maximum size is restricted to, say, 16 mm it will be necessary to increase the mortar by about 5 per cent.

2. Measuring the consistency of concrete mortar

As appears from what has been said so far, the mortar in the mix is the "central phase" for a properly workable fresh concrete. Hence it was an obvious thing to look for a method with which the deformability of the mortar under the action of a force could be measured with satisfactory reproducibility. After a study of relevant literature (2–5) and some investigations conducted by the present author (6, 7), the rheometric determination of the shearing resistance of a concrete mortar of defined composition was found to be a highly serviceable method, besides providing good reference values linking its results to the behaviour of fresh concrete itself, as will be explained in due course.

The shearing resistance as a measure or criterion for the deformability of the mortar is determined with a rotational viscosimeter, the VISCO-CORDER made by the firm of Brabender, Duisburg (Fig. 2). The mortar to be measured with this instrument is filled into a measuring pot up to a certain level and then rotated at a constant load-independent speed of 120 r. p. m. A resistance element with paddle arms in a spiral arrangement (Fig. 3) is immersed in the mortar and undergoes a certain rotational displacement, or twist whose magnitude depends on the resistance of the mortar. The shaft of the paddle element is connected to a spring, so that the amount of twist is proportional to the torque (cm g) developed by he shearing resistance encountered. This torque is dependent on the "stiffness" of the mortar and constitutes an ideal criterion for its deformability.

The instrument is equipped with a recording device (Figs. 2 and 3), so that the measured values are suitably stored and that investigations into changes of consistency over a period of time can also be carried out.

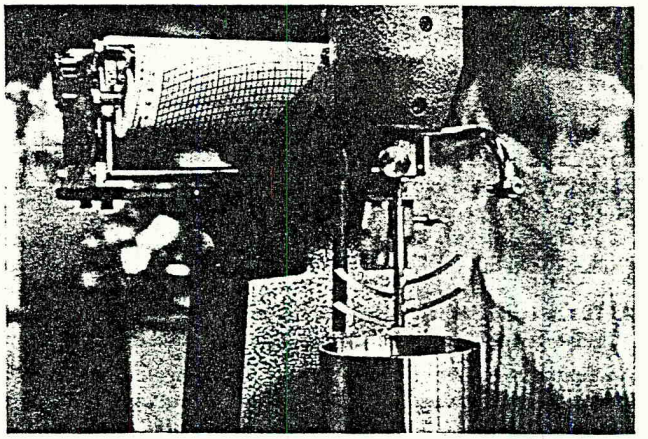

Bild 3. Scherkörper zur Messung des Scherwiderstandes von Betonmörtel

Fig. 3. Measuring element for determining the shearing resistance of concrete mortar

Fig. 3. Eprouvettes pour la mesure de la résistance de mortier de béton au cisaillement

For routine concrete investigations the measurements are performed on mortar which is mixed in a standard mortar mixer conforming to DIN 1164 (8), using the sand intended for the concrete mix (up to 2 mm particle size). It has been found advantageous to increase the higher-speed mixing period by 1 minute (as compared with the standard recom-

ein außerordentlich brauchbares Verfahren, das zudem gute Bezugswerte zum Verhalten des Frischbetons ergibt, wie noch gezeigt wird. Als Maß für die Verformbarkeit wird der Scherwiderstand des Mörtels herangezogen. Die Messung dieses Scherwiderstandes erfolgt mittels eines Rotationsviskosimeters, dem VISCO-CORDER der Fa. Brabender, Duisburg (Bild 2). Bei diesem Gerät wird der zu messende Mörtel bis zu einer bestimmten Höhe in den Meßtopf eingefüllt und mit konstanter lastunabhängiger Umdrehungsgeschwindigkeit (120 upm) in Bewegung gesetzt. In diesen rotierenden Mörtel taucht ein Widerstandskörper mit spiralig angeordneten Armen ein (Bild 3). Entsprechend dem Scherwiderstand des Mörtels wird das eingetauchte Paddel um seine Achse gedreht. Die Achse des Paddels ist mit einer Feder gekoppelt, so daß die Verdrehung des Paddels dem Drehmoment (cm g) proportional ist. Das vom Widerstand des Mörtels erzeugte Drehmoment ist von dessen „Steife" abhängig und ergibt ein ideales Maß für die Kennzeichnung der Verformbarkeit des Mörtels.

