

Verdichten von Beton aus leichten Zuschlagstoffen auf Rütteltischen*)

Von Kurt Walz, Düsseldorf

1. Allgemeines

Sind leichte, wärmedämmende Bauelemente mit einem Gefüge zu fertigen, das keine zusammenhängenden Hohlräume aufweisen darf (z. B. Schornsteinformstücke mit geringer Gasdurchlässigkeit), so können diese Eigenschaften zusammen mit hoher Festigkeit durch Rüttelverdichtung zuverlässiger erreicht werden als durch Stampfen. Allerdings sind dann je nach dem zulässigen Beton-Raumgewicht entsprechend leichte Zuschlagstoffe nötig, weil die Hohlräume zwischen den größeren Zuschlagkörnern mit einem verhältnismäßig dichten Mörtel gefüllt sind. Der Feinmörtel solchen Rüttelbetons soll wenigstens eine glänzend-feuchte Beschaffenheit aufweisen.

Weitaus häufiger sind jedoch Bauelemente aus Leichtbeton mit Haufwerksporigkeit herzustellen, wie Mauersteine, Wandbauplatten, Deckenfüllkörper u. ä. Für solche Formstücke werden besonders niederes Raumgewicht (z. B. 1,00...1,20 kg/dm³), eine bestimmte Betongüte (Druckfestigkeit z. B. 25 oder 50 kg/cm²) sowie volle Kanten und gleichmäßiges Gefüge – auch für dünne und gegliederte Teile – gefordert. Da es sich meist um Massenerzeugnisse handelt, die frisch gestapelt werden, soll der Verdichtungs Vorgang möglichst wenig Zeit in Anspruch nehmen und der frische Formling ausreichend standfest sein.

Laboratoriumsuntersuchungen auf einem Rütteltisch mit verstellbarer Schwingungszahl und -breite sollten klären, wie solcher Beton zweckmäßig verdichtet wird. Bei den Untersuchungen mit haufwerksporigem Leichtbeton wurde von folgender, durch die praktischen Forderungen bestimmter Arbeitshypothese ausgegangen:

Durch Rütteln dieses Betons mit offenem Gefüge sollen die Körner an den Berührungspunkten durch *Zusammenfließen* des Zementleims oder des Feinmörtels satt verbunden und die beim Füllen der Form entstandene labile Lagerung der Körner durchmäßiges Zusammenrütteln so weit aufgehoben werden, daß der frische, ausgeformte Betonkörper standfest wird. Ein weitgehendes Einordnen der Körner durch ausgiebige Verdichtung – die an sich einen festeren Beton liefern würde – ist nicht er-

*) Vortrag auf dem III. Internationalen Kongreß der Betonsteinindustrie vom 16. bis 22. Juni 1960 in Stockholm.

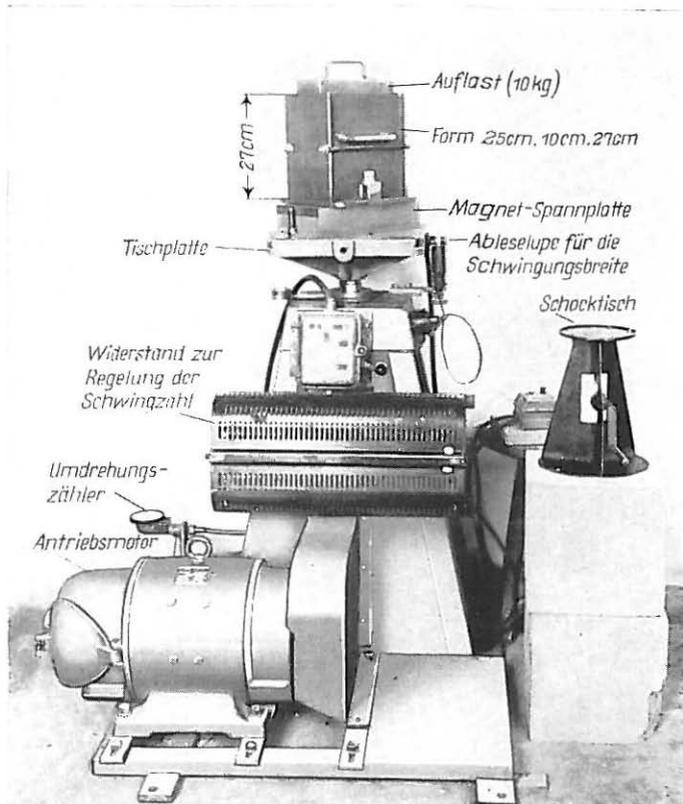


Bild 1 Rütteltisch mit Form (rechts Schocktisch zur Prüfung der Standfestigkeit der frisch entformten Prismen)

wünscht, weil dadurch eine Verminderung des Hohlraumgehaltes bzw. Erhöhung des Raumgewichtes und ungünstigere Wärmedämmung entstehen.

