

Messung der Betonkonsistenz: Vergleich der Prüfstreuung und Empfindlichkeit von sieben Methoden

Autor(en): **Dratva, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 1/2

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73614>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Messung der Betonkonsistenz

Vergleich der Prüfstreuung und Empfindlichkeit von sieben Methoden

Von Thomas Dratva, Holderbank*)

Einleitung

Mit dem wachsenden Anteil des Transport- und Pumpbetons und dem ständigen Ansteigen des Lohnkostenanteils bei der Betonverarbeitung nehmen im Betonbau neben den Anforderungen, die an erhärteten Beton (Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Dauerhaftigkeit, usw.) gestellt werden, die Anforderungen an den Frischbeton an Bedeutung zu. Sie werden global als *Betonverarbeitbarkeit* bezeichnet, obwohl bereits die Definition des Begriffs zu Schwierigkeiten führt [1, 2].

Ohne auf die Definition näher einzugehen, kann man festhalten, dass dieser Begriff einen Komplex von *Eigenschaften des Frischbetons* beinhaltet, wie z.B.:

- Konsistenz
- Stabilität
- Fließvermögen
- Verformbarkeit
- Verdichtbarkeit
- Kohäsion, bzw. Entmischungsneigung
- Bluten, usw.

Aus der Aufzählung der Eigenschaften, die an der «Verarbeitbarkeit» beteiligt sind, geht hervor, dass man sie nicht durch eine einzige Messgrösse bestimmen kann [3]. In der Baupraxis wird meistens die *Konsistenz* als Beurteilungskriterium für die Verarbeitbarkeit verwendet.

Es gibt eine *Vielzahl verschiedenartiger Konsistenz-Messverfahren*, die alle Aufschluss über die Verarbeitbarkeit des Frischbetons geben sollen. Powers [7] hat im Jahre 1963 über 100 verschiedene Methoden der Konsistenzmessung gesichtet. Sie wurden sehr oft im Zusammenhang mit einer konkreten Aufgabe der Betonpraxis entwickelt und sind auch unterschiedlich verbreitet. Gebräuchlich sind z.B. der *Slump-Test* [4] für die *USA* und *Lateinamerikanische Länder*, der *Compacting Factor* [5] für *England*, das *Ausbreitmass* (nach Graf) [6] und das *Verdichtungsmass* (nach Walz) [6] für *Deutschland* sowie das *VEBE-Gerät* für *Skandinavien*. In der *Schweiz* wurde früher die *Betonsonde* nach Humm angewendet; zurzeit arbeitet die Transportbetonindustrie mit dem *Verdichtungsmass* nach Walz.

So verschieden wie die Messmethoden sind auch die gemessenen Kennwerte (z.B. Sek., cm, Anzahl Schläge, usw.). Jede Methode misst andere Grössen, so dass ein direkter Vergleich zwischen den Methoden kaum möglich ist.

Seit einigen Jahren werden vom *Rilem-Concrete Permanent Committee*, zusammen mit dem *ISO Committee TC 71/SC 1*, Anstrengungen unternommen, um in dieser chaotischen Situation etwas Klarheit zu verschaffen. So wurden für drei Messmethoden, nämlich den *Slump-Test*, den *VEBE-Test* und das *Verdichtungsmass* nach DIN (Walz), Entwürfe für Prüfvorschriften ausgearbeitet [8]. Die Kommission hat ferner total sieben Methoden ausgewählt, mit denen man in Zukunft Vergleichversuche anzustellen gedenkt, um wenigstens in beschränktem Rahmen einen Vergleich zwischen Resultaten verschiedener Methoden zu ermöglichen.

Trotz der Anstrengungen auf internationaler Ebene, Messmethoden festzulegen, die zur Vereinheitlichung der Messwerte führen sollen, bleibt weiterhin die Frage offen, wie gut (oder genau) reproduzierbar die einzelnen Messmetho-

den sind und für welche Messbereiche sie sich am besten eignen. Man findet in der Literatur Arbeiten, in denen die Konsistenz mittels mehrerer Methoden gemessen wurde, doch hatten solche Untersuchungen andere Zielsetzungen als einen direkten Vergleich der Methoden untereinander. In anderen Arbeiten wurde lediglich eine neue Messmethode mit einer bereits bekannten Methode verglichen. Hinweise über die Eignung der einzelnen Methoden für verschiedene Konsistenzbereiche sind im *Cementbulletin* [17], in den Arbeiten von *Albrecht und Schäffler* [11], sowie in den *DIN-* und *ACI-Normen* zu finden, ohne dass man aber Näheres über die Genauigkeit, bzw. Reproduzierbarkeit der Methode erfährt.