Das Gerät selbst ist weiterhin mit einer Schreibeinrichtung ausgestattet (Bilder 2 und 3), so daß die Meßwerte entsprechend dokumentiert sind und auch Untersuchungen von Konsistenzänderungen über die Zeit vorgenommen werden können.

Für die normalerweise üblichen Betonuntersuchungen erfolgt die Messung an einem Mörtel, der unter Verwendung des vorgesehenen Betonsandes bis zu 2 mm Korngröße im Mörtelmischer nach DIN 1164 [8] angemischt wird. Es hat sich allerdings als zweckmäßig erwiesen, die Mischzeit mit der erhöhten Mischgeschwindigkeit um 1 Minute zu verlängern. 4,5 Minuten nach dem Anmischen wird mit der Messung des Scherwiderstandes begonnen.

Um den Einfluß schwankender Sandzusammensetzungen auf die Ergebnisse vergleichender Messungen zu vermeiden, wird der Sand in die Fraktionen 0–0,25 mm, 0,25–0,5 mm, 0,5–1 mm und 1–2 mm durch Sieben zerlegt und für die einzelnen Mörtelmischungen entsprechend seiner prozentualen Kornzusammensetzung für die jeweilige Mischung verwogen.

Sollen Messungen mit Zusatzmitteln erfolgen, die üblicherweise erst zu einem späteren Zeitpunkt dem Beton zugegeben werden, wie z. B. Fließmittel, dann kann deren Dosierung mit einer graduierten Pipette direkt in den Meßbecher erfolgen. In diesem Fall sollte jedoch die Mörtelmenge im Meßtopf abgewogen werden, um die Bezugsbindemittelmenge für die Dosierung der Zusatzmittel zu kennen.

Um Einflüsse aus strukturviskosem Verhalten des Mörtels (Thixotropie) zu Beginn der Messung abklingen zu lassen, sollten die Scherwiderstandsmessungen einzelner Mörtelproben über eine Zeitdauer von 5–10 Minuten erfolgen. Als günstig hat sich eine einheitliche Meßdauer von 10 Minuten erwiesen, um die Ergebnisse unterschiedlicher Mörtelzusammensetzungen nach gleichgehaltener Agitation vergleichen zu können. Bild 4 zeigt einen Originalschrieb mit Scherwiderstandsmessungen von Mörtel mit drei verschiedenen Füllungsgraden. Verschiedene Untersuchungen haben die gute Reproduzierbarkeit dieser Scherwiderstandsmessungen bestätigt [6, 7, 9].

3. Zusammenhang zwischen dem Scherwiderstand des Mörtels und der Betonkonsistenz:

An Betonen mit bekannter Mörtelzusammensetzung und bekanntem Scherwiderstand wurde die Konsistenz, gemessen als Ausbreitmaß, bestimmt. Zusätzlich war die Mörtelmenge dieser Betone konstant gehalten [6, 7]. Aus diesen Messungen konnte die in Abb. 5 dargestellte Beziehung zwischen Mörtelkonsistenz (Mörtelsteife), Mörtelmenge und Betonkonsistenz erarbeitet werden. Für einen Beton mit einem Ausbreitmaß von a = 40 cm und einem Mörtelanteil von 50% (500 l/m³) besitzt der Mörtel eine Konsistenz (Scherwiderstand) von 250 cm g.