2. Versuchsdurchführung

Der Rütteltisch nach Bild 1 wurde mit unterschiedlichen Schwingungszahlen ($n = 3000$ bis $7300/\text{min}$), Schwingungsbreiten ($s = 0,3$ bis $1,5$ mm) und Beschleunigungen ($b = 2,5$ bis 18 g) betrieben. Weitere Veränderliche waren die Rütteldauer (4 sec und 10 sec), die Kornzusammensetzung (Gemische 0/15 mm mit rd. 20 %, 30 % und 50 % Anteilen 0/7 mm sowie Einkornbeton 7/15 mm), der Wassergehalt und die Zuschlagart (Ziegelsplitt und Naturbims je bis 15 mm).¹⁾

¹⁾ Ausführliche Angaben hierzu siehe Walz, K.: Verdichten von Leichtbeton durch Rütteln. Deutsch. Ausschub für Stahlbeton. H. 108, Berlin 1952, Verlag Wilh. Ernst & Sohn.

Um die kurzen Rüttelzeiten von 4 sec und 10 sec genau einhalten zu können, wurde die gefüllte Stahlform auf den mit vollen Touren laufenden Tisch aufgesetzt, wo sie eine Elektromagnetplatte unverschieblich festhielt. Nach 4 sec oder 10 sec ist die Form mit dem Abstellen des Erregerstroms der Magnetplatte wieder abgehoben worden. Die Form war also keiner undefinierten, zusätzlichen Einwirkung beim An- und Auslaufen des Tisches, sondern nur den angegebenen Wirkungsgrößen ausgesetzt worden.

An Prismen mit $10\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ Querschnitt und 20 cm Höhe wurden nach dem Entformen die Standfestigkeit gemäß Bild 2, ferner das Raumbgewicht und die Druckfestigkeit, auch im Vergleich zu gestampften Proben, bestimmt.

Im folgenden sollen einige Ergebnisse wiedergegeben werden, die mit dem Gemisch aus 20 % Ziegelbrechsand 0/7 mm, 80 % Ziegelsplitt 7/15 mm und 130 kg Zement je m^3 verdichtetem Beton erhalten wurden. (Sie sind auch für die anderen untersuchten Betone kennzeichnend.) Der Wassergehalt des Betons

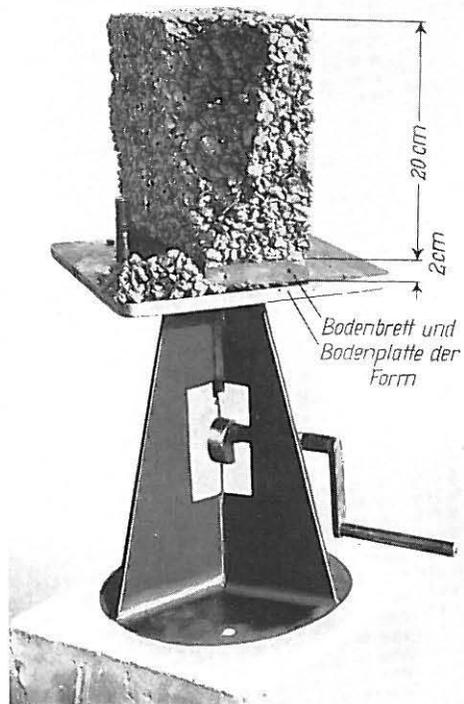


Bild 2 Schocktisch mit einer Probe aus Ziegelsplittbeton 7/15 mm (nach 10 Aufschlägen eingestürzt)

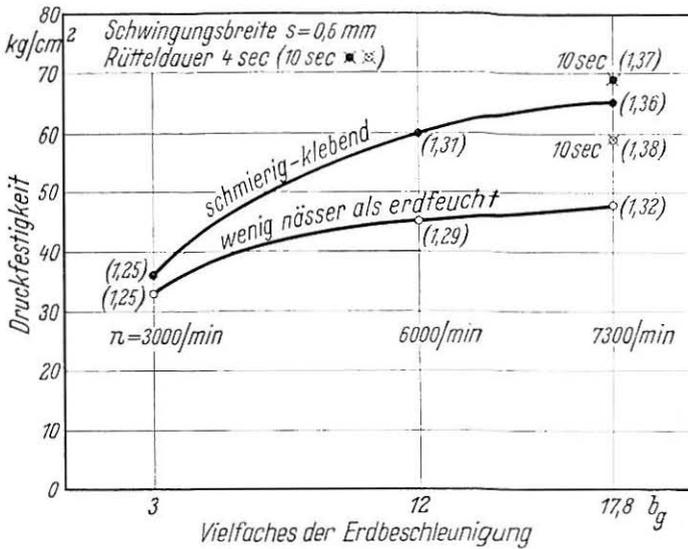


Bild 3 Beziehung zwischen der Druckfestigkeit von haufwerksporigem Ziegelsplittbeton 0/15 mm und der Beschleunigung des Rütteltisches beim Verdichten (Raumgewicht des trockenen Betons in Klammern)

wurde so abgestimmt, daß der Feinmörtel des frischen Betons nur wenig nasser als erdfeucht oder schmierig-klebeend war.