Versuchsprogramm

Im Versuchsprogramm, das im Betonlaboratorium der «Holderbank» Management und Beratung AG durchgeführt wurde, standen folgende Gesichtspunkte im Vordergrund:

- Vergleich der Wiederholungsstreuung, bzw. Reproduzierbarkeit der einzelnen Messmethoden in verschiedenen Konsistenzbereichen
- Messung der Empfindlichkeit (Trennschärfe, Unterscheidungsvermögen) der einzelnen Messmethoden bei relativ kleinen Konsistenzänderungen im Beton
- Beurteilung der einzelnen Methoden hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten.

Die Versuche wurden mit den folgenden *sieben Messmethoden* durchgeführt:

1. Setzmass nach ASTM (Slump)
2. Verdichtungsmass nach DIN (Walz)
3. Ausbreitmass nach DIN
4. VEBE-Konsistometer
5. LEBA-Konsistenz-Messgerät
6. Rüttelgerät nach Powers
7. Betonsonde nach Humm

Die Methoden 1–4, 6 und 7 sind auch in der *RILEM-Empfehlung* enthalten [9]; die *Leba-Methode* ist eine Neuentwicklung aus der Schweiz.

Für die Beschreibungen und Prüfanleitungen der einzelnen Methoden sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur, auf Normenvorschriften und die Hersteller-Beschreibungen hingewiesen [4, 6, 8, 10, 12, 13, 14].

In einer Hauptserie wurden Konsistenzmessungen an fünf verschiedenen Betonsorten durchgeführt. Jede Betonsorte wurde fünfmal hergestellt, so dass zusammen 25 Betonmischungen zur Verfügung standen. Die Konsistenzmessungen wurden sofort nach dem Mischen und 30 Minuten danach vorgenommen, also zu einer Zeit, in der bereits eine Versteifung des Betons bemerkbar war. Damit standen für die Auswertung je fünf mal wiederholte Messungen bei zehn verschiedenen Konsistenzstufen zur Verfügung.

Die Zusammensetzung der Betonmischungen wurde so gewählt, dass die Messungen möglichst immer mit allen Methoden vorgenommen werden konnten. Die verwendeten Betonzusammensetzungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Zur Abklärung der Messbereiche der einzelnen Messmethoden wurden zusätzlich neun Betonmischungen mit gleicher Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe (Fuller 0–32 mm), mit breiter Skala der W/Z-Faktoren (von 0,33 bis 0,54) und Zementdosierungen von 300, 350 und 400 kg/m³ hergestellt.

*) Vortrag am ETH-Kolloquium für Materialwissenschaften vom 27.10.1976 in Zürich.

Für alle Mischungen wurden normaler Portlandzement und natürliche, gewaschene und gesiebte Zuschlagstoffe Fraktionen 0/1, 1/3, 3/5, 5/8, 8/16 und 16/32 mm verwendet.

Resultate

Wiederholstreuung der Messmethoden

Da bei der Wiederholung der Messungen stets die gleichen Bedingungen eingehalten wurden (Betonzusammensetzung, Misch-Prozedere, Prüfungsablauf usw.) kann man die gefundene Reproduzierbarkeit als *Wiederholstreuung der Messung* mit den einzelnen Methoden bezeichnen. Anstelle des üblichen Variationskoeffizienten wurde der sogenannte Variationskoeffizient des effektiven Messbereiches berechnet, der die Bandbreite der Messstreuungen in den praktisch messbaren Bereichen der einzelnen Methoden besser und reell wiedergibt und die Einflüsse der verschiedenen Ausgangsbedingungen der Methoden eliminiert. Die effektiven Messbereiche der einzelnen Methoden wurden nach Prüfvorschriften oder nach Angaben der Rilem [8, 9], unterstützt durch die Erfahrungen aus eigenen Messungen, festgelegt.