Andererseits kann ein Beton, der z. B. mit stetiger Kieskörnung eine Mörtelmenge von 500 l/m³ erfordert, mit Hilfe entsprechender Mörtelmessungen zielsicher rezeptiert werden. Zu diesem Zweck dient das untere Diagramm von Bild 5.

mendation). Measuring the shearing resistance is started 4,5 minutes after mixing the mortar.

In order to eliminate the effect of varying sand compositions on the results of comparative measurements, the sand is split up into fractions 0–0.25 mm, 0.25–0.5 mm, 0.5–1 mm and 1–2 mm by sieving and is batched by weight, according to its percentage granulometric composition, for each mix to be tested.

If measurements are to be performed with admixtures which are added to the concrete at a later point of time, such as superplasticizers, these substances can be added in accurately determined amounts directly into the measuring pot, using a graduated pipette. In that case, however, the quantity of mortar in the pot should be weighed in order to ascertain the correct admixture dosage by weight.

In order to allow influences due to the structural viscosity of the mortar (thixotropy) to die away at the start of the measurements, the shearing resistance measurements upon individual mortar specimens should be performed over a period of 5–10 minutes. A uniform measuring time of 10 minutes has proved favourable to enable the results of different mortar mix compositions to be compared with one another after equal agitation. Fig. 4 shows an original recording trace for shearing resistance measurements on mortar with three degrees of filling. Various investigations have confirmed the satisfactory reproducibility of these measurements (6, 7, 9).

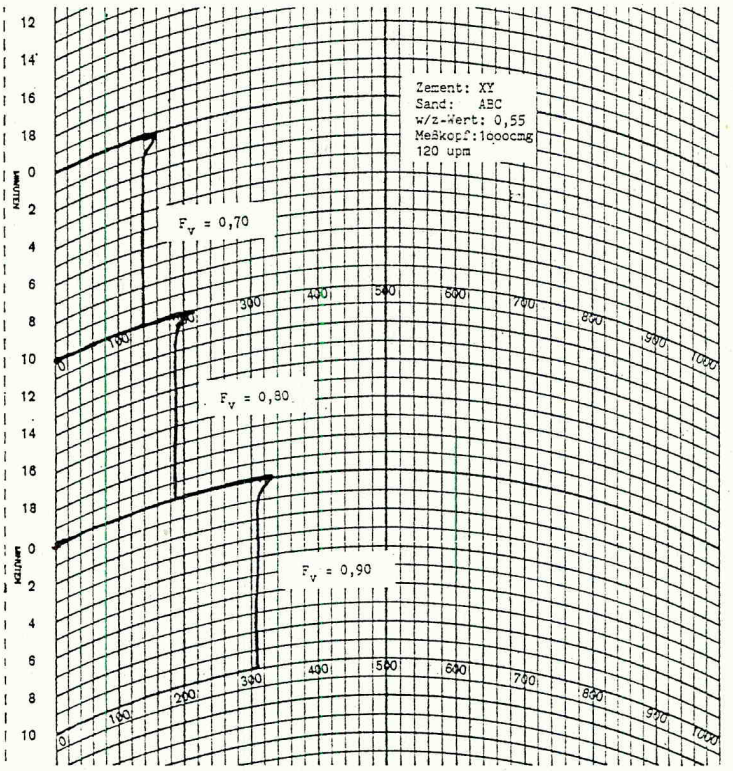

Bild 4. Abbildung eines Originalschriebes von Messungen des Scherwiderstandes mit dem VISCO-CORDER

Fig. 4. An original recording trace of shearing resistance measurements with the VISCO-CORDER

Fig. 4. Reproductions d'originaux de diagrammes de mesures de la résistance avec le VISCO-CORDER

3. Relationship between mortar shearing resistance and consistency of concrete

The consistency of concretes with known mortar composition and shearing resistance was determined in terms of the "spread" as obtained in the standard German flow table test.

