

Rüttelbeton

Untersuchungen über das Verdichten des Betons durch Rütteln

Von Otto Graf VDI und Kurt Walz, Stuttgart

Aus der Erkenntnis, daß Beton, der Erschütterungen ausgesetzt wird, wesentlich höhere Festigkeiten erreichen kann als gestampfter Beton, hat man Geräte (Rüttler) zur Erzeugung von Erschütterungen beim Einbringen des Betons entwickelt. Um festzustellen, ob und unter welchen Bedingungen die Eigenschaften des Betons durch Erschütterungen verbessert werden können, haben die Verfasser planmäßige Versuche durchgeführt, über die im folgenden berichtet wird. — Über Versuche mit anderen körnigen Massen wird später an anderer Stelle berichtet werden.

In den letzten zwei Jahrzehnten sind umfangreiche Versuche über die zweckmäßige Zusammensetzung des Betons ausgeführt worden. Es ist dabei u. a. gelungen festzustellen, welche Zusammensetzung des Betons bei einem bestimmten Zementgehalt Höchstwerte für die Druck- und Biegefestigkeit, für den Abnutzwiderstand, für die Wasserundurchlässigkeit, auch für den Widerstand gegen chemische Angriffe, liefert¹⁾. Die so gefundene Zusammensetzung des Betons kann man jedoch nur erzielen, wenn bei der Vorbereitung des Mischvorganges (Bereitstellen von Sand, Kies usw. in Kornstufen mit engen Toleranzen, Abmessen der Bestandteile nach Gewicht usw.) und beim Verarbeiten (Stampfen usw.) besondere Sorgfalt waltet, weil die für besonders hohe Festigkeit geeigneten Mischungen bei der Verarbeitung sperrig werden und weil im praktischen Betrieb gegenüber dem Versuch Abweichungen möglich sind, wodurch Mischungen entstehen können, die auch bei guter Verarbeitung üblicher Art Mängel ergeben. Unter den derzeitigen praktischen Verhältnissen ist es deshalb in der Regel nötig, den Mörtelgehalt und oft auch den Anteil des Feinsandes im Mörtel größer zu wählen, als nach den genannten Feststellungen erforderlich erscheint²⁾.

Wenn man durch Erhöhung des Wasserzusatzes erreichen will, daß sich der gekörnte Beton auch gut verarbeiten läßt, so sind wiederum dem Wasserzusatz Grenzen gesetzt. Bei weich angemachtem Beton und besonders bei flüssig angemachtem Beton scheiden sich während der Verarbeitung erhebliche Mengen des Anmachwassers aus; es treten Änderungen der Mischung ein, die insbesondere bei Gußbeton zum Absondern und Absinken der groben Teile führen, so daß sich wasserreiche, feinkörnige Schichten bilden. Diese Schichten sind wesentlich weniger widerstandsfähig als ein Beton, welcher gut gemischt bleibt.

Diese und andere Umstände haben fortdauernd Anlaß gegeben, nach besseren Arbeitsverfahren zu suchen. Stampfbeton wird nur noch selten angewendet; der Gußbeton ist in seinem Anwendungsgebiet wesentlich zurückgetreten. Zur Zeit wird weicher Beton bevorzugt, den man mit wenig Stampfarbeit in die Schalung einbringen kann. Dieses Verfahren ist gut; man sucht aber trotzdem Verbesserungen, namentlich, wenn es sich um die Herstellung von Beton besonders hoher Festigkeit, um Beton mit geringem Schwindmaß, um Beton mit hoher Dichte oder um Beton mit hoher Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und angreifende Flüssigkeiten handelt. Eine solche Verbesserung erfordert die Verwendung von Beton mit möglichst wenig Anmachwasser. Man kommt damit wieder zu Mischungen ähnlich wie bei Stampfbeton, welche aber dann nicht in herkömmlicher Weise verarbeitet werden dürfen. Als ein wesentliches Hilfsmittel zur Erfüllung dieser Forderung hat sich das Rütteln des Betons erwiesen.

Man weiß schon lange, daß Stampfbeton, der Erschütterungen ausgesetzt wird, wesentlich höhere Festigkeiten erreichen kann als Beton, der nur gestampft wird³⁾. Es ist auch schon lange üblich, weich und flüssig angemachten Beton, der in engen Schalungen eingebracht wird oder von vielen Eiseneinlagen durchsetzt ist, von außen durch Erschütterungen zum Setzen zu bringen, damit die Schalungen überall voll ausgefüllt und vor allem auch die Eiseneinlagen gut umhüllt werden.

