

■ 1 Anliefern und Lagern der Ausgangsstoffe

Zement wird lose in Silofahrzeugen, -zügen oder Säcken angeliefert. Loser Zement wird auf der Baustelle mittels Druckluft in Silos geblasen, aus denen er mit Hilfe mechanischer Abzugsvorrichtungen staubfrei entnommen werden kann.

Bei jeder Lieferung von losem Zement erhält der Abnehmer neben dem Lieferschein ein witterungsbeständiges Blatt, das alle wesentlichen Angaben zum Zement enthält und für die Silokennzeichnung vorgesehen ist. Damit sollen Verwechslungen beim Befüllen der Silos vermieden werden. Darüber hinaus sind die Füllvorrichtungen möglichst durch die Anordnung besonderer Passungen am Einblasstutzen vor fehlerhaftem Befüllen zu schützen.

Behälterfahrzeuge und Silos für Zement dürfen keine Reste von Zementen anderer Art oder niedrigerer Festigkeitsklasse oder von anderen Stoffen (z. B. Kalk, Gips, Düngemittel) enthalten. Der Abnehmer sollte – sofern nicht ohnehin erforderlich – zumindest im Zweifel eine Rückstellprobe entnehmen. Die gleichzeitige Verwendung verschiedener Zemente in einem Beton sollte in der Regel vermieden werden, da sich sowohl die Eigenschaften der Zementmischung als auch die des daraus hergestellten Betons deutlich ändern können (z. B. Eignung für bestimmte Expositionsklassen oder besondere Eigenschaften).

Sackzement ist sorgfältig vor Feuchtigkeit zu schützen, wobei sowohl Schlagregen als auch aufsteigende Feuchtigkeit fern zu halten sind (Bild 2).

Wird der Zutritt von Feuchtigkeit völlig verhindert, ist Zement fast unbegrenzt lagerbar. Offen liegender Zement nimmt jedoch Feuchtigkeit aus der Luft auf, wird klumpig und verliert dadurch an Festigkeit. Als Faustregel gilt, dass bei sachgemäßer Lagerung, z. B. im Silo oder in Papiersäcken in einem witterungsgeschützten Unterstand oder einem Baucontainer, nach 3 Monaten eine Festigkeitsminderung von über 10 % eintritt. Die Minderung der Anfangsfestigkeit kann bei sehr fein gemahlten Zementen größer sein. Deshalb sollten auf der Baustelle Zemente der Festigkeitsklassen 52,5 N und 52,5 R nicht länger als einen Monat, alle anderen Zemente nicht länger als 2 Monate lagern. Zement, der bereits Klumpen gebildet hat, die sich nicht mehr mit der Hand zerdrücken lassen, darf nicht mehr verwendet werden.

Gesteinskörnungen sind bei Anlieferung und Lagerung vor Verunreinigung zu schützen. Hierzu gehören unter anderem folgende Maßnahmen:

- saubere Transportfahrzeuge,
- befestigte Zufahrtswege,
- befestigte Lagerflächen, z. B. aus Beton,
- Schutz vor einfallendem Laub.



Bild 1: Verarbeiten von Beton auf der Baustelle

Werden Gesteinskörnungen getrennt nach Korngruppen in Boxen gelagert, müssen die Trennwände ausreichend hoch, lang und standfest sein, damit ein Vermischen der einzelnen Korngruppen verhindert wird. Die Boxen sind durch ausreichendes Gefälle zu entwässern, um eine Anreicherung stehenden Niederschlagswassers zu vermeiden (Bild 3). Dies gilt vor allem für die Lagerung von Sand.

Die Wirkungsgruppen von *Betonzusatzmitteln* sind auf Verpackungen bzw. Lieferscheinen farblich gekennzeichnet (z. B. Betonverflüssiger: gelb). Betonzusatzmittel sind so zu lagern, dass die Gebindebeschriftungen lesbar bleiben. Flüssige Zusatzmittel sind frostsicher aufzubewahren, pulverförmige vor Feuchtigkeit zu schützen. Flüssige Mittel sind vor Gebrauch durch Aufrühren zu homogenisieren.