Besides, the mortar content of these concretes was kept constant (6, 7). The relationship between mortar consistency ("stiffness"), mortar content and concrete consistency as represented in Fig. 5 was determined from these measurements. For concrete with a spread of 40 cm and a mortar

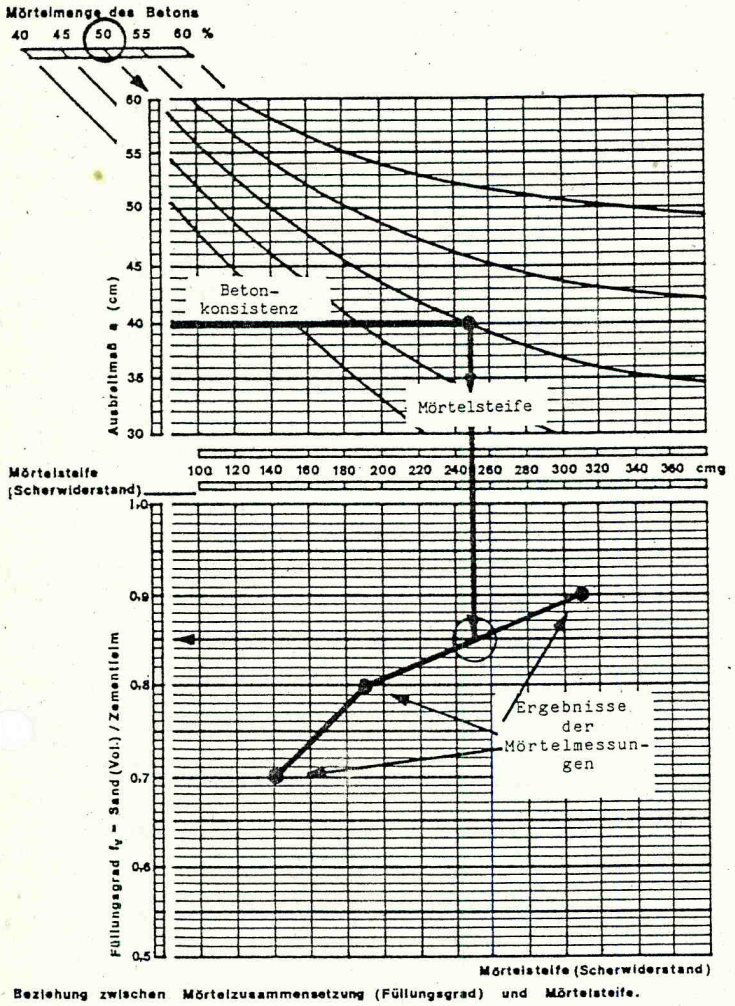

Bild 5. Diagramm zur Ermittlung der Betonkonsistenz (Ausbreitmaß a) unter Berücksichtigung der Mörtelmenge und der gemessenen Mörtelsteife (Scherwiderstand in cmg)

Fig. 5. Diagram for determining the concrete consistency (spread "a") taking account of the mortar content and the measured stiffness of the mortar (shearing resistance in cm g)

Fig. 5. Diagramme pour la détermination de la consistance du béton (épandage a), tenant compte de la quantité de mortier et de la consistance mesurée du mortier (Résistance au cisaillement en cmg)

Man wird mit konstantem w/z-Wert (entsprechend der Festigkeitsanforderung an den Beton und der Normenfestigkeit des verwendeten Zementes) bei zwei bis drei im Sandanteil (Füllungsgrad) variierten Mörtelzusammensetzungen Messungen vornehmen und den nach 10minütiger Meßdauer erhaltenen Scherwiderstand in das untere Diagramm eintragen. Soll das Ausbreitmaß für diesen Beton z. B. 40 cm betragen, so kann aus dem Schnittpunkt der senkrechten Linie der Mörtelsteife von 250 cm g mit der Verbindungslinie der erhaltenen Scherwiderstände die erforderliche Zusammensetzung des Mörtels abgelesen werden. Im dargestellten Beispiel wäre dies ein Füllungsgrad des Mörtels von $F_v = 0{,}85$.