Im letzten Jahrzehnt sind im Ausland Hilfsmittel zum Erzeugen von Erschütterungen beim Einbringen des Betons im Baubetrieb weiter entwickelt worden. Dort sind wichtige Bauwerke unter Benutzung solcher Einrichtungen entstanden⁴⁾. Es erschien deshalb geboten, durch planmäßige Versuche festzustellen, ob und unter welchen Bedingungen man durch Erschütterungen die Eigenschaften des Betons verbessern kann. Die Durchführung der Versuche ist ermöglicht worden durch die Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, sowie von Firmen, welche Rüttelgeräte herstellen.

Der Rüttelvorgang

Werden die Teile einer körnigen Masse in rasch verlaufende kleine Bewegungen versetzt, so wird die innere, an den Berührungsflächen von Korn zu Korn bestehende Reibung verhältnismäßig klein (Reibung der Bewegung); dabei führt jedes Teilchen entsprechend seiner Masse und seinem Freiheitsgrad Eigenbewegungen aus⁵⁾. Ein solcher Kornhaufen wird in seiner ganzen Masse beweglich und nimmt in elementarer Vorstellung etwa die Eigenschaften einer Flüssigkeit an. Dabei ordnen sich die Teile des Haufwerks in vorhandene Hohlräume ein; dieser Vorgang tritt bei einem gemischtkörnigen Haufwerk besonders günstig in Erscheinung. Beim Beton tritt zudem der leichtere und meist im Überschuß vorhandene Zementleim infolge Zusammensackens der Zuschlagmasse nach oben und wird in die Hohlräume gepreßt; die eingeschlossene Luft wird aus dem bewegten Gemenge leichter austreten. Der Zustand ist anschaulich zu erkennen, wenn ein Eisenstab in Stampfbeton eingeführt wird. Während des Rüttelns sinkt der Stab ohne Druck, lediglich unter der Wirkung seines Eigengewichts, ein. Wird der Rüttler abgestellt, so kann der Stab unter sonst gleichen Verhältnissen nur mit starken Schlägen eingeführt werden.

¹⁾ Vgl. u. a. C. Bach, Forsch.-Arb. des VDI Heft 22, Berlin 1905 S. 26; C. Bach und O. Graf, Armierter Beton, Berlin 1910, S. 276.

²⁾ Vgl. u. a. Dérian, Bolomey, Coyne, Koch, Clairgeon u. a. in Sci. et Ind. Constr. et Trav. (1934) S. 41 bis 92, ferner Dibbitts, De Ingénieur Bd. 49 (1934) Nr. 22 S. 31 bis 45, sodann Reagel, Kushing, Jackson und Kellermann Engng. News Rec. Bd. 112 (1934) S. 528 u. f., ferner Litchiser, Allen, Glover, Gage und Gardiner, Engng. News Rec. Bd. 112 (1934), S. 561 u. f.; sodann Mc Cardy, Munsell, Berkelman, Pickop, Brett und Shenk, J. Amer. Concr. Inst. Bd. 5 (1933) S. 49.

³⁾ Mit dieser Voraussetzung erscheint es zweckmäßig, die Stöße so rasch aufeinander folgen zu lassen, daß die Teilchen zwischen den einzelnen Stößen, welche wahrscheinlich am besten als gleichförmige Schwingungen hervorgerufen werden, nicht zur Ruhe kommen. Hieraus ergibt sich, daß für die Zahl der Stöße eine untere Grenze besteht. Eine obere Grenze ergibt sich aus wirtschaftlichen Erwägungen, weil es nicht weiter fördernd sein wird, die Folge der Stöße über jenes Maß hinaus zu erhöhen, welches erforderlich ist, um alle Teilchen in Schwingung zu halten. Auch hinsichtlich der Schwingungswerte bedingt durch die Größe der wirkenden Kraft, sind insofern Grenzen gesetzt, als unter bestimmten Verhältnissen eine zu große Schwingungswerte zu Entmischungen und Auflockerungen führen kann.

¹⁾ Vgl. u. a. O. Graf, Z. VDI Bd. 70 (1926) S. 411, Bd. 73 (1929) S. 1401 Bd. 77 (1933) S. 813; ders., der Aufbau des Mörtels und des Betons, 3. Auflage Berlin 1930.

²⁾ Vgl. Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, Berlin 1932, Teil A, Bild 1 und 2, ferner O. Graf, Der Aufbau des Mörtels und des Betons, 3. Aufl., Berlin 1930, S. 112.