Betonzusatzstoffe (z. B. Flugasche, Kalksteinmehl o. ä.) müssen, ebenso wie Zement, trocken gelagert werden. Bei Lagerung des Zusatzstoffes im Silo ist dieses klar zu kennzeichnen.

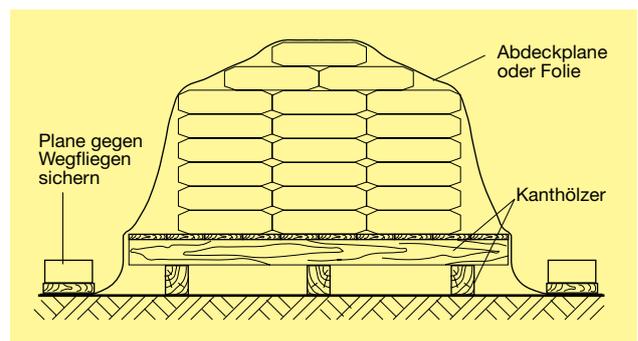


Bild 2: Lagerung von Sackzement im Freien

■ 2 Dosieren der Ausgangsstoffe

Bei der Herstellung von Beton muss am Leitstand der Mischanlage eine schriftliche Mischanweisung vorhanden sein. Für das Zumessen der Ausgangsstoffe gelten bei Chargengrößen von 1 m³ oder mehr die folgenden Regelungen:

- Die Ausgangsstoffe Zement, Gesteinskörnungen, Zugabewasser und Zusätze müssen mit einer Toleranz von $\pm 3 \%$ der erforderlichen Menge dosiert werden.
- Zement, Gesteinskörnungen und pulverförmige Zusatzstoffe müssen nach Masse (Gewicht) dosiert werden.
- Zugabewasser, leichte Gesteinskörnungen, Zusatzmittel und flüssige Zusatzstoffe dürfen nach Masse oder Volumen zugegeben werden.

In zeitgemäßen Anlagen erfolgt die Dosierung der Ausgangsstoffe weitgehend EDV-gesteuert und kaum noch manuell. Die Steuerung der Anlage muss so ausgelegt sein, dass bei Änderung der Eigenschaften der Ausgangsstoffe, wie zum Beispiel der Oberflächenfeuchte der Gesteinskörnungen, eine entsprechende Anpassung der zugegebenen Mengen automatisch oder manuell vorgenommen werden kann. In Transportbeton- und Fertigteilwerken wird der Feuchtegehalt der Gesteinskörnungen mittels elektronischer Messsonden laufend erfasst. Die zugewogenen Mengen von Wasser und Gesteinskörnungen werden anhand der ermittelten Feuchten durch die Anlagensteuerung angepasst. Wiegeeinrichtungen müssen im Rahmen der Produktionskontrolle regelmäßig auf einwandfreie Funktion überprüft werden.

■ 3 Mischen des Betons

Das Mischen der Ausgangsstoffe muss in einem mechanischen Mischer erfolgen und so lange fortgeführt werden, bis die Mischung gleichförmig erscheint. Dieser Zeitraum ist die Mischdauer. Sie soll bei Normalbetonen erfahrungsgemäß mindestens 30 Sekunden, bei Leichtbetonen mindestens 90 Sekunden betragen. Das Mischen von Hand ist nicht erlaubt.

Bei der Herstellung von Betonen mit besonderen Anforderungen, zum Beispiel selbstverdichtenden Betonen, hochfesten Betonen, Sichtbeton oder bei Verwendung von Luftporenbildnern, können längere Mischzeiten erforderlich sein. Zusatzmittel müssen während des Hauptmischgangs zugegeben werden. Eine Ausnahme bilden Fließmittel (FM) und Verzögerer (VZ), die auch zu einem späteren Zeitpunkt zugegeben werden dürfen.