3. Versuchsergebnisse

Feststellungen an den mit geradlinigen, senkrechten Rüttelschwingungen verdichteten Prismen finden sich für das Alter von 28 Tagen in den Bildern 3 und 4. In Bild 3 ist die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Beschleunigung²⁾ aufgetragen und in Bild 4 die auf das Raumgewicht bezogene Druckfestigkeit.

Das Raumgewicht des Ziegelsplittbetons 0/15 mm lag allgemein zwischen 1,25 und 1,38 kg/dm^3 und die zugehörige Druckfestigkeit zwischen 33 und 82 kg/cm^2 . Sie standen z. T. also in einem sehr günstigen Verhältnis zueinander. Aus der Gesamtheit der Versuche konnten folgende Feststellungen abgeleitet werden:

Raumgewicht und Druckfestigkeit nahmen unter sonst gleichen Verhältnissen zu, wenn die Schwingungszahl oder die Schwingungsbreite und damit die Beschleunigung gesteigert wurden. Im ganzen war eine kräftige Rüttelwirkung mit hoher Schwingungszahl und kleinerer Schwingungsbreite günstiger als eine große Schwingungsbreite mit niedriger Schwingungszahl, weil dann bei gleicher Druckfestigkeit ein kleineres Raumgewicht entstand.

²⁾ $b_g = \text{Vielfaches der Erdbeschleunigung } g \text{ (981 cm} \cdot \text{sec}^{-2}\text{)}$

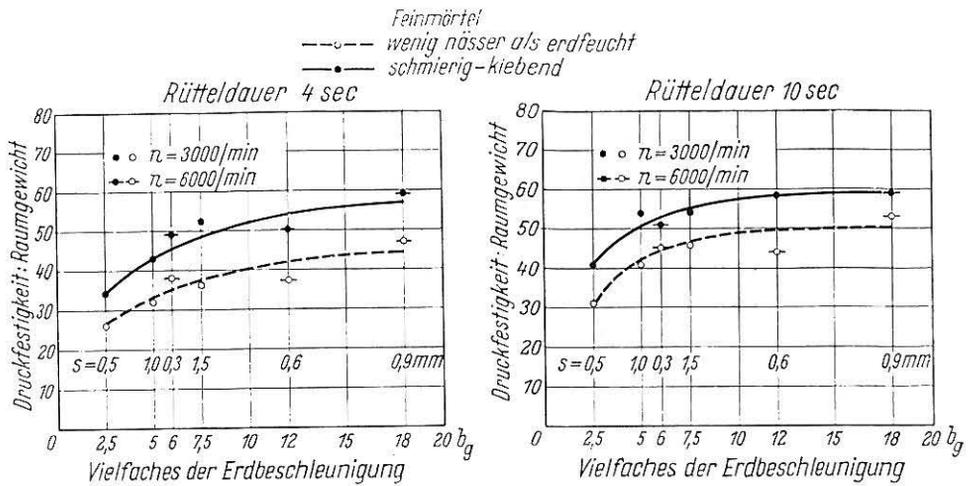


Bild 4 Beziehung zwischen der auf die Einheit des Raumgewichtes entfallenden Druckfestigkeit von haufwerksporigem Ziegelsplittbeton 0/15 mm und der beim Verdichten angewandten Beschleunigung

Wenn der die Zuschlagkörner verbindende Feinmörtel des Betons schmierig-klebbend eingestellt wurde, nahm die Druckfestigkeit gegenüber Beton, dessen Feinmörtel nur wenig nasser als erdfeucht erschien, zu. Dabei wurde das Raumgewicht nur unwesentlich größer. Diese Verbesserung der Druckfestigkeit, die im Mittel bei 33% lag, war auf eine sattere Verbindung an den Berührungsstellen der Körner zurückzuführen. Andererseits entstand mit wasserreichem Beton eine geringere Standfestigkeit der frisch entformten Probe. Der hier festgestellte Einfluß der Konsistenz des verbindenden Feinmörtels rührte von sehr geringen Unterschieden im Wassergehalt her. Für das Einhalten einer gleichbleibenden Konsistenz trug ein ausgiebiges Vorbefeuchten des Zuschlagstoffes bei.