Mit bekanntem w/z-Wert ω, bekannter Mörtelmenge $mö_v$ in l/m³ und dem aus den Mörtelmessungen ermittelten Füllungsgrad F_v kann nach Gleichung (1) der Zementgehalt z in kg/m³ Beton errechnet werden (für die Zementrohdichte ϱ_z):

$$z = \frac{mö_v}{(1/\varrho_z + \omega)\,(1 + F_v)} \text{ (kg)} \qquad (1)$$

Alle weiteren Rezepturangaben können dann in bekannter Weise mittels der Stoffraumrechnung festgelegt werden.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen:

Die fortgeschrittene Technik des Betonbaues bedingt eine stärkere Berücksichtigung der Betonverarbeitbarkeit in der Betontechnologie. Als Arbeitsmodell hat sich die Aufteilung des Frischbetons in Feststoff- und Flüssigphasen als zweck-

content of 50 per cent (500 litres/m³) the mortar has a consistency corresponding to a shearing resistance of 250 cm g. On the other hand, a concrete mix which, for example, with continuous grading of the coarse aggregate (gravel) requires 500 litres of mortar per m³ can be reliably designed with the aid of appropriate mortar measurements. For this purpose the lower diagram in Fig. 5 should be employed. Measurements will be performed with constant water-cement ratio (corresponding to the strength that the concrete is required to attain and to the standard strength of the cement used in the mix) on two or three mortar mixes differing from each other in their sand content (degree of filling). The shearing resistance values thus obtained after a 10-minute measuring period will then be plotted in the lower diagram. If the spread for this concrete has to be, say, 40 cm, the required mortar mix composition can be read from the intersection of the vertical line corresponding to 250 cm g mortar stiffness with the line connecting the shearing resistances measured. In the example given here this would represent a degree of filling of the mortar $F_v = 0.85$.

If the water-cement ratio and the mortar content mo_v (in litres/m³) are known and the degree of filling F_v has been determined from the measurements performed on the mortar, the cement content z (in kg/m³) of the concrete can be calculated from equation (I), where ϱ_z denotes the bulk density of the cement:

$$z = \frac{mö_v}{(1/\varrho_z + \omega)\,(1 + F_v)} \text{ (kg)} \qquad (1)$$

All the other concrete mix data can then be determined in the usual way with the aid of calculations based on absolute volumes.

Summary and conclusions: Advances in concrete constructional engineering have made it necessary to pay closer attention to workability as an aspect of concrete technology. As a working model, the splitting-up of fresh concrete into solid and liquid phases has been found advantageous. The concrete mortar is the most important of the phases thus envisaged.
The method of measuring the consistency of concrete mortar in connection with the influences of the starting materials, as described in this article, provides a reliable means of concrete mix design duly geared to workability of the fresh concrete. Although the proposed method is a rheometric technique, it comprises only part of the range of viscosity investigations undertaken in basic research (2–5). However, since the measurements are performed under well-defined conditions with constant parameters, they are very suitable as comparative values for the reproducible characterization of the properties of concrete mortar.
The measurements themselves can be performed quickly and with modest equipment. With their aid it is possible to carry out preliminary (suitability) tests on methodically designed concrete mixes. Finally it should be pointed out that the influences of admixtures and additives on the concrete properties can be investigated by carrying out a limited number of measurements on mortar mixes with appropriate variations in composition, thus avoiding the need for the more elaborate and expensive tests on concrete. The latter should serve only as final confirmative tests.
With this method it has latterly proved possible in many cases to achieve technological and economic optimization of concrete mixes.

