

Verdichten von Beton mit Innenvibratoren

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **63 (1995)**

Heft 3

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153801>

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.

Verdichten von Beton mit Innenvibratoren

Das Verdichten von Frischbeton ist ein wichtiger Bestandteil der Vorkehrungen, die zu einem dauerhaften, dichten und festen Beton führen.

Zu den vielen Faktoren, die zum Entstehen eines festen, dauerhaften Betons zusammenspielen müssen, gehört auch das Verdichten. In der Norm SIA 162 [1] ist darüber allerdings nur wenig ausgesagt. Zu lesen ist dort unter Ziffer 6 07 2: «Der Beton ist vor Abbindebeginn des Zementes unter Vermeidung jeder Entmischung in möglichst horizontalen Schichten einzubringen und einwandfrei zu verdichten.» Zudem muss Beton derart verarbeitet werden, dass er «durchgehend möglichst gleichmässig und dicht wird und die Bewehrung satt umhüllt» ([1], Ziffer 6 07 3). Dem Praktiker helfen diese Aussagen wenig.

Verdichtungsmethoden

Beton enthält nach dem Einbringen 5 bis 20 % Luft, die durch das Verdichten weitgehend entfernt wer-

den muss. Auf Baustellen ist das Vibrieren die gebräuchlichste Verdichtungsmethode. Je nach örtlichen Gegebenheiten und vor allem je nach Konsistenz des Betons kommen auch andere Verfahren zum Einsatz. Die wichtigsten sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Für die Verdichtung des Betons durch Vibrieren oder Rütteln (siehe Kasten) stehen zur Verfügung:

- Innenvibratoren (Innenrüttler)
- Aussenvibratoren (Schalungsrüttler)
- Balkenvibratoren
- weitere Geräte wie Rüttelstampfer oder Plattenvibratoren

Innenvibratoren sind die auf Baustellen am häufigsten eingesetzten Verdichtungsgeräte. Wir beschränken uns in diesem Artikel auf ihre Anwendung.

Vibrieren oder Rütteln?

Innenrüttler oder Innenvibrator – die Bezeichnung von Geräten, deren Verdichtungswirkung auf Vibrationen beruht, ist nicht einheitlich. Selbst Spezialisten sind im Gebrauch von Bezeichnungen nicht konsequent. Im vorliegenden Artikel werden in der Regel die Ausdrücke «Vibrieren», «Vibrator» usw. verwendet.

Obwohl die ersten Patente für Innenvibratoren vor bald 70 Jahren in Frankreich erteilt wurden, ist bei ihrem Einsatz zum Verdichten von Beton noch vieles nicht wissenschaftlich abgestützt. Um so wichtiger sind die Erfahrungen und Beobachtungen bei der täglichen Arbeit. Das Verdichten von Beton ist denn auch eine Angelegenheit für erfahrene und zuverlässige Mitarbeiter, die sorgfältig in ihre wichtige Aufgabe eingeführt wurden.

Verdichtungsmethode	Betonkonsistenz	Anmerkungen/Anwendungen
Stochern	flüssig oder weich	Bereits geringfügige Einwirkungen wie Stochern mit Latten oder Stäben oder leichtes Erschüttern (Klopfen an Schalung) reichen zum Verdichten aus.
Vibrieren (Rütteln)	plastisch bis steif	Standardmethode auf Baustellen.
Schleudern	plastisch bis weich	Herstellen von radialsymmetrischen Hohlkörpern (Rohre, Pfähle, Masten) mit Durchmessern bis 3 m und mehr.
Schocken	schwach plastisch bis steif	Beton durch freien Fall der hochgehobenen Form oder auf Schocktischen verdichtet. Vor allem in Vorfabrikation eingesetzt.
Stampfen	steif	Früher allgemein gebräuchliche Verdichtungsmethode. Heute nur noch für untergeordnete Bauteile wie Fundamentstreifen eingesetzt.
Walzen	steif	Walzbeton für Strassen- und Dammbau (siehe [4]).