Abb. 1 (links) Innenrüttler. Wird in die Betonmasse eingeführt.

Abb. 2 (unten) Oberflächenrüttler. Wird auf die freie obere Fläche des Betons gesetzt und langsam über diese Fläche bewegt.

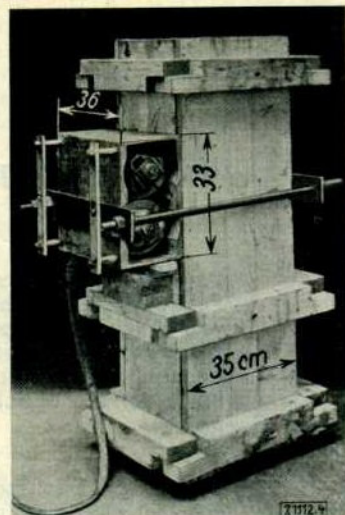
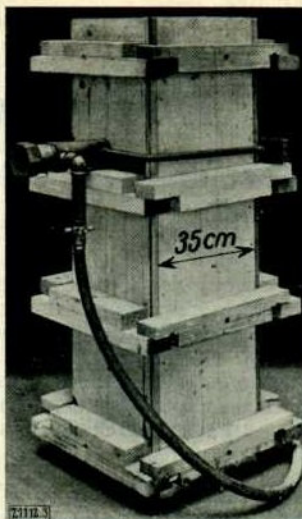
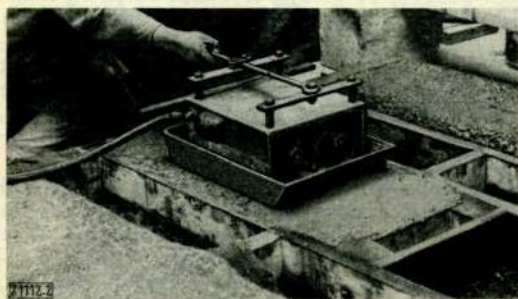


Abb. 3 und 4. Außenrüttler. Wird an der Außenfläche der Schalung des Bauwerkes angebracht.



Übliche Rüttelverfahren

Benutzt werden mit Druckluft oder elektrisch betriebene Geräte, und zwar

- a) Innenrüttler, Abb. 1, welche in die Betonmasse eingeführt werden und dort die Rüttelbewegungen auf den Beton übertragen,
- b) Oberflächenrüttler, Abb. 2, die auf die freie obere Fläche des Betons gesetzt und langsam über diese Fläche bewegt werden,
- c) Außenrüttler, Abb. 3 und 4, die an der Außenfläche der Schalung des Beton- oder Eisenbetonbauwerkes angebracht werden,
- d) Tischrüttler in Anlehnung an die Geräte, welche zum Einrütteln von Formsand benutzt werden oder in anderer Weise.

Abb. 5 zeigt außerdem ein französisches Gerät, das eine Vereinigung von Oberflächen- und Innenrüttler darstellt, als Beispiel aus dem Baubetrieb. Unsere ersten Versuche haben wir mit Innenrüttlern, Abb. 1, ausgeführt⁶⁾. Der Innenrüttler liegt während der Arbeit mehr oder minder tief im Beton. Zum Antrieb dient Druckluft. Die Zahl der Schläge beträgt rd. 3100 in 1 min.

Dann folgten Untersuchungen mit Außenrüttlern nach Abb. 3 und 4, hierauf mit Oberflächenrüttlern nach Abb. 2. Das Gerät nach Abb. 3 hat Druckluftantrieb, diejenigen nach Abb. 2 und 4 sind elektrisch betrieben⁷⁾; die Rüttelstöße werden im Falle von Abb. 2 und 4 durch verstellbare, außermittige Schwungmassen erzeugt. Beim Gerät nach Abb. 4 beträgt die höchste erreichbare Fliehkraft 200 kg, die größte Stoßzahl 64 Hz; bei einem zweiten Gerät dieser Art betragen diese Größen 400 kg und 75 Hz.

Schließlich folgten einige Versuche, bei denen das Gerät nach Abb. 2 als Tischrüttler benutzt wurde⁸⁾.

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der bisher ausgeführten Versuche an Beispielen erläutert.

Einfluß des Rüttelns bei Beton mit verschiedenen Wasserzusätzen

Bei Betonsäulen von 30 cm · 30 cm · 130 cm, die aus Rheinsand und Rheinkies mit rd. 240 kg Zement in 1 m³ Beton⁹⁾ hergestellt waren, betragen:

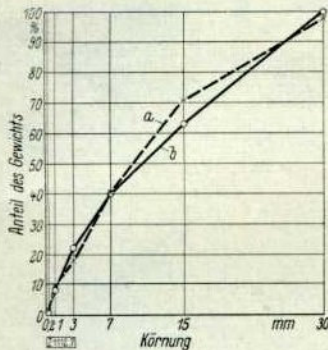
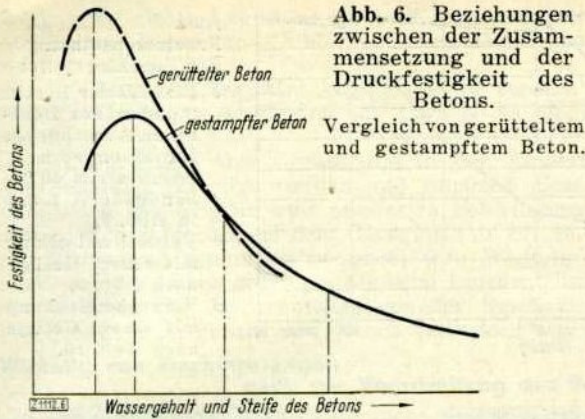
	das Raumgewicht		die Druckfestigkeit	
	ge-rüttelt kg/dm ³	ge-stampft kg/dm ³	ge-rüttelt kg/cm ²	ge-stampft kg/cm ²
bei Verwendung von				
a) erdfeucht angemachtem Beton.	2,37	2,24	381	138
b) weich angemachtem Beton	2,35	2,30	142	154

Zum Rütteln diente das in Abb. 1 dargestellte Gerät.

Die Zahlenreihen zeigen, daß das Raumgewicht infolge des Rüttelns sehr hoch geworden ist; es entstand also Beton mit verhältnismäßig wenig Hohlräumen. Die Druckfestigkeit ist aber durch Rütteln nur bei dem erdfeucht angemachten Beton höher geworden als durch Stampfen. Der weich angemachte Beton zeigte nach dem

⁶⁾ Vgl. Beton u. Eisen Bd. 32 (1933) S. 252.
⁷⁾ Die Maschine auf Abb. 3 und 4 ist vom Losenhausenwerk in Düsseldorf zur Verfügung gestellt worden; in dieser Maschine wirkt die maßgebende Kraft in bestimmter einstellbarer Richtung.
⁸⁾ Tischrüttler werden seit langer Zeit in der Betonwarenindustrie verwendet; es handelt sich dabei in der Regel um Rüttelmaschinen, wie sie in Gießereien benutzt werden (vgl. a. C. Geiger, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei, 2. Aufl., Berlin 1927, 2. Bd. S. 421). — Zugehörige Versuche vgl. N. Abrams, Bull. 3 Struktur. Mat. Res. Labor. Lewis Instit. Chicago 1919.

⁹⁾ Näheres s. Beton u. Eisen Bd. 32 (1933) S. 253 u. f.



Rütteln sogar eine etwas kleinere Druckfestigkeit als nach der üblichen Verarbeitung. Dieses Ergebnis ist auch bei weiteren Versuchen mit weich angemachtem Beton anderer Zusammensetzung aufgetreten. Man fand hier, daß im Beton durch Erschütterungen, Entmischen eintritt derart, daß sich unter den großen Steinresten ein feinkörniger, wasserreicher Mörtel ansammelt. Diese Vorgänge waren beim weich angemachten gerüttelten Beton ausgeprägt zu erkennen.

Welche Steife soll der Rüttelbeton aufweisen?

Hier ist zunächst zu beachten, daß die Eigenschaften des Stampfbetons in hohem Maß von seiner Steife und von der Größe der jeweils angewandten Stampfarbeit abhängen¹⁰⁾. Wenn der frische Stampfbeton nicht mindestens erdfeucht erscheint, wird seine Verdichtung auch bei reichlichem Stampfen ungenügend; der Wasserzusatz muß so gewählt werden, daß durch angemessenes Stampfen ein Beton mit höherem Raumgewicht entsteht als durch Steigerung des Wasserzusatzes. Die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung des Betons (dargestellt als Verhältnis $w = \text{Wasser:Zement}$) und der Druckfestigkeit zeigen sich dann gemäß dem ausgezogenen Linienzug in Abb. 6.

Es war nun allgemein zu verfolgen, inwieweit die Beziehungen zwischen der Steife des Betons bzw. dem Wert w und der Festigkeit des Betons praktisch geändert werden, wenn die Verarbeitung durch Rütteln geschieht. Zunächst zeigten die im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Versuche, daß bei weich und flüssig angemachtem Beton eine Steigerung der Festigkeit nicht zu erwarten ist. Wenn es sich aber um trockneren Beton handelt (sogen. Stampfbeton), läßt sich durch Rütteln eine Verdichtung erreichen, die durch Stampfen unter praktischen Verhältnissen nicht ausführbar erscheint. Damit entstehen dann Festigkeiten gemäß dem gestrichelten Linienzug in Abb. 6.

Die folgenden Beispiele zeigen dementsprechend, daß das Rütteln in erster Linie bei Beton mit wenig Wasser (sog. Stampfbeton) festigkeitserhöhend wirkt; überdies kann man durch Rütteln Mischungen verarbeiten, die für das Stampfen zu wenig Wasser enthalten. Über die Versuche sei folgendes berichtet. Das Rütteln geschah mit

dem Oberflächenrüttler nach Abb. 2. Der Beton bestand aus Illersand und Rheinkies. Die Körnung des Kiessandes ist in Abb. 7 gestrichelt dargestellt. Der Zementgehalt betrug rd. 245 kg in 1 m³ fertig verarbeitetem Beton. Der Zement war gewöhnlicher Handelszement. Die Probekörper waren Platten von 15 cm Höhe, 43 cm Breite und 100 cm Länge. Die Platten wurden 14 Tage unter feuchten Säcken gelagert, dann dem Biegeversuch unterworfen. An Reststücken wurde die Druckfestigkeit im Alter von 17 Tagen ermittelt. Es fanden sich u. a. folgende Mittelwerte:

Verhältnis Wasser:Zement w	Raumgewicht		Biegefestigkeit		Druckfestigkeit	
	gerüttelt kg/dm ³	gestampft kg/dm ³	gerüttelt kg/cm ²	gestampft kg/cm ²	gerüttelt kg/cm ²	gestampft kg/cm ²
0,45	2,27	2,25	38	31	250	138
0,52	2,42	2,33	56	40	330	206
0,57	2,44	2,38	54	46	313	244

Man sieht hier, daß der gerüttelte Beton viel höhere Festigkeiten lieferte als der gestampfte; der Unterschied ging mit zunehmendem Wasserzusatz zurück. Mit $w = 0,52$ lieferte der Rüttelbeton die höchste Festigkeit; dabei handelt es sich um Beton, der ein wenig feuchter als erdfeucht erschien.

Dasselbe zeigen die folgenden Versuchsreihen, die sich von den soeben beschriebenen im wesentlichen nur durch den Zementgehalt des Betons unterscheiden (hier im Mittel 338 kg in 1 m³ fertig verarbeitetem Beton):

Verhältnis Wasser:Zement w	Raumgewicht		Biegefestigkeit		Druckfestigkeit	
	gerüttelt kg/dm ³	gestampft kg/dm ³	gerüttelt kg/cm ²	gestampft kg/cm ²	gerüttelt kg/cm ²	gestampft kg/cm ²
0,36	2,34	2,28	52	37	361	175
0,42	2,42	2,36	62	49	427	323
0,47	2,43	2,40	63	57	445	386

Hier sind sehr hohe Festigkeiten erreicht worden. Dazu sei wiederholt bemerkt, daß die Proben bei der Biegeprüfung 14 Tage, bei der Druckprüfung 17 Tage alt waren und daß gewöhnlicher Portlandzement verwendet worden ist. Mit $w = 0,47$ war Beton entstanden, der etwas nasser war als erdfeucht; der frische Beton war bei der Entnahme aus der Mischmaschine noch ohne Zusammenhalt.

Wenn man weichen Beton durch Oberflächenrüttler verdichtet, so sinkt der Rüttler erheblich ein. Weicher Beton ist deshalb mit Innenrüttlern zu behandeln.

Im ganzen ergibt sich aus den Versuchen, daß eine erhebliche Verbesserung der Eigenschaften des Betons im Vergleich mit den bisherigen Gepflogenheiten eintritt, wenn Beton, wie er sonst zu Stampfbeton Verwendung findet, eingerüttelt wird; der Rüttelbeton wird am besten, wenn er etwas nasser als erdfeucht angemacht ist.

Weiter erhellt aus vielen Feststellungen, daß der Beton erheblich steifer angemacht werden kann, wenn er gerüttelt wird. Wenn also beispielsweise bei der bisherigen Art der Verarbeitung flüssiger Beton nötig war, so kann weicher Beton gewählt werden, wenn gut gerüttelt wird; man kann also Beton verarbeiten, der wegen seines geringeren Wassergehalts höherwertig wird. Dieser Umstand ist u. E. praktisch besonders wichtig.

Kann der Mörtelgehalt bei Rüttelbeton besonders klein gewählt werden?

Die Eigenschaften des Betons werden in erster Linie durch die Eigenschaften seines Mörtels bestimmt¹¹⁾. Unter anderem wird bei gleichem Zementaufwand der Beton dichter und fester, wenn der Anteil des Sandes

¹⁰⁾ Vgl. a. O. Graf, die Druckfestigkeit von Zementmörtel, Beton, Eisenbeton und Mauerwerk, Stuttgart 1921, S. 9.

¹¹⁾ Vgl. u. a. O. Graf, Der Aufbau des Mörtels und des Betons 3. Auflage, Berlin 1930, S. 1 u. f.

im Beton zurückgeht, wenn also dafür grobe Teile verwendet werden. Solcher Beton zeigt auch höheren Widerstand gegen Abnutzung und Witterungseinflüsse und hat geringere Neigung zu schwinden und zu quellen. Sandarmer Beton erreicht mit viel weniger Zement die gleichen Festigkeiten wie sandreicher. Man empfiehlt deshalb, den Sandgehalt des Betons so klein zu wählen, wie dies bei der Bauausführung möglich ist.

Nach den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton²⁾ darf die Körnung des Gemischs aus Sand und Kies nicht gröber sein als nach Linie *b* in Abb. 8; der Sandgehalt soll hiernach mindestens 40 % betragen. Andernfalls wird der Beton schwer verarbeitbar und oft undicht.

Unsere Versuche zeigen nun, daß der Mörtelgehalt bei Rüttelbeton kleiner gehalten werden kann als bei Beton, der in bisher üblicher Weise verarbeitet wird. Die beiden folgenden Beispiele lassen diesen Unterschied erkennen.

In Abb. 9 ist das Gefüge des Betons, der eine Sieblinie nach Abb. 8 *c* aufweist, dargestellt. 1 m³ Beton enthielt 333 kg Handzement; der Sandgehalt betrug hier 26 %, der Mörtelgehalt 36 %; als Zuschlag wurde gebrochener Gabbro 30/50 mm verwendet. Im Alter von 14 Tagen ergab sich das Raumgewicht zu 2,62 kg/dm³, die Biegefestigkeit zu 58 kg/cm² und die Druckfestigkeit zu 358 kg/cm², an 43 × 100 × 15 cm² großen Platten ermittelt. Es entstand also ein Beton von außerordentlicher Dichte und hoher Festigkeit.

Abb. 10 zeigt das Gefüge von Rüttelbeton aus Kiessand; in diesem Beton sind nur 24 % Kiessand, entsprechend 34 % Mörtel; die Körnung des Kiessands ist in Abb. 8 durch die Linie *d* dargestellt. Eine sachgemäße Verarbeitung wäre in üblicher Weise durch Handstampfung nicht möglich gewesen.

Aus Untersuchungen über den Gleitwiderstand der Eiseneinlagen in gerütteltem Beton

Säulen mit den Abmessungen 30 cm · 30 cm · 130 cm, hergestellt aus grobem, schmierigem Beton, der also erheblich feuchter als erdfeuchter Beton war (*w* = 0,55) mit besonders guter Kornzusammensetzung, Zementgehalt rd. 250 kg/m³, erhielten in drei Lagen (6, 55 und 110 cm über dem Fußende der Säulen) waagrecht liegende Eiseneinlagen von 18 und 30 mm Dmr. Form und Rüttler sind in Abb. 4 dargestellt (Umlaufzahl 3800/min; Fliehkraft 200 kg). Als Gleitwiderstand der Eisen¹²⁾ mit 30 cm Dmr. ergab sich an den 14 bis 17 Tage alten Proben:

	in der oberen	mittleren	unteren Reihe
bei gerüttelten Säulen . . .	22	34	30 kg/cm ² ,
bei gestampften Säulen . . .	14	18	16 „

Die Druckfestigkeit des Betons, ermittelt an zwei Stücken jeder Säule, betrug im Alter von 25 Tagen für den gerüttelten Beton . . . 315 kg/cm², „ „ gestampften „ . . . 314 „ .

Da es sich um nahezu weich angemachten Stampfbeton handelt, ist die Druckfestigkeit von dem Rütteln nicht beeinflusst worden. Dagegen wurde die Ein-

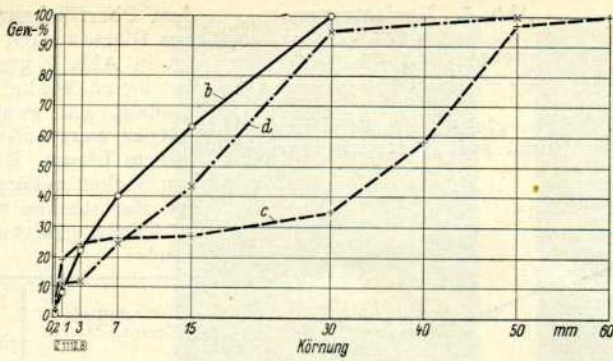


Abb. 8 Zusammensetzung der Zuschlagstoffe: *b* Linie *D* der Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (mindestens 40 % Sandgehalt), s. a. *b* in Abb. 7, *c* Versuchsmischung mit einem Gefüge nach Abb. 9, *d* Versuchsmischung mit einem Gefüge nach Abb. 10.

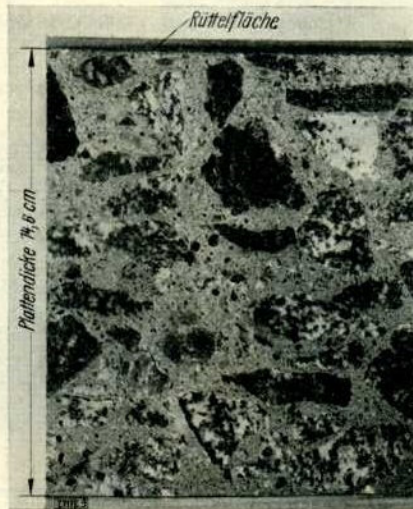


Abb. 9. Versuchsmischung mit 26 % Sandgehalt, 36 % Mörtel.



Abb. 10. Versuchsmischung mit 24 % Sandgehalt, 34 % Mörtel.

Abb. 8 bis 10. Versuche zur Ermittlung des günstigsten Mörtelgehaltes von Rüttelbeton.

bettung der Eiseneinlagen durch Rütteln wesentlich verbessert und damit der Gleitwiderstand der Eisen erhöht¹³⁾.

Die geeignete Schwingungszahl der Rüttler und der Einfluß der Rüttelzeit

Bei Verwendung des Geräts nach Abb. 2 fand sich, daß die Eigenschaften des Rüttelbetons durch Änderung der Schwingungszahl von rd. 2700 bis zu rd. 3800 Schwingungen in 1 min nur unerheblich beeinflusst wurden.

Bei Steigerung der Rüttelzeit von 1 auf 2 min (je für Platten von 15 cm Höhe mit der Grundfläche von 43 · 100 cm²) stiegen das Raumgewicht und die Biegefestigkeit deutlich; bei Verlängerung der Rüttelzeit von 2 auf 10 min waren die Änderungen des Raumgewichts und der Biegefestigkeit nur noch verhältnismäßig klein.

Wirkungsbereich der Rüttler

Bei der Benutzung der Oberflächenrüttler war wesentlich zu erfahren, welche Schichthöhe gewählt werden darf, wenn die Festigkeiten des Betons in der unteren Schicht nur wenig kleiner bleiben sollen als in der oberen. Dazu sind Platten von 9, 22 und 31 cm Höhe mit dem Gerät nach Abb. 2 gerüttelt worden. Der Beton war etwas nasser als erdfeucht angemacht. Das mittlere Raumgewicht fiel dabei praktisch gleich aus; die Biegefestigkeit ging von 57 kg/cm² bei 9 cm dicken Platten auf 48 kg/cm² bei 31 cm dicken Platten zurück. Mit einem schwereren Rüttler entstanden ähnliche Unterschiede.

Demnach erscheint es angezeigt, beim Rütteln von Beton, wie man ihn sonst zur Herstellung von Stampfbeton verwendet, die Schichthöhe vorläufig auf etwa 25 cm zu beschränken. Nach unseren Beobachtungen kann die Wirkung unterstützt werden, wenn die Mischung von

¹²⁾ Vgl. F. Empeger, Handbuch für Eisenbeton, 4. Aufl., 1. Bd. Berlin 1929 S. 55 Abb. 42.

¹³⁾ Welche Grenzbedingungen für die Erhöhung des Gleitwiderstands gelten, soll noch festgestellt werden.

Anfang an dichte Lagerung aufweist, was u. a. mit gut gekörntem Beton und klebrigem Feinmörtel zu erreichen ist.

Bei Innenrüttlern wird sinngemäß zu fordern sein, daß die Geräte in Abständen von etwa 60 cm eingesetzt werden.

Außenrüttler, also Geräte, die in der Außenfläche der Schalung befestigt werden und zunächst diese und damit den Beton mehr oder minder in Schwingung versetzen, sind entsprechend dem Gesagten nur für Bauteile mit kleinen Abmessungen geeignet; ihre Wirkung wird auch weniger sicher auftreten als beim Innenrüttler, weil die Wirkung des Außenrüttlers von der Beschaffenheit der Schalung im ganzen und örtlich beeinflußt sein wird.

Wirkung von Erschütterungen nach der Verarbeitung des Betons

Die bisher beschriebenen Versuche sind so ausgeführt worden, daß die Erschütterungen zur Verarbeitung des Betons benutzt wurden, also am frischen Beton unmittelbar nach dem Einbringen in die Form. Auch war die Dauer des Rüttelns auf wenige Minuten beschränkt. Man weiß nun seit langer Zeit, daß Erschütterungen, welche später auftreten und länger wirken, bei weich und flüssig angemachtem Beton noch nachträglich erhebliche Verdichtungen und Festigkeitssteigerungen hervorrufen können¹⁾, weil nach der Verarbeitung von weich und flüssig angemachtem Beton vom überschüssigen Anmachwasser erhebliche Mengen abgestoßen werden und dadurch Räume frei werden, die dann durch Rütteln verkleinert oder geschlossen werden können. Dieses Nachrütteln kann z. Z. nur bei kleinen unabhängigen Bauteilen oder bei Zementwaren mit einfacher Gestalt angewandt werden.

¹⁾ Vgl. H. Scheit und O. Wawrziniok, Heft 7 Deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Berlin 1911; — H. Scheit, O. Wawrziniok und H. Amos, Heft 40 Deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Berlin 1918; — O. Graf, im Handbuch für Eisenbetonbau, 3. Aufl., 1. Bd., S. 136 u. f.; — Kindel, Diss. Techn. Hochsch. Danzig 1931.

Schlußbemerkung

Ganz allgemein läßt sich den bisherigen Feststellungen entnehmen, daß Beton, der durch Rütteln verarbeitet wird, schwerer wird als durch die übliche Verarbeitung. Neben dieser Vergrößerung des Raumgewichts, die als Vorteil des Rüttelbetons zu bezeichnen ist, können bei weichem und besonders bei flüssig angemachtem Beton Entmischungen auftreten; die Festigkeit wird für solchen Rüttelbeton kleiner als für gleich zusammengesetzten Beton üblicher Verarbeitung.

Diesen Mängeln kann aber zu einem erheblichen Teil begegnet werden, weil der Rüttelbeton zur Verarbeitung viel weniger Anmachwasser erfordert.

Beton mit wenig Anmachwasser, sog. Stampfbeton, läßt sich durch Rütteln sowohl nach dem Gewicht als nach der Festigkeit bedeutend verbessern; in solchem Beton lassen sich auch noch Eisen durch Rütteln gut einbetten.

Rüttelbeton erfordert weniger Mörtel als Beton für die bisher übliche Verarbeitung.

Innenrüttlung kommt vor allem bei Verwendung von weich angemachtem Beton in Betracht, soweit die Form der Bauteile ein Einsetzen des Geräts zuläßt.

Oberflächenrüttlung ist nur bei steif angemachtem Beton, vornehmlich bei der Herstellung von Platten und Bauwerken mit genügend großer Oberfläche, anwendbar.

Außenrüttlung, bei der das Gerät gegen die Schalung wirkt, bleibt voraussichtlich in der Anwendung auf dünnwandige Bauteile beschränkt oder auf Fälle, bei denen vorwiegend auf eine Verbesserung der Oberfläche Wert gelegt wird.

Wenn Rüttelbeton hergestellt wird, muß der Wirkungsbereich der Rüttler scharf beachtet werden, damit ein hinreichend gleichmäßiger Beton entsteht. Diese Bedingung ist auch in bezug auf die Beschaffenheit und die Verbindung des Betons in den Schichtflächen wesentlich.