Die *Wiederholstreuungen* der Methoden sind in Bild 1 zusammengestellt. Die über den ganzen Konsistenzbereich gemittelte Prüfstreuung sagt wenig aus über die Variabilität im effektiven Messbereich der Methoden und kann nur als grober Massstab betrachtet werden. Die Anzahl der Messstufen, bei denen die Messmethoden eine effektive Variabilität kleiner als 3 Prozent aufweisen (letzte Kolonne, Bild 1), gibt dagegen einen Hinweis auf die Anwendbarkeit der Methoden in verschiedenen Konsistenzbereichen.

Die Setzmass-Methode (Slump) und die Vebe-Methode erfüllen bei der grössten Anzahl von Konsistenz-Stufen die Bedingung der 3 Prozent Variabilität. Die Auswertung zeigt ferner eine wesentlich schlechtere Wiederholstreuung bei den Messungen mit der Betonsonde nach *Humm* und mit dem Rüttelgerät nach *Powers* gegenüber den anderen evaluierten Methoden – bei diesen zwei Methoden liegt die Prüfstreuung nur bei wenigen Konsistenzstufen unter 3 Prozent.

Empfindlichkeit der Messmethoden

Es ist nicht möglich, eine absolute Empfindlichkeit einer Messmethode anzugeben, da der wahre «Konsistenz-Wert»

Tabelle 1. Verwendete Betonzusammensetzungen

Serie	Zementgehalt kg/m ³	W/Z-Faktor	Sieblinie	Max. Korn mm
A	400	0,45	Fuller	32
B	350	0,48	Fuller	32
C	350	0,45	Fuller	32
D	350	0,42	Fuller	32
E	300	0,45	Fuller	32

nicht bekannt ist. Man kann nur das *Unterscheidungsvermögen* der Methoden bei verschiedenen Konsistenzstufen *miteinander vergleichen*. Die sogenannte «Trennschärfe» der Messmethoden wurde jeweils zwischen je zwei benachbarten Konsistenzstufen bestimmt. Als Mass wurde der *t-Wert* verwendet, der die Differenz der Mittelwerte der beiden Konsistenzstufen zu deren Standardabweichungen angibt. Je grösser der *t-Wert* ausfällt, desto besser (empfindlicher) unterscheidet die Methode die zwei Konsistenzstufen. Die Auswertung der Empfindlichkeit aller sieben Methoden ist in Bild 2 graphisch dargestellt.

Man erkennt, dass jede untersuchte Methode im *plastischen* Bereich der Betone am empfindlichsten ist. Die relative Empfindlichkeit (Trennschärfe) nimmt beim Übergang sowohl von plastischer zu steifer als auch von plastischer zu weicher Betonkonsistenz ab. Die Unterschiede der Empfindlichkeit der einzelnen Methoden sind sehr ausgeprägt. Gesamthaft gesehen erweisen sich das Setzmass nach ASTM (Slump) und der VEBE-Konsistometer als am empfindlichsten. Als ungenügend kann man die Empfindlichkeit der Betonsonde nach *Humm* bezeichnen. Da in Zukunft immer mehr mit Betonen weicher Konsistenz zu rechnen ist, wird das Problem der Einführung einer in diesem Konsistenz-Bereich empfindlichen Messmethode immer aktueller.