Je nach Anlagentechnik erfolgt die Zugabe der Zusatzmittel gemeinsam mit dem Anmachwasser oder direkt danach. Bei einigen Stoffgruppen ist die Wirkung vom Zeitpunkt der Zugabe abhängig. Deshalb sollte entweder bei der Betonherstellung der Dosierzeitpunkt der Erstprüfung gewählt, oder, wenn dies anlagentechnisch nicht möglich ist, in der Erstprüfung der Zugabezeitpunkt der Mischanlage beachtet werden. Wenn Fließmittel nach dem Hauptmischgang zugegeben werden, muss der Beton so lange weitergemischt werden, bis sich das Fließmittel vollständig in der Mischung verteilt hat und voll wirksam ist. In einem Fahrmixer muss die Mischdauer nach Zugabe eines Fließmittels mindestens 1 Minute pro m³ Beton betragen und darf nicht kürzer als 5 Minuten sein. Für die Zugabe von Verzö-

gerern (VZ) zur Verlängerung der Verarbeitbarkeitszeit um mehr als 3 Stunden gilt die DAfStb-Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton).

■ 4 Verarbeitbarkeitszeit

Die Verarbeitbarkeitszeit wird im Wesentlichen von der Witterung und der Betonzusammensetzung bestimmt.

Beton, der in einer Baustellenmischanlage hergestellt wurde (Baustellenbeton), wird zweckmäßig sofort nach dem Mischen verarbeitet. Ist dies in Ausnahmefällen nicht möglich, so muss er bis zum Einbau gegen Witterungseinflüsse (Sonne, Wind, Regen) geschützt werden. Bei trockenem und warmem Wetter sollte Baustellenbeton innerhalb einer halben Stunde, bei kühler und feuchter Witterung innerhalb einer Stunde eingebracht und verdichtet sein.

Transportbeton ist möglichst unmittelbar nach der Anlieferung zu verarbeiten. Weitere Hinweise hierzu enthält das Zementmerkblatt B 6 „Transportbeton“. Bei Zusatz eines verzögernden Zusatzmittels kann der Zeitpunkt des Einbaus entsprechend verschoben werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung des Verzögerers temperaturabhängig ist. Auch das bei Transport und Bereitstellen fortgesetzte Mischen des Betons im Transportbetonfahrzeug kann die Wirksamkeit von verzögernden Zusatzmitteln verkürzen.

Grundsätzlich muss gewährleistet sein, dass der Beton verarbeitet ist, bevor das Erstarren einsetzt.

■ 5 Befördern des Betons

Unter Befördern versteht man den Vorgang des Transports und des Bereitstellens von Beton auf der Baustelle im Zuge der Anlieferung des Frischbetons, zum Beispiel von einem Transportbetonwerk oder von einer benachbarten Baustelle. Der Beton ist während des Beförderns vor schädlichen Witterungseinflüssen (Hitze, Kälte, Niederschlag, Wind) zu schützen.

Frischbeton der Konsistenzklassen F2 (plastisch) bis F6 (sehr fließfähig) darf nur in Fahrmixern und Fahrzeugen mit Rührwerk transportiert werden. Betone steifer oder sehr steifer Konsistenz dürfen auch mit anderen Fahrzeugen, z. B. Muldenkippern, befördert werden. Das Material der Ladeflächen



Bild 3: Vorbildlich ausgestaltete Mischanlage

darf dabei nicht mit dem Beton reagieren (kein Aluminium!). Der Schutz vor schädlichen Witterungseinflüssen ist bei dieser Art des Transports besonders sorgfältig durchzuführen.

Mischfahrzeuge sollten spätestens 90 Minuten, Fahrzeuge ohne Mischeinrichtung spätestens 45 Minuten nach der ersten Wasserzugabe vollständig entladen sein. Diese Zeiten sind entsprechend zu vermindern bzw. zu verlängern, wenn infolge von Witterungseinflüssen mit einem beschleunigten oder verzögerten Erstarren des Betons gerechnet werden muss.