Mit zunehmender Rüttelwirkung – entweder durch größere Beschleunigung oder durch längere Rütteldauer – wurde die Standfestigkeit der frischen Proben verbessert. Dabei nahm allerdings das Raumgewicht zu. Zur Erlangung einer ausreichenden Standfestigkeit erschien die für die gute Rüttelwirkung während 4 sec erforderliche Beschleunigung von mindestens 7,5 g ebenfalls angebracht.

Gestampfter Beton wies unter sonst gleichen Verhältnissen bei gleichem Raumgewicht eine geringere Druckfestigkeit auf als der Rüttelbeton. Mit der angewandten Stampfverdichtung (12 Stöße; gesamte Stampfarbeit 0,53 cm kg je cm³ Beton) wurde eine weniger günstige Wirkung erzielt als mit dem kurzzeitigen Rütteln.

Die hier gewählte Auflast von 0,040 kg/cm² kann für 20 cm hohe, nicht zu dünnwandige Formstücke als ausreichend und zweckmäßig angesehen werden. Eine Auflast war auch nach

anderen Untersuchungen eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß die Formstücke über die ganze Höhe gleichmäßig entstanden³⁾. Einzelne, mit einem Aufsatzstempel aufgebrachte Stöße waren nicht so günstig wie eine gleichbleibende Auflast⁴⁾. Doch soll die Auflast nicht zu groß sein, weil sie das Einordnen und das Schwingen der Zuschlagkörner und damit auch eine Verbindung an den Kittstellen zwischen den Körnern durch den Feinmörtel behindert.

³⁾ Röllinger, W.: Entwicklungstendenzen bei der Steinfertigung. Betonstein-Zeitung 16 (1950) H. 9, S. 206.

⁴⁾ Winternitz, O.: Verdichten von Leichtbetonsteinen aus Ziegelsplitt. Betonstein-Zeitung 16 (1950) H. 12, S. 279.

Untersuchungen über das Verdichten des Betons auf Rütteltischen in aufgespannten und lose aufgesetzten Formen^{*)}

Von Kurt Walz, Düsseldorf

Übersicht

Die Untersuchungen auf zwei verschiedenen Rütteltischen sollten klären, inwieweit sich die Verdichtungswirkung unterscheidet, wenn der Beton in einer auf die Tischplatte aufgespannten oder in einer lose aufgesetzten Form gerüttelt wird. Die Tischplatte des einen Rütteltisches führte kreisförmig verlaufende, die des anderen geradlinig verlaufende, senkrechte Schwingungsbewegungen aus. Bestimmend für die Verdichtungswirkung und die Druckfestigkeit war die Beschleunigung der Tischplatte. Die Beschleunigung ergab sich — abhängig von der Zentrifugalkraft des Schwingers (1400 bis 9500 kg), der Schwingungszahl (3100 bis 8100 min) und vom Gewicht der schwingenden Massen (Tischplatte 236 kg und 380 kg; Form 75 kg bis 615 kg) — für den Tisch mit aufgespannter Form zum 1,5- bis 39fachen der Erdbeschleunigung g .

Sowohl ein sandarmer als auch ein sandreicher, wenig nasser als erdfeucht angemachter Beton konnten unter sonst gleichen Verhältnissen in der lose aufgesetzten Form wirkungsvoller und gleichmäßiger verdichtet werden als in der aufgespannten Form. Das Gewicht der lose aufgesetzten Form war ohne Einfluß auf die Verdichtungswirkung.

Wird von der Beschleunigung des Tisches bei aufgespannter Form ausgegangen, so war bei der angewandten Rütteldauer von etwa 45 sec zur Erlangung einer optimalen Verdichtung und Druckfestigkeit bei aufgespannter Form eine Beschleunigung von 8 bis 10 g , dagegen bei lose aufgesetzter Form von nur 1,5 g erforderlich.

1. Allgemeines

Aus Laboratoriumsuntersuchungen war zu folgern, daß übliche Rütteltische mindestens mit einer Schwingungszahl von $n = 2800/\text{min}$ und einer Beschleunigung $b_g = 4$ (Vierfaches der Erdbeschleunigung $g = 981 \text{ cm}/\text{sec}^2$) betrieben werden müssen, wenn bei einer noch angängigen Rütteldauer eine ausreichende Verdichtung erzielt werden soll. Diese Beschleunigung entsteht, wenn die Tischplatte bei der Mindest-Schwingungszahl von $n = 2800/\text{min}$ eine Schwingungsbreite s von 0,9 mm aufweist¹⁾.

^{*)} Vortrag auf dem III. Internationalen Kongreß der Betonsteinindustrie vom 16. bis 22. Juni 1960 in Stockholm.