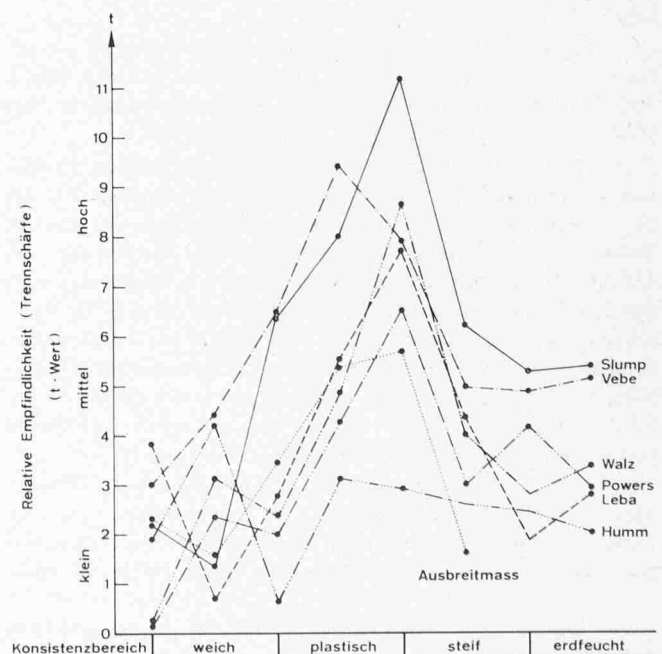
Beurteilung der einzelnen Messmethoden und ihrer Verwendungsmöglichkeiten

Es wurde versucht, anhand der durchgeführten Untersuchungen und der bei verschiedensten Arbeiten gesammelten eigenen und fremden Erfahrungen die einzelnen Messmethoden der Betonkonsistenz auf ihre Brauchbarkeit und

Bild 1 (unten). Wiederholstreuungen der Messmethoden

Bild 2 (rechts). Messmethoden der Betonkonsistenz. Relative Empfindlichkeit (Trennschärfe; *t-Wert*)

Methode	Durchschnittliche Streuung der Methode, %	Anzahl der Messstufen mit einer Variabilität < 3%
Setzmass nach ASTM (Slump)	3,02	6
Verdichtungsmass nach DIN (Walz)	4,67	5
Ausbreitmass nach DIN	3,68	5
Vebe-Konsistometer	2,59	7
Leba-Konsistenz-Messgerät	2,90	5
Rüttelgerät nach Powers	5,43	4
Betonsonde nach Humm	14,90	2



Einsatzmöglichkeiten zu bewerten. Bild 3 gibt eine Übersicht über die Verwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Messmethoden.

Setzmass nach ASTM (Slump)

Diese alte, einfache Messmethode (Abrams-Kegel) eignet sich *sehr gut für Messungen auf der Baustelle*. Die Empfindlichkeit der Methode gegenüber den Konsistenzänderungen ist besonders im Bereich des *plastischen* Betons sehr gut. Beim weichen Beton zeigen die Werte eine grössere Streuung, so dass bei einem Setzmass über 10 cm die Messung immer wiederholt werden sollte. Wenn zwei Messwerte mehr als 15 Prozent auseinanderliegen, ist eine dritte Messung notwendig. Für die Konsistenzen mit weniger als 1 cm Setzmass ist die Methode ungeeignet.

Effektiver Messbereich: Setzmass 1–15 cm.

Verdichtungsmass nach DIN (Walz)

Dies ist ebenfalls eine einfache Methode, die sich für *Messungen auf Baustellen* eignet. Die Fehlerquellen liegen hauptsächlich bei der Person des Prüfers – namentlich beim Einfüllen des Behälters und beim Verdichten. Die grösste Empfindlichkeit weist die Methode beim *steif-plastischen und plastischen Beton* auf. Für die weichen und flüssigen Konsistenzen ist die Methode wenig geeignet. Die Methode wurde in der Praxis zur Festlegung und Kontrolle des W/Z-Faktors von Beton mit Erfolg verwendet [15].

Effektiver Messbereich: Verdichtungsmass: 1,03–1,45.

Ausbreitmass nach DIN

Der Messbereich dieser Methode ist auf eine *plastische bis weiche Konsistenz* beschränkt. Für die steif-plastischen und steifen Konsistenzbereiche ist die Methode ungeeignet. Bezüglich relativer Empfindlichkeit lag diese Methode bei den Untersuchungen an zweitletzter Stelle. Sie wird hauptsächlich für die Kontrolle der Konsistenz beim *Pumpbeton* eingesetzt.

Effektiver Messbereich: Ausbreitmass 25–60 cm.

Vebe-Konsistometer

Diese Methode kann in einem *breiten Konsistenzbereich* verwendet werden. Zusammen mit dem Slump-Test weist sie bei den Untersuchungen die *höchste relative Empfindlichkeit* auf; auch die Wiederholstreuung war bei sieben Konsistenzstufen (höchste Zahl unter allen Methoden) kleiner als ± 3 Prozent. Weiche Betone mit Vebe-Zeiten unter 1 Sekunde sind nicht messbar.