Unmittelbar vor dem Entladen muss der Beton nochmals kräftig durchgemischt werden. Die vereinbarte Konsistenz muss bei der Übergabe vorhanden sein. Die Übergabe ist i. d. R. der Entladezeitpunkt. Es kann aber auch die Ankunft auf der Baustelle als Übergabezeitpunkt vereinbart werden. Zur Überprüfung der Konsistenz müssen die entsprechenden Prüfgeräte (z. B. Ausbreittisch) auf der Baustelle vorhanden sein.

Bei Luftporenbeton kann nach der Lieferung – während des Pumpens, des Einbringens, des Verdichtens usw. – ein Verlust an Luftporen eintreten. Zwischen dem Verfasser der Festlegung, dem Hersteller und dem Verwender sollte deshalb eine Abstimmung darüber erfolgen, zu welchem Zeitpunkt der jeweils erforderliche Luftgehalt vorhanden sein muss, denn hiernach richtet sich der Prüfzeitpunkt. Der Luftporengehalt kann bei unterschiedlichen Lufttemperaturen außerdem mehr oder weniger stark schwanken.

Die nachträgliche Wasserzugabe nach Ende des Hauptmischvorgangs – zum Beispiel in das Mischfahrzeug an der Baustelle – ist nicht erlaubt, es sei denn, sie ist planmäßig vorgesehen und wird entsprechend vorbereitet. Dann gelten die folgenden Bedingungen:

- Die gesamte Wassermenge und die nachträglich zugebbare Wassermenge gemäß der Betonzusammensetzung nach Erstprüfung müssen auf dem Lieferschein angegeben werden.
- Der Fahrmischer muss mit einer geeigneten Dosiereinrichtung ausgestattet sein, damit die vorgeschriebene Dosiergenauigkeit von ± 3 M.-% eingehalten werden kann.
- Die Proben für die Produktionskontrolle des Transportbetonwerks und gegebenenfalls für die Identitätsprüfung der Druckfestigkeit sind nach der letzten Wasserzugabe zu entnehmen.

Falls dem Beton im Fahrmischer auf der Baustelle mehr Wasser oder Zusatzmittel zugegeben wird als nach der Festlegung zulässig ist, sollte die Betoncharge oder -ladung im Lieferschein als „nicht konform“ bezeichnet werden. Derjenige, der diese Zugabe veranlasste, ist auch für die Konsequenzen verantwortlich und sollte deshalb im Lieferschein namentlich vermerkt werden.

■ 6 Fördern des Betons

Das Fördern des Frischbetons beginnt mit der Übergabe des Transportbetons auf der Baustelle, bei Baustellenbeton mit der Entleerung des Mixers. Es endet an der Einbaustelle. Die Frischbetonzusammensetzung und -eigenschaften müssen dem Förderverfahren angepasst sein, damit das Fördern möglichst

leichtgängig und fehlerfrei möglich ist. Der Frischbeton muss so zusammengesetzt sein, dass Entmischungen des Betons beim Fördern zuverlässig verhindert werden. Die Wahl des Förderverfahrens (Krankübel, Pumpe, Förderband, usw.) hängt von den baubetrieblichen Gegebenheiten, wie einzubringender Menge, Förderweite, Förderhöhe, Bauteilabmessungen, Konsistenz und den verfügbaren Geräten, ab.

In Kran- oder Aufzugskübeln kann plastischer oder weicher Beton gefördert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Verschlussklappen der Kübel dicht schließen und kein Zementleim auslaufen kann. Werden fahrbare Behälter, zum Beispiel Karren oder Loren, zum Fördern des Betons eingesetzt, besteht bei langen und unebenen Wegen die Gefahr des Entmischens des Betons, vor allem bei weichen Konsistenzen.