¹⁾ Über die Zusammenhänge zwischen Schwingungsbreite s (doppelte Amplitude), Schwingungszahl n und Beschleunigung b_g sowie Zentrifugalkraft Z und bewegtem Gewicht G eines Rütteltisches siehe K. Walz: Rüttelbeton. 3. Auflage. Berlin 1960, Verlag Wilh. Ernst & Sohn, S. 111.

In DIN 4236 (Rütteltische zum Verdichten von Beton; Richtlinien für die Verwendung) werden daher diese Größen als Mindestwerte bei belasteter Tischplatte gefordert. Außerdem soll nach DIN 4236 die Form auf der Platte des Rütteltisches fest gespannt werden, damit sich die Schwingungen der Tischplatte in vollem Maße auf die Form und den Beton übertragen.

Ist die Form nur lose aufgesetzt, so kann sie gegenüber der Tischplatte ungerichtete, nachteilige oder sogar gegenläufige Bewegungen ausführen. Die Folge sind Prellschläge (harte Stöße), die Tisch und Form stark beanspruchen und bei knapp bemessenem Antriebsmotor zu dessen Überlastung führen können. Durch Prellschläge werden andererseits große Beschleunigungen und damit große Kräfte erzeugt, die nach praktischen Beobachtungen zu einer wirkungsvollen Verdichtung führen können. Um festzustellen, welche Verdichtungswirkung unter sonst gleichen Verhältnissen in aufgespannten und in lose aufgesetzten Formen tatsächlich auftritt, wurden unter streng vergleichbaren Bedingungen Untersuchungen durchgeführt²⁾. Dabei wurde berücksichtigt, daß in der Praxis Rütteltische mit verschiedener Schwingungszahl und Zentrifugalkraft betrieben und außerdem mit sehr unterschiedlichen Formgewichten belastet werden. Die Versuche sollten daher auch klären, ob unter sonst gleichen Verhältnissen die Verdichtungswirkung bei lose aufgesetzter Form vom Verhältnis des Gewichtes des bewegten Tisches zum Gewicht der Form abhängig ist.

2. Versuchsdurchführung

2.1 Beton

Die Mischungen bestanden aus rd. 250 kg Portlandzement in 1 m³ des gerüttelten Betons und Kiessand 0/30 mm; sie waren nur wenig nasser als erdfeucht angemacht. Der Beton wies eine Beschaffenheit auf, wie sie bei der Herstellung von Betonfertigteilen durch Rüttelverdichtung häufig vorkommt.

Die Sieblinie des Zuschlaggemisches verlief etwas oberhalb der unteren Grenzsieblinie D oder etwas über Sieblinie E der DIN 1045. Beton D' war mit einem Zuschlaggemisch aus rd. 44 % Sand 0/7 mm verhältnismäßig sandarm und grobkörnig, und der Beton E' mit einem Zuschlaggemisch aus rd. 69 % Sand 0/7mm war sandreich.

Beton D' wies einen Wasserzementwert von rd. 0,49 und Beton E' einen solchen von 0,57 auf.

Die *Druckfestigkeit* und das *Raumgewicht* der Betone wurden an 20 cm-Würfeln, die nach DIN 1048 mit dem 15 kg schweren,

²⁾ Walz, K.: Verdichten von Beton mit Innenrüttlern und Rütteltischen. Deutsch. Ausschuß für Stahlbeton. H. 116 (1954) S. 14. Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin. — Über eine Ergänzung zu diesen Versuchen berichtete J. Strey: Versuche mit Innenrüttlern und Rütteltischen. Deutsch. Ausschuß für Stahlbeton. H. 135 (1960). Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin, S. 37.

15 cm hoch fallenden Stampfer verdichtet wurden (2 Schichten, je 24 Stampfstöße), ermittelt. Sie betragen im Alter von 28 Tagen für Beton

D' im Mittel 320 kg/cm² (Raumgewicht 2,25 kg/dm³),
E' im Mittel 242 kg/cm² (Raumgewicht 2,22 kg/dm³).

Trotz der großen Stampfarbeit entstanden niedere Raumgewichte, die eine unvollkommene Verdichtung anzeigen.

2.2 Rütteltische und Formen

Der Beton wurde in 20 cm-Würfelformen aus Stahl auf zwei verschiedenen Rütteltischen T_K und T_G verdichtet. Die Platte des Rütteltisches T_K mit nur einer Unwuchtelle bewegte sich, in der Projektion auf eine senkrechte Ebene gesehen, etwa kreisförmig und die Platte des Rütteltisches T_G mit zwei gegenläufigen Unwuchten nur geradlinig senkrecht. Die Schwingungszahl n wurde bei den Versuchen zwischen 3100 und 8100/min verändert. Durch Verstellen der Unwuchtmassen des Erregers, der die Tischplatte in Schwingungen versetzt, ergaben sich bei diesen Schwingungszahlen Zentrifugalkräfte Z zwischen 1400 und 9500 kg. Die Tischplatte erreichte dabei mit aufgespannten, verschieden schweren Formen Schwingungsausschläge s von 0,28 bis 1,9 mm.