Bei steifen Konsistenzen verhält sich das Vebe-Gerät dagegen unterschiedlich. Bei Betonen mit genügend hohen Anteilen an Zementleim können auch Vebe-Zeiten über 30 Sekunden gut gemessen werden. Bei steifen Betonen mit wenig Zementleim ist der Zeitpunkt, bei welchem die Plastikplatte voll mit Leim benetzt ist, schwer festzustellen. Fehlerquellen dieser Methode sind hauptsächlich im Apparativen zu suchen: wie z.B. richtige Amplitude des Vibrationstisches, genau waagrechte Position bei der Prüfung, usw. Die Methode ist für *Messungen im Labor* oder in einem *Vorfabrikationswerk* geeignet. Die Anschaffungskosten sind relativ hoch. Effektiver Messbereich: Vebe-Zeit 1–30 Sekunden.

Das Leba-Konsistenz-Gerät

Dieses Gerät wurde für die Bedürfnisse der *Vorfabrikation* nach dem Entwurf von *Leeb* und *Bachmann* [16] entwickelt. Nach Angaben des Herstellers [10] kann man damit auch die Konsistenz von *Mörtel* messen. Das Gerät kann als Weiterentwicklung des Ausbreitmasses nach DIN bezeichnet werden, wobei anstelle der Schläge der Betonkegel während einer Minute vibriert wird. Im Bereich der steif-plasti-

Methode	Effektiver Messbereich d. Methode	Betonkonsistenz				
		erdfeucht	steif	plastisch	weich	flüssig
Setzmass nach ASTM (Slump)	1-15 cm	–	+	++	+	–
Verdichtungsmass nach DIN (Walz)	1,03-1,45	+	++	++	+	–
Ausbreitmass nach DIN	25-60 cm	–	–	+	++	+
Vebe-Konsistometer	1-30 sec	(+)	+	++	+	–
Leba-Konsistenz-Messgerät	15-40 cm	–	–	++	++	+
Rüttelgerät nach Powers	10-90 Schläge	–	–	+	+	–
Betonsonde nach Humm	5-30 Schläge	–	–	+	–	–

– nicht geeignet + geeignet ++ gut geeignet

Bild 3. Verwendungsmöglichkeiten der Messmethoden

schen Konsistenz ist die relative Empfindlichkeit der Methode sehr hoch.

Als nachteilig hat sich erwiesen, dass die Kegelprobe sehr klein ist und daher nur eine geringe Betonmenge zur Prüfung gelangt. Dadurch stehen die Fragen der Repräsentativität der Betonprobe bei der Prüfung im Vergleich mit anderen Methoden viel mehr im Vordergrund. Auch können nur Betone mit einem Maximalkorn von 30 mm geprüft werden. Die Anschaffungskosten für diesen Apparat sind relativ hoch.

Effektiver Messbereich: 15–40 cm.

Rüttelgerät nach Powers

Die relative Empfindlichkeit des Gerätes ist im Vergleich zu anderen untersuchten Methoden eher schlecht, und dies gilt auch bezüglich der Wiederholstreuung. Bei steifen Betonkonsistenzen wächst die Zahl der Fallstösse sehr rasch an, begleitet von genauso raschem Ansteigen der Messstreuung. Das Gerät ist überdies *als Baustellengerät nicht geeignet*, da es teuer, schwer und unhandlich ist.

Effektiver Messbereich: 10–90 Fallstösse.

Betonsonde nach Humm

Es handelt sich um ein einfaches Gerät, das gemäss Beschreibung Messungen an Beton sowohl in losem als auch in verdichtetem Zustand erlauben soll. Nach Albrecht [11] kann die Methode bei loser Schüttung des Betons nicht verwendet werden. Bei den hier beschriebenen Untersuchungen wurde das Gerät nur bei verdichtetem Beton verwendet. Sowohl bei der Wiederholstreuung als auch bei der relativen Empfindlichkeit ergaben sich bei dieser Methode die schlechtesten Werte.