Tab. 1 Verdichtungsmethoden (nach [2] und [3]).

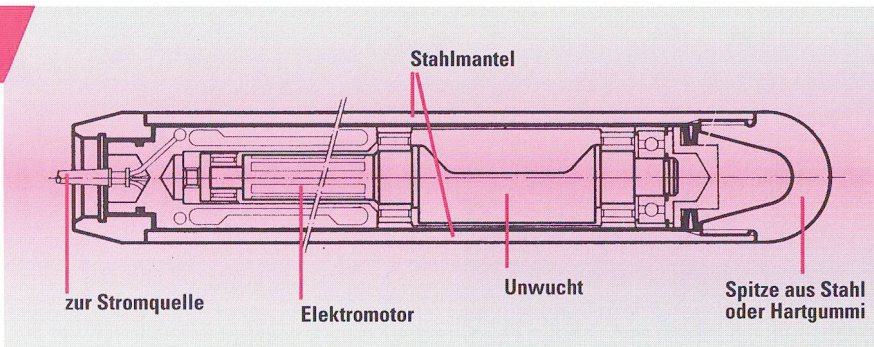


Abb. 1 Schematische Darstellung eines Innenvibrators mit eingebautem Drehstrommotor.

(Schema: Faba AG, Aarau; Grafik: ZSD, S. Einfalt)

Aufbau von Innenvibratoren

Innenvibratoren bestehen im wesentlichen aus einem zylindrischen Teil, der Flasche, die durch eine rotierende Unwucht im Innern in Schwingung versetzt wird. Die Vibrationsfrequenz beträgt im allgemeinen 12 000 U/min (=200 Hz \times 60 s), sie kann aber auch tiefer oder höher liegen. Der Antrieb der Unwucht erfolgt entweder extern über eine flexible Welle in einem Gummischlauch oder intern. Mit externem Antrieb ausgerüstet sind hauptsächlich die leichten Handvibratoren (Stockrüttler) mit Flaschendurchmessern um 28, 35 und 45 mm.

Die Flasche des in der Schweiz am meisten verwendeten Innenvibratortyps ist in *Abbildung 1* schematisch dargestellt: Der eingebaute Drehstrommotor (Betriebsfrequenz 200 Hz, Spannung meist 42 V [Schutzspannung]) wird über eine elektrische Leitung in einen Gummischlauch (Standardlänge 5 m) mit dem Frequenzumformer verbunden, der seinerseits über ein Kabel am Netz (220 oder 380 V) angeschlossen ist. Die Durchmesser der Flaschen dieser Innenvibratoren liegen meistens zwischen 30 und 90 mm, wobei auf Baustellen Flaschendurchmesser um 56 und um 66 mm am häufigsten anzutreffen sind.

Erwähnenswert sind auch mit Druckluft (pneumatisch) angetriebene Innenvibratoren, deren Flaschendurchmesser ebenfalls zwischen 30 und 90 mm liegen.

Was beim Verdichten geschieht

Die Beschreibung der Phänomene, die beim Vibrieren von Beton auftreten, ist recht schwierig. Wir beschränken uns hier deshalb auf eine einfache Darstellung [5, 6]: Durch die Vibrationen des Innenrüttlers werden die festen Bestandteile des Betons in schnelle Bewegungen ver-

setzt. Dadurch verringert sich die Reibung zwischen ihnen, der Beton verflüssigt sich, und die in den Blasen eingeschlossene Luft steigt nach oben. Gleichzeitig suchen die Zuschlagkörner unter dem Einfluss der Vibrationen und der Schwerkraft einen Weg zu einem möglichst dichten Gefüge.