La mesure de la consistance de mortier de béton et son importance pour les propriétés du béton frais

Résumé: La technique avancée de la construction en béton impart une plus forte considération de la maniabilité dans la technologie du béton. Comme modèle de travail, la classification du béton frais dans sa phase solide et fluide a fait ses preuves. La phase la plus importante dans ce modèle constitue le mortier de béton.
Le procédé décrit pour la mesure de la consistance du mortier de béton en construction avec l'influence des matières au

mäßig erwiesen. Die bedeutsamste Phase stellt hierbei der Betonmörtel dar.

Das beschriebene Verfahren zur Messung der Konsistenz des Betonmörtels in Zusammenhang mit den Einflüssen der Ausgangsstoffe ermöglicht eine zielsichere und verarbeitungsrelevante Rezeptierung des Betons. Auch wenn es sich bei dem vorgestellten Mörtelmeßverfahren um ein rheometrisches Verfahren handelt, so erfaßt dieses Verfahren sicher nur einen Teilbereich der bei Grundlagenforschungen üblichen Vikositätsuntersuchungen [2–5]. Da aber die Messungen unter definierten Bedingungen bei konstanten Einflußparametern vorgenommen werden, sind sie als Vergleichswerte zur reproduzierbaren Kennzeichnung von Betonmörteleigenschaften vorzüglich geeignet.

Die Messungen selbst sind mit geringem Materialaufwand in kurzer Zeit durchzuführen. Betoneignungsprüfungen können aufgrund solcher Mörtelmessungen mit einer gezielten Betonrezeptur durchgeführt werden. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß durch Variation der Mörtelzusammensetzung aufgrund weniger Mörtelmessungen die Einflüsse von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen auf die Betoneigenschaften ohne aufwendige Betonversuche untersucht werden können. Betonversuche sollten lediglich noch als abschließende Bestätigungsversuche gesehen werden.

Die Anwendung dieses Verfahrens hat es in letzter Zeit in vielen Fällen ermöglicht, eine technologische und wirtschaftliche Optimierung von Betonrezepturen vorzunehmen.

départ, permet une sélection plus sure des mèlanges. Bien qu'il s'agisse d'un système rhéométrique de mesures que l'auteur introduit et qui comprend seulement une partie des recherches usuelles de viscosité (2–5). Etant donné que les mesures sont effectuées dans des conditions déterminées avec des paramètres d'influence constants, elles se prêtent parfaitement bien comme valeurs de comparaison et pour marquer de façon réproductible les qualités d'un mortier de béton.

Literaturnachweis:

[1] Teubert, J.: Ermittlung eines zementabhängigen Grenzwasserzementwertes als Kenngröße für Sichtbeton. Betonstein-Zeitung (1969), H. 11

[2] Wesche, K. und v. Berg, W.: Rheologische Eigenschaften von Zementleim und Frischbeton. beton (1973), H. 1, S. 21–27

[3] Flatten, H. und v. Berg, W.: Überlegungen zum Verformungsverhalten von Feinmörtel und Frischbeton. Betonwerk und Fertigteil-Technik (1979), H. 7

[4] Papadakis, M.: Rhéologie des suspensions du ciment. Revue des Materiaux de Construction (1955), S. 121–137

[5] Rendchen, K.: Einfluß verschiedener Zemente auf das Fließverhalten und die Stabilität von Zementsuspensionen. beton (1976), H. 9, S. 321–325

[6] Teubert, J.: Bericht über Untersuchungen zur Prüfung des Wasseranspruchs und des Ansteifens von Beton. Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V., Duisburg, Mai 1979

[7] Teubert, J.: Bericht über die Auswertung der 2. Ringversuche des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie zur Prüfung des Ansteifens von Beton. Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V., Duisburg Mai 1980

[8] DIN 1164 – Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement – Begriffe, Bestandteile, Anforderungen, Lieferung. Ausgabe November 1978

[9] Lewandowski, R. und Wolter, G.: Verhalten des Zements in der Frischbetonphase. Bauwirtschaft (1981) H. 4, S. 78–84