Die Fehlerquellen sind hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Sonde beim Eindringen in den Beton sehr oft auf einzelne grössere Zuschlagkörner stösst und dadurch ganz falsche Ergebnisse erhalten werden. Die Methode ist *nicht allgemein zu empfehlen*.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch Messung der Betonkonsistenz kann man die Verarbeitbarkeit des Frischbetons vergleichsweise beurteilen. Es existiert keine universale Methode zur Messung der Konsistenz. Die Messmethoden unterscheiden sich in ihrem Aufbau und in der Erfassung der einzelnen Frischbetoneigenschaften. Keine der Methoden erfasst den gesamten Bereich

aller, in der Baupraxis auftretenden Betonkonsistenzen und Anforderungen. Reproduzierbarkeit und relative Empfindlichkeit der Methoden sind verschieden. Bei der Wahl der Methode sollte man den geplanten Einsatzbereich möglichst genau kennen. Es empfiehlt sich, vor der Verwendung auf der Baustelle die zu verwendende Methode unter Laborbedingungen auf die Reproduzierbarkeit bei verschiedenen Konsistenzstufen zu testen.

Die richtig angewandte Methode der Konsistenzmessung kann in der Baupraxis bei der Beurteilung der Betonqualität eine wichtige Rolle übernehmen. Sie kann zur Kontrolle des W/Z-Wertes dienen, was wiederum eine schnelle und frühzeitige Festigkeitsvorhersage ermöglicht. Dieser Weg der Festigkeitskontrolle wurde in der Praxis bereits mit Erfolg angewendet [15].

Die Bedeutung der Kontrolle von Frischbetoneigenschaften wird in der Zukunft sicher zunehmen, da die neuen Verfahren für die Aufbereitung der Zuschlagstoffe und die Mischung und Homogenisierung der Frischbetone die Gleichmässigkeit der Betonqualität noch erhöhen werden. Wenn parallel zur Entwicklung der technischen Aufbereitung der Betone die Messmethoden entsprechend angepasst und verfeinert werden können, ist die Zeit nahe, wo die Qualität des erhärteten Betons durch Messungen am Frischbeton zuverlässig beurteilt werden kann, so dass auf die Bestimmung der 28tägigen Festigkeiten an Probewürfeln verzichtet werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Gotsch G., Schräml W.: «Zur Verarbeitbarkeit von Zement und Beton – ihre Problematik und die Methoden ihrer Bestimmung». Zement-Kalk-Gips 20, H. 10, S. 468, 1967.
 [2] Hughes B.P., Bahramian B.: «Workability of Concrete». Journal of Materials 2, No. 3, S. 519, 1967.

- [3] Tattersall G.H.: «The rationale of a two-point workability test». Magazine of Concrete Research, Vol. 25, No. 84, S. 169, 1973.
 [4] ASTM C-143: «Slump of Portland Cement Concrete». Annual Book of ASTM Standards, Part 10, ASTM 1916 Str., Philadelphia, Pa. 19103, 1973.
 [5] BS 1881: «Methods of testing concrete». British Standards House, 2 Park Str., London, W. 1.
 [6] DIN 1048, Blatt 1: «Prüfverfahren für Beton». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 30, 1972.
 [7] Powers T.C.: «Properties of Fresh Concrete». John Wiley & Sons, Inc., 1968.
 [8] RILEM Tentative Recommendations: «Concrete Test Methods». Materials and Structures Vol. 5, No. 30, 1972; Materials and Structures Vol. 6, No. 35, 1973.
 [9] RILEM Concrete Permanent Committee: «Comparison of different consistency values». Materials and Structures, No. 45, p. 255, 1975.
 [10] Betriebsanleitung für LEBA Konsistometergerät. Fa. O. Soder & Cie AG, CH-5702 Niederlenz, Schweiz.
 [11] Albrecht W., Schäffler H.: «Konsistenzmessung von Beton». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 158, 1964.
 [12] VEE-BEE Consistometer Instructions. Fa. AB Vibro-Verken, Solna, Schweden.
 [13] Bedienungsanleitung zum Rüttelgerät nach Powers, Blatt Nr. 7608. Fa. Chem. Laboratorium für Tonindustrie, Berlin.
 [14] Betonsonde Humm. Fa. Proceq SA, Zürich.
 [15] Skarda C.: «Frischbetonkontrolle beim Bau eines Trinkwasser-Reservoirs». Cementbulletin 42, Nr. 21, TFB, Wildegg, 1975.
 [16] Leeb D., Liechti O.: «Die Qualitätskontrolle von Beton im Vorfabrikationswerk». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, S. 839, 1969.
 [17] Messung der Betonkonsistenz. Cementbulletin 42, Nr. 42, 1975.