Mit Förderbändern sollte nur plastischer Beton gefördert werden. Bei der Bandförderung von steifen oder weichen Betonen besteht im Abwurfbereich am Bandende die Gefahr des Entmischens. Hier ist es erforderlich, an der oberen Umlenkrolle des Förderbands ein Prallblech zur Rückführung grober Gesteinskörnungen und einen Abstreifer zum Abnehmen des Zementleims vom Band sowie einen Sammler, zum Beispiel ein Fallrohr, anzuordnen. Bei Verwendung langer Bandstraßen muss der Beton gegen Witterungseinflüsse geschützt werden.

Wird Beton durch Pumpen gefördert, sind bestimmte Anforderungen an die Betonzusammensetzung zu stellen. Pumpbeton muss gut zusammenhaltend sein. Er soll kein Wasser absondern und in möglichst gleichmäßiger Konsistenz angeliefert werden. Um möglichst störungsfreies Pumpen zu gewährleisten, sollte die Betonkonsistenz mindestens im plastischen Bereich sein. Etwa ab einem Ausbreitmaß von 40 cm ist Pumpen mit gutem Erfolg möglich. Betonzusatzmittel (BV oder FM) können die Pumpfähigkeit des Betons verbessern. Der Zement sollte ein gutes Wasserrückhaltevermögen besitzen und die Gesteinskörnungen eine möglichst runde oder gedrungene Kornform haben. Kornzusammensetzungen, die im Sandbereich nahe der Sieblinie B liegen, sind im Allgemeinen zur Herstellung pumpfähiger Betone gut geeignet. Auch Betone mit Ausfallkörnungen haben sich als gut pumpfähig erwiesen.

Besonders wichtig im Kornaufbau pumpfähiger Betone ist ein ausreichender Gehalt an Mehlkorn (Zement, ggf. Zusätze und Gesteinskörnung kleiner 0,125 mm). Zusammen mit Wasser und



Bild 4: Fördern des Betons mit dem Kübel



Bild 5: Fördern und Einbringen des Betons mit der Pumpe

feinem Sand bis 0,25 mm ergeben diese Stoffteile einen Leim, der an der Rohrwandung und zwischen groben Gesteinskörnern einen Schmierfilm bildet. Hierzu muss der Leim die Hohlräume zwischen den Gesteinskörnungen ausfüllen und darüber hinaus in einem gewissen Überschuss vorhanden sein. Der Mehlkorngehalt einer pumpbaren Betonzusammensetzung sollte deshalb an der oberen Grenze der Normwerte liegen.

Beim Verlegen der Rohrleitungen zum Pumpen von Beton sind ebenfalls wesentliche Punkte zu beachten. Leichtmetallrohre dürfen nicht verwendet werden. Es sind nur Rohre, Kupplungen und Schläuche zu verwenden, die nicht schadhaft sind. Die Rohrleitung soll nur die nötigen Richtungsänderungen aufweisen. Alle Richtungsänderungen sind durch Bogenstücke mit möglichst großen Bogenradien auszurunden. Sollen Bauteile mit großer Ausdehnung betoniert werden, ist es zweckmäßig, die Rohrleitungen so zu verlegen, dass zunächst über die größte Entfernung gepumpt und die Leitung im Laufe des Betoniervorgangs zurückgebaut wird. Falls am Ende der Pumpleitung keine maschinengeführten Verteilerschläuche angeschlossen sind, ist die Rohrleitung an der Einbaustelle möglichst so hoch zu legen, dass der Beton ohne häufiges Umlegen der Leitung oder Abnehmen von einzelnen Rohren eventuell auch über Rutschen verteilt werden kann.

Bei vertikaler Förderung von Beton in die Höhe sollte die Rohrleitung möglichst senkrecht verlegt werden. Sie ist an der Unterkonstruktion (Gebäude, Gerüst o. ä.) gut zu befestigen