Da die Betonfüllung und das Gewicht der benutzten 20 cm-Würfelformen immer gleich waren, wurden die für die Untersuchung nötigen, verschieden schweren Formen durch Anbringen von Stahlplatten geschaffen. Die Belastung der Tischplatte konnte so zwischen 75 und 615 kg eingestellt werden. Das Gewicht der frei auf den Federn ruhenden Tischplatte betrug einschließlich Schwingungserreger bei Tisch T_K 236 kg und bei Tisch T_G 380 kg. Damit wurde das Verhältnis der beschleunigten Tischmasse zur beschleunigenden Masse der gefüllten Form zwischen 1 : 0,21 und 1 : 1,62, also in einem weiten Bereich, erhalten.

Die aus der Schwingungsbreite s(cm) und der jeweiligen Schwingungszahl n errechneten Beschleunigungen reichten von 1,5 g bis 39 g (entsprechend b_g 1,5 bis 39). Die Schwingungsbreite s wurde mit einem Tastschwingungsschreiber und die Schwingungszahl n mit einem Drehzahlmesser bestimmt. Damit konnte die Beschleunigung (als Vielfaches der Erdbeschleunigung) nach der Formel

$$b_g = 5,59 \cdot s \cdot n^2 \cdot 10^{-6}$$

errechnet werden. Etwa gleiche Schwingungsbreiten s (cm) ergaben sich auch durch Rechnung (da die Zentrifugalkraft Z des Schwingungserregers und das Gewicht G der in Schwingung versetzten Teile bekannt waren) nach der Formel

$$s = 0,179 \cdot \frac{Z}{G} \cdot \left(\frac{n}{1000}\right)^2 \text{ [cm]}$$

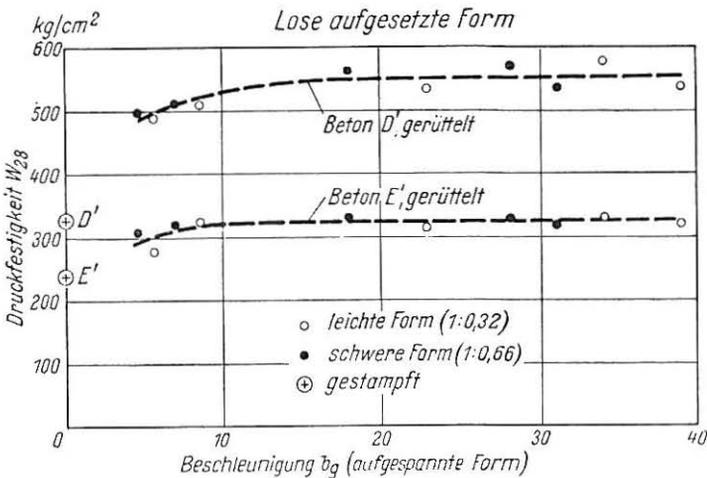
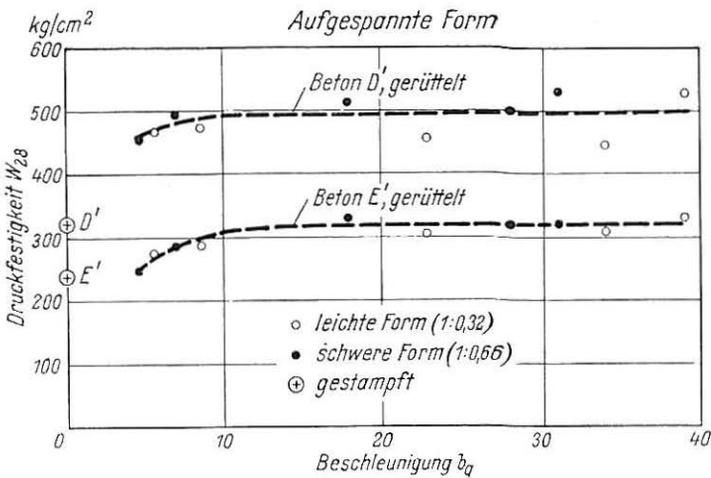


Bild 1 Beziehung zwischen Beschleunigung und Druckfestigkeit des Betons in aufgespannter und lose aufgesetzter Form auf dem Rütteltisch TK mit Kreisschwingungen

2.3 Verdichten des Betons

Die mit Überstand in einen Aufsatzkasten gefüllten Formen sind auf dem Rütteltisch mittig aufgespannt oder lose aufgesetzt worden. Das Abwandern der lose aufgesetzten Form wurde durch eine lockere Führung verhindert.