Adresse des Verfassers: T. Dratva, dipl. Ing., c/o «Holderbank» Management und Beratung AG, Materialtechnische Abteilung, 5113 Holderbank.

Beryllium — ein Werkstoff mit Zukunft

Forschungsergebnisse aus dem Pulvermetallurgischen Laboratorium des Max-Planck-Instituts für Metallforschung

Ein Werkstoff mit ungewöhnlichen Eigenschaften setzt neue Massstäbe: Beryllium ist genau so fest wie gewöhnlicher Stahl – aber nur ein Viertel so schwer wie dieser und viermal so steif wie Aluminium. «An diesem Werkstoff kommt keine moderne Industrienation vorbei», meint Günter Petzow, der Leiter des Pulvermetallurgischen Laboratoriums in Stuttgart-Büsnau, des Max-Planck-Instituts für Metallforschung, Institut für Werkstoffwissenschaften, der einzigen Einrichtung, die sich in der Bundesrepublik mit Forschungsarbeiten für Beryllium beschäftigt. «Durch metallkundliche Kunst sind in den letzten Jahren grundlegende Fortschritte erzielt worden, die natürlichen Nachteile des Berylliums zumindest teilweise zu überwinden», berichtet Fritz Aldinger vom Pulvermetallurgischen Laboratorium. «Beryllium kann jetzt das meiste, was man von ihm verlangt, nun liegt es an den Konstrukteuren zu lernen, wie man mit diesem aussergewöhnlichen Material umgeht, das enorme Vorteile bringt und neue Massstäbe für Werkstoffe setzt.»

Allerdings, so schränkt Aldinger ein: «Ein Material für Kochtöpfe wird Beryllium niemals werden. Dazu ist es viel zu teuer und verhältnismässig schwierig zu bearbeiten.» Ausserdem kann Beryllium Erkrankungen der Lunge und der Haut verursachen – die Gefahr ist jedoch unter Kontrolle, seitdem man gelernt hat, mit diesem Material umzugehen, ähnlich

wie auch mit anderen gesundheitsschädlichen Stoffen, zum Beispiel mit Asbest, Blei, Quecksilber oder Zink. In den USA, die mit ungefähr 221 Tonnen den grössten Anteil der auf etwa 366 Tonnen im Jahr 1973 (der letzten zugänglichen Statistik) geschätzten Weltproduktion an Beryllium und damit auch die meiste Erfahrung beim Umgang mit diesem Leichtmetall haben, gab es – ebenso wie in der Bundesrepublik – in den letzten fünfzehn Jahren keine akuten Beryllium-Erkrankungen mehr. «Trotzdem müssen wir uns noch immer mit zählebigen Vorurteilen gegen das Beryllium herumschlagen», bedauert Aldinger. Die Wirklichkeit sieht jedoch anders aus: «Beryllium ist allgegenwärtig in der Erdkruste verteilt und kann sich in einigen Pflanzen, zum Beispiel im Tabak, anreichern. In Räumen, in denen geraucht wird, befindet sich deshalb oft mehr Beryllium in der Luft, als wir in den kontrollierten Laborräumen bei der Arbeit mit Beryllium zulassen würden», stellt Aldinger fest.

«Geburtsfehler» Sprödigkeit

Vor allem «ein Geburtsfehler des Berylliums» (Petzow) machte den Werkstoff-Forschern bisher zu schaffen: seine Sprödigkeit. Sie verhinderte zum Beispiel, dass man Beryllium – wie die meisten Metalle – gleichzeitig in mehrere Richtungen verformen kann. Bei dieser Behandlung bricht herkömmlich