Die bei Innenvibratoren übliche Frequenz von 12 000 U/min ist ein Kompromiss zwischen dem, was aus gebräuchlichen Elektromotoren herauszuholen ist, und dem Mittelwert der Eigenfrequenzen der Betonbestandteile. Diese Eigenfrequenzen

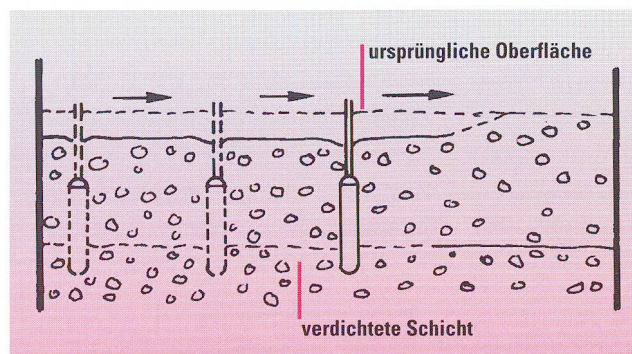


Abb. 2 Korrekter Einsatz des Innenvibrators. Die in regelmässigen Abständen senkrecht eingetauchte Flasche reicht bis in die untere verdichtete Schicht (nach [10]).

Grafik: ZSD, S. Einfalt

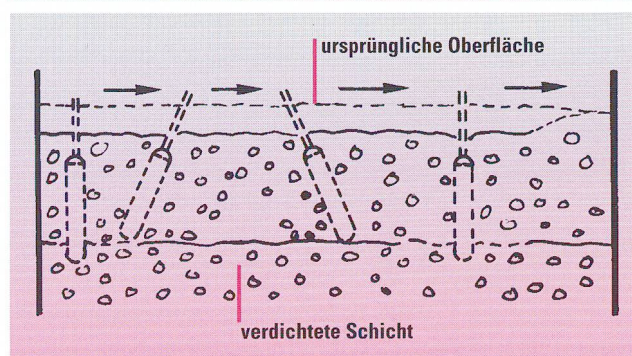
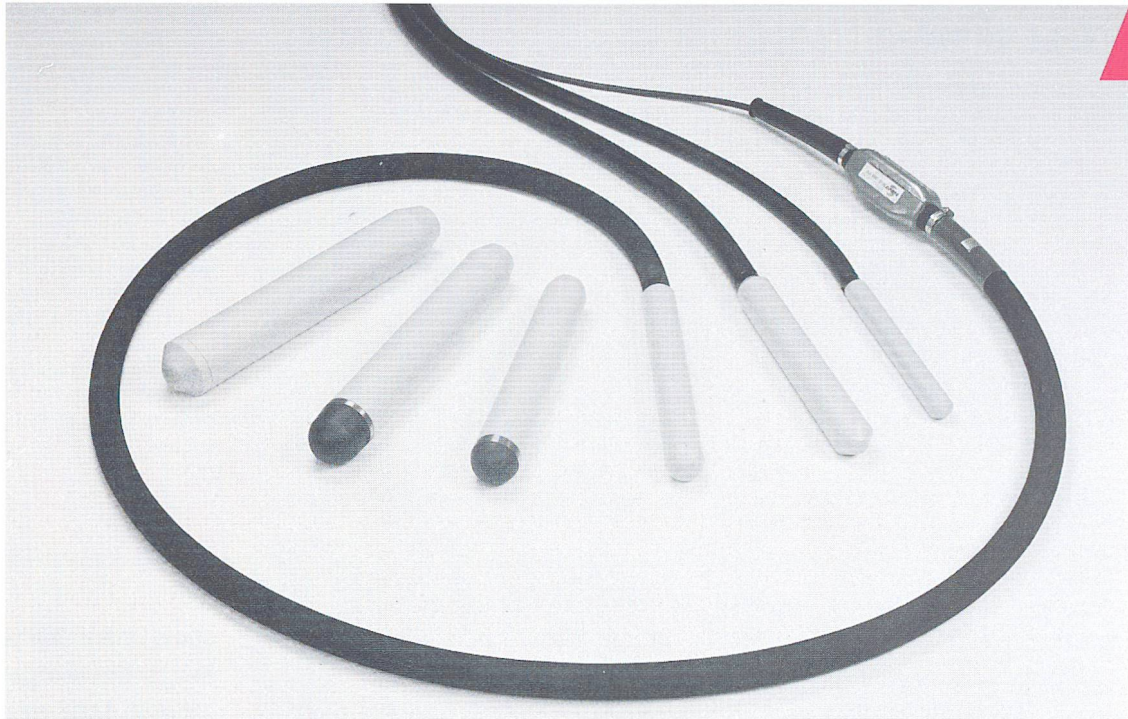


Abb. 3 Falscher Einsatz des Innenvibrators: Ungleiches Abstand der Einsetzstellen durch ungleiches schräges Einführen der Flasche sowie ungenügendes Mitvibrieren der bereits verdichteten Schicht (mod. nach [10]).

Grafik: ZSD, S. Einfalt

Eine Auswahl von Innenvibratoren mit Flaschendurchmessern zwischen 35 und 86 mm.

Foto: zvg



5

hängen von der Eigenmasse der Teilchen ab. Sie betragen z.B. etwa 3000 U/min bei grossen Zuschlagkörnern und etwa 18 000 U/min bei Zementkörnern. Die Vibratorfrequenz von 12 000 U/min reicht aus, um gewisse Betonbestandteile in Schwingung zu bringen. Diese stossen an andere Teilchen, die wiederum in Bewegung geraten. Damit diese Bewegungen auf ein grösseres Betonvolumen übertragen werden können, muss der Vibrator eine ausreichende Leistung aufweisen. Im allgemeinen nimmt diese Leistung mit zunehmendem Durchmesser der Flasche ebenfalls zu, denn ein grösserer Durchmesser bedeutet in der Regel auch eine grössere Exzentermasse und damit eine grössere Amplitude.

Die Verdichtungswirkung eines Vibrators nimmt mit zunehmendem Abstand von der Flasche schnell ab. Der Durchmesser des zylinderförmigen Bereichs, der durch die Vibriernadel verdichtet wird, wird häufig Wirkungsdurchmesser genannt. (Gesprochen wird auch vom Wirkungsradius, der die Hälfte des Wirkungsdurchmessers ausmacht.) Als Faustregel kann für einen der übli-

cherweise verwendeten Betone gelten, dass der Wirkungsdurchmesser ungefähr 10mal grösser als der Durchmesser der Flasche des Vibrators ist.

Vibriieren in der Praxis

Bereits beim Einbringen des Betons muss an die anschliessende Verdichtung gedacht werden. Dies bedeutet beispielsweise, dass der Beton in einem Rhythmus angeliefert bzw. hergestellt wird, der eine vollständige Verdichtung erlaubt. Die nach Norm SIA 162 [1] vorgeschriebenen horizontalen Schichten dürfen nicht zu dick sein. Anders ausgedrückt: Die Schichtdicke sollte nicht grösser als die Länge der Flasche des Innenvibrators (300 bis 500 mm) sein. Die Vibriernadel muss immer 100 bis 150 mm in eine untenliegende, bereits verdichtete Schicht eintauchen, damit ein möglichst homogener Übergang entsteht. (Bedingung ist allerdings, dass sich die untere Schicht noch verdichten lässt.) Die Vibriernadel soll unter der Wirkung der eigenen Masse senkrecht in den Beton eintauchen. Dieser Vorgang muss schnell sein, damit der obere Teil der Schicht nicht teilweise

verdichtet wird und dadurch als Barriere gegen das Entweichen von Luft wirkt.

Die Verdichtungszeit hängt hauptsächlich von der Zusammensetzung (Konsistenz) des Betons, der Leistung des Vibrators und der Schichtdicke des Betons ab. Geübte Arbeiter sehen und «fühlen», wann die Verdichtung beendet ist.

Wichtige Indizien sind:

- Der Ton des Vibrators verändert sich nicht mehr.
- Es treten nur noch vereinzelt Luftblasen aus.
- Die Betonoberfläche glänzt; sie ist mit einer feinen Mörtelschicht bedeckt.
- Der Beton setzt sich nicht mehr.

Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, wird der Vibrator langsam herausgezogen. Dabei ist darauf zu achten, dass sich das «Vibratorloch» vollständig schliesst. Im allgemeinen sollte der Vibrator senkrecht gehalten werden, um eine möglichst gute, gleichmässige Verdichtung zu erzielen. Ausnahmen sind beispielsweise Betonschichten geringer Dicke: Wenn kein Vibrator mit einer genügend kurzen

Tips für den Gebrauch von Innenvibratoren

Die folgenden Hinweise, Anregungen und Ratschläge wurden aus verschiedenen Publikationen ([1], [2], [8], [11], [12]) zusammengetragen:

- Abklären, ob ein Innenvibrator überhaupt das richtige Verdichtungsgerät ist.
- Mitarbeiter ausreichend ausbilden!
- Sicherheitsvorschriften beachten.
- Abklären, welcher Vibratordurchmesser aufgrund der Maschenweite der Bewehrung möglich ist.
- Vibrator wählen, dessen Länge die Schichtdicke des eingebrachten Betons nicht übersteigt.
- Betonoberfläche muss gut sichtbar sein (gegebenenfalls Lichtquelle bereitstellen!).
- Keine mehr als 300 bis 500 mm dicke Schichten einbringen und verdichten.
- Abstände zwischen Verdichtungspunkten so wählen, dass sich Wirkungsbereiche überlappen.
- Vibrator schnell durch Eigengewicht senkrecht in den Beton eintauchen lassen.
- Vibrator etwa 100 bis 150 mm in bereits verdichtete Schicht eintauchen.
- Vibrator herausziehen, wenn Betonoberfläche glänzt und keine grossen Blasen mehr auftreten.
- Vibrator so langsam hochziehen, dass sich das Loch schliesst.
- Kontakt zwischen Vibrator und Bewehrungsseisen vermeiden.
- Vibrator nie mit Schalung in Kontakt bringen (Minimalabstand 75 bis 100 mm).
- Vibrator während des Verdichtens nicht horizontal bewegen.
- Verdichten bei Front des Frischbetons beginnen.
- Bei schiefer Schalung an tiefstem Punkt mit Verdichten beginnen.
- Frischbeton nicht mit Vibrator verteilen oder transportieren.
- Vibratorflasche immer vollständig in Beton eintauchen, um Warmlaufen zu verhindern.
- Wenn sich Anlieferung von Beton verzögert, letzte Schicht alle 15 min kurz nachvibrieren.
- Vibrator ausschalten, wenn er nicht mehr gebraucht wird.
- Unterhaltsvorschriften des Lieferanten beachten.

Flasche zur Verfügung steht, kann der Vibrator etwas schräg gehalten werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Eintauchwinkel immer gleich bleibt (siehe *Abbildung 2, 3*). Zudem muss berücksichtigt werden, dass sich bei schrägem Eintauchen die Entmischungsgefahr im unteren Bereich des verdichteten Betons vergrößert.

Wichtig sind die Verdichtungsorte. Sie müssen systematisch ausgewählt werden, damit alle Bereiche des Betons in ausreichende Vibration versetzt werden. Unter den üblichen Umständen wird dies erreicht, wenn der Abstand zwischen den einzelnen Eintauchstellen ungefähr 7- bis 8mal dem Durchmesser der

Vibratorflasche entspricht (siehe *Abbildung 4*).

Bei dichter Bewehrung müssen besondere Rüttelgassen angeordnet werden. In schwierigen Fällen kann die Verwendung von Fließbeton (Beton, der einen Hochleistungsverflüssiger, HBV, enthält) nützlich sein. Fließbeton ist wesentlich verdichtungswilliger als ein Beton ohne HBV. Dennoch sollte er ebenfalls vibriert werden [7].

Während des Vibrierens muss darauf geachtet werden, dass in den Ecken und längs der Schalung besonders gut verdichtet wird. Der Abstand zwischen Vibrator und Schalung muss aber mindestens 75 bis 100 mm betragen. Wird dieser Ab-

stand unterschritten, kann die Schalung mitschwingen (v.a. bei elastischer Ausbildung der Schalung). Zu den möglichen Folgen gehören Kiesbänder durch Auslaufen von Zementmilch an undichten Fugen oder eine Entmischung des Betons längs der Schalung. Doch auch ein zu grosser Abstand des Vibrators von der Schalung wirkt sich negativ aus, da eine lunkerreiche Betonoberfläche entsteht. Es würde zu weit führen, wollte man das Verdichten von Beton durch Vibrieren detailliert behandeln. Eine Reihe von nützlichen Hinweisen für die Praxis sind im Kasten «Tips für den Gebrauch von Innenvibratoren» zusammengefasst.

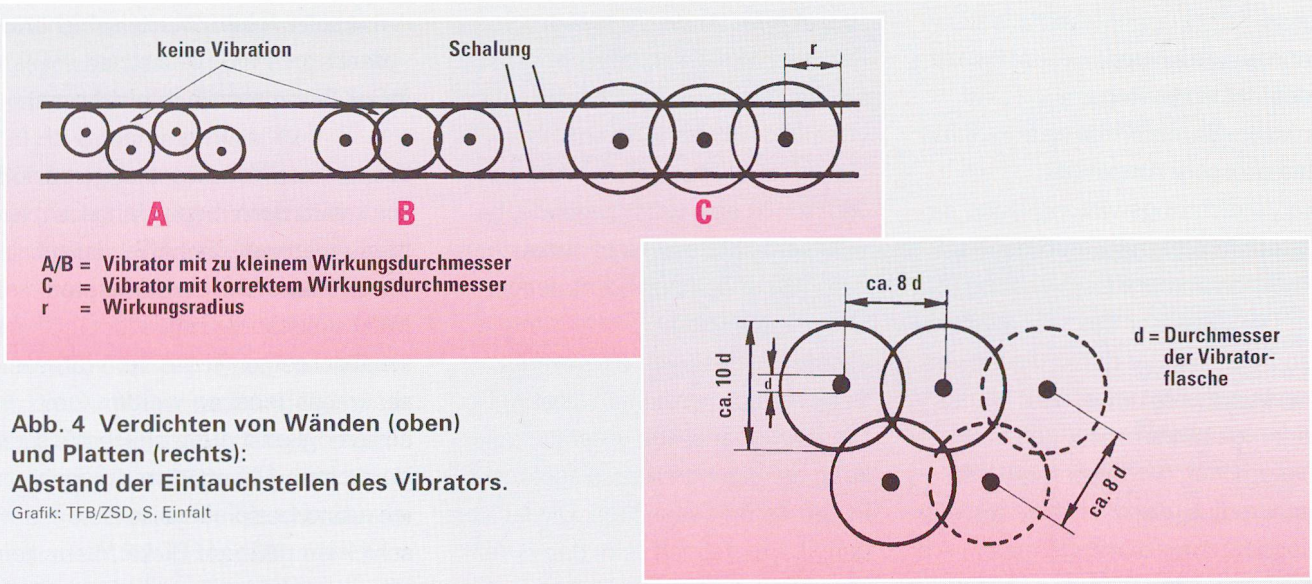


Abb. 4 Verdichten von Wänden (oben) und Platten (rechts): Abstand der Eintauchstellen des Vibrators.

Grafik: TFB/ZSD, S. Einfalt

Besonders kurzer Vibrator
zum Verdichten
von Beton in Decken.



7

Foto: Perles AG, Pletierfen

Über- und Untervibrieren

Um es gleich vorwegzunehmen:
Ein gut zusammengesetzter Beton
mit adäquater Konsistenz ist wenig
anfällig auf die Folgen des Übervi-
brierens, zu denen gehören:

- Entmischungen
- Sandstreifen an der Oberfläche (vor allem bei zu magerem Beton)
- Verlust von Luft bei Beton mit durch Luftporenbildner eingeführter Luft (nur bei schlecht zusammengesetztem Beton)

Wesentlich häufiger als das Übervi-
brieren ist das Untervibrieren, das
weit gravierendere Konsequenzen
für die Dauerhaftigkeit des Betons
hat. Grosse Luftblasen und Kiesne-
ster sind hässliche Zeugen unsorg-
fältiger Verdichtungsarbeit und bil-
den Schwachstellen.

Nachverdichten

Zu den positiven Effekten, die sich
bei fachgerechtem Nachvibrieren
erzielen lassen, gehören [5, 8]:

- Der Beton wird dichter und damit chemikalien- und abrasionsbeständiger.
- Hohlräume oder Wasserlinsen, die sich unter waagrechten Bewehrungsstäben oder Aussparungen gebildet haben, werden wieder geschlossen.
- In Betonwänden verringert sich die Rissneigung; Fröhschwundrisse können wieder geschlossen werden.
- Sichtbetonoberflächen werden schöner.

Das Nachvibrieren wird vor allem
für den obersten Bereich von Wän-
den und Säulen empfohlen, in dem
die Verdichtung nicht mehr durch
die Masse des darüberliegenden
Betons gefördert wird. Andere kriti-
sche Stellen befinden sich bei be-
wehrten Säulen, Wänden und
dicken Platten oberhalb des ober-
sten Bewehrungsteils, wo nach 1
bis 2 Std. Risse auftreten können,
die bei Beton ausreichender Plasti-
zität noch durch Nachverdichten
entfernt werden [9].

Auch beim Nachverdichten muss
der Innenvibrator unter dem eigen-
en Gewicht in den Beton einsin-
ken. Die Zeit, die zwischen Verdich-
ten und Nachverdichten verstre-
ichen darf, kann nicht generell ange-
geben werden. Sie wird meistens 1
bis 2 Std. betragen, kann aber auch
kürzer oder länger sein. Verantwor-
tlich hierfür sind viele Faktoren, vor
allem die ursprüngliche Konsistenz
des Betons, der verwendete Ze-
ment, die gegebenenfalls eingesetz-
ten Zusatzmittel, die Betontempe-
ratur und die Witterung.

Literatur

- [1] Norm SIA 162, «Betonbauten» (Ausgabe 1993).
- [2] Weigler, H., und Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 159–165.
- [3] Bayer, E., «Beton-Praxis: ein Leitfaden für die Baustelle», 3. Aufl., Beton-Verlag, Düsseldorf (1989), Seiten 37–43.
- [4] van Egmond, B., und Hermann, K., «Walz-beton», Cementbulletin 61 [16], 1–10 (1993).
- [5] «Verdichten met de trilnaald», Betoniek 8 [14], 1–8 (1990).
- [6] Kaysser, D., «Vibrationsverdichtung von Beton – Grundlegende Sachverhalte und Zusammenhänge», Betonwerk + Fertigteil-Technik 52 [2], 86–92 (1986).
- [7] Wenzel, D., «Betonverdichtung – Grundlagen, Praxis, Einzelfragen», Betonwerk + Fertigteil-Technik 52 [3], 153–158 und 52 [4], 252–259 (1986).
- [8] «Guide for consolidation of concrete», ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, 309R.1–309R.40 (1994).
- [9] British Cement Association, «Placing and compacting», Seiten 5–16 (1993).
- [10] Walz, K., «Rüttelbeton», 3. Aufl., Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin (1960), Seiten 48–73.
- [11] Suprenant, B. A., und Basham, K. D., «Placing and vibrating poured concrete walls», Concrete Construction 38 [2], 131–134 (1993).
- [12] Pavela, D. A., «Proper training's a must», Concrete International 14 [4], 78 (1992).
- [13] Kenney, A. R., «Consolidating concrete the right way», Concrete Construction 36 [9], 676–677 (1991).

Kurt Hermann