Die Füllung der Form, die durch eine Stahlplatte mit $0,016 \text{ kg/cm}^2$ belastet war, wurde einschließlich der Anlaufzeit von rd. 5 sec immer 45 sec lang mit den vollen Wirkungsgrößen gerüttelt. Dazu kam nach dem Abstellen des Motors die Auslaufzeit zwischen vorwiegend 15 und 40 sec mit rasch abnehmender Wirkung hinzu.

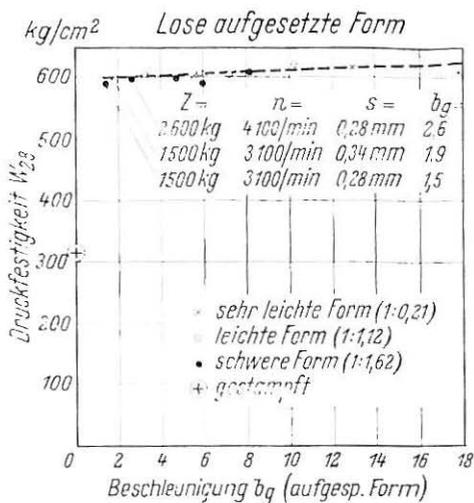
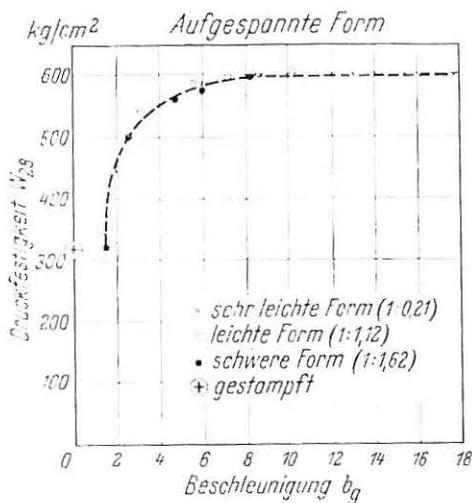


Bild 2 Beziehung zwischen Beschleunigung und Druckfestigkeit des Betons in aufgespannter und lose aufgesetzter Form auf dem Rütteltisch T_G mit geradlinigen, senkrechten Schwingungen

Während die Beschleunigung für den Tisch mit aufgespannter Form sich einfach ermitteln ließ, war dies für den Tisch mit lose aufgesetzter Form nicht möglich. Die lose aufgesetzten Formen wurden durch Prellschläge und Kippbewegungen bei kleiner Schwingungsbreite des Tisches zwischen rd. 1 und 3 mm und bei großer Schwingungsbreite zwischen 7 und 12 mm unregelmäßig abgestoßen.

Der Beton führte in den aufgespannten Formen auf dem Rütteltisch T_K die auf die Kreisschwingungen zurückzuführenden Umwälzbewegungen aus; auf dem Rütteltisch T_G mit nur geradlinigen, senkrechten Schwingungen oder in lose aufgesetzten Formen war dies nicht der Fall.

3. Versuchsergebnisse

Die Auswertung der Versuchsergebnisse ergab, daß die in den aufgespannten Formen erhaltenen Raumgewichte und Druckfestigkeiten W_{28} von der Beschleunigung b_g abhängen. In den Bildern 1 und 2 ist deshalb die Druckfestigkeit in Beziehung zur Beschleunigung aufgetragen. Für die lose aufgesetzte Form wurde im rechten Teil der Bilder 1 und 2 die Druckfestigkeit ebenfalls in Beziehung zur Beschleunigung der mit der aufgespannten Form belasteten Tischplatte angegeben. (Dabei ist zu beachten, daß die Beschleunigung der unbelasteten Tischplatte entsprechend der größeren Schwingungsbreite größer wäre als in den Bildern 1 und 2, siehe Formeln unter 2.)

Bild 1 enthält die Ergebnisse, die auf dem Rütteltisch T_K mit kreisenden Schwingungen für den sandarmen Beton D' und den sandreichen Beton E' erhalten wurden. In Bild 2 sind die Er-

gebnisse beim Rütteln des Betons D' auf dem Rütteltisch T_G mit geradlinigen, senkrechten Schwingungsbewegungen wiedergegeben. (Entsprechend fand sich auch die Abhängigkeit des Raumgewichtes des Betons von der Beschleunigung b_g, worauf hier nicht weiter eingegangen werden soll.)

Allgemein ergibt sich, daß der gerüttelte gegenüber dem gestampften Beton immer eine größere, bei den sandarmen Mischungen eine wesentlich größere Druckfestigkeit erlangte.

Im einzelnen fanden sich die folgenden, praktisch interessierenden Feststellungen:

3.1 Rütteltisch T_K mit Kreisschwingungen (Bild 1)

Die Würfel wurden mit Beschleunigungen von 4,6 bis 39 g gerüttelt. Die Formen waren nur 0,32- und 0,66mal so schwer wie die Tischplatte. Beim Rütteln mit *aufgespannter Form* stellte sich zum Teil ein Umwälzen des Betons in der Form und damit verbunden ein Einsaugen und Auspressen von Luft ein, das z. T. zu undichten Kanten und lunckerartigen Stellen führte. In der *lose aufgesetzten Form* entstanden die Würfel mit gleichmäßigerem und geschlossenerem Gefüge.

Sowohl bei der aufgespannten als auch bei der lose aufgesetzten Form brachten *Beschleunigungen* ab etwa 10 g praktisch keine bedeutungsvolle Steigerung der Druckfestigkeit mehr. Dies galt sowohl für das Verdichten des Betons in der leichten als auch in der schweren Form.

Die *Druckfestigkeit* wurde mit lose aufgesetzter Form beim sandarmen Beton D' im Mittel um 9% und beim sandreichen Beton E' im Mittel um 5% größer erhalten als in der aufgespannten Form.

3.2 Rütteltisch T_G mit geradlinigen, senkrechten Schwingungen (Bild 2)

Die Würfel wurden mit Beschleunigungen von 1,5 g bis 17,8 g gerüttelt. Die Formen waren 0,21-, 1,12- und 1,62mal so schwer wie die Tischplatte. Im allgemeinen entstanden auch hier in den lose aufgesetzten Formen Würfel mit gleichmäßigerem und geschlossenerem Gefüge als in den aufgespannten Formen. Ein Umwälzen des Betons in der aufgespannten Form wurde nicht beobachtet.

Die höchste *Druckfestigkeit* ist bei *aufgespannter Form* erst durch Beschleunigungen ab etwa 8 g erreicht worden. Etwa die gleiche Druckfestigkeit entstand jedoch in der lose aufgesetzten Form bereits mit der kleinsten angewandten Beschleunigung von 1,5 g. Die Druckfestigkeit der mit 1,5 g gerüttelten Würfel war in der lose aufgesetzten Form um rd. 85% größer entstanden als die Druckfestigkeit der Würfel in der aufgespannten Form.

Die in der lose aufgesetzten Form entstandene Druckfestigkeit war wieder unabhängig vom Gewicht der Form.

4. Zusammenfassung

- 4.1 Die Untersuchungen sind mit einem sandarmen und einem sandreichen, etwas nasser als erdfeucht angemachten Beton auf einem Rütteltisch mit etwa kreisförmigen und einem Rütteltisch mit geradlinigen, senkrechten Schwingungen durchgeführt worden. Die Form wurde mit der schwingenden Tischplatte fest gespannt oder lose aufgesetzt. Das Gewicht der Form betrug dabei das 0,21- bis 1,62fache des Gewichts der Tischplatte. Die Beschleunigung der mit aufgespannter Form schwingenden Tische reichte von 1,5 bis 39 g.
- 4.2 Der Beton konnte unter sonst gleichen Verhältnissen in der lose aufgesetzten Form sowohl auf der Tischplatte mit Kreisschwingungen als auch auf der Tischplatte mit geradlinigen, senkrechten Schwingungen wirkungsvoller, gleichmäßiger und mit weniger Streuungen der Prüfwerte verdichtet werden als in der aufgespannten Form.
- 4.3 Wird die Beschleunigung des Tisches bei aufgespannter Form zugrunde gelegt, so wurden bei gleicher Rütteldauer die optimale Verdichtung und Druckfestigkeit in aufgespannter Form erst bei Beschleunigungen von 8 bis 10 g erreicht, während in der lose aufgesetzten Form hierfür bereits 1,5 g ausreichen.
- 4.4 Das Gewicht der lose aufgesetzten Form war ohne Einfluß auf die Verdichtungswirkung.
Demnach können auch schwere Formen auf Tischen, die nur eine kleine Beschleunigung ermöglichen, gerüttelt werden, wenn die Form lose aufgesetzt wird und dabei keine Überbeanspruchung des elektrischen Antriebs (zu große Leistungsaufnahme) entsteht.
- Bei *lose aufgesetzter* Form und geradlinigen, senkrechten Schwingungen reichten zur praktisch vollwertigen Verdichtung bereits eine Schwingungszahl von 3100/min und eine Schwingungsbreite des unbelasteten Tisches von 0,7 mm aus (Beschleunigung des Tisches ohne Form 3,9 g und mit 615 kg schwerer, aufgespannter Form 1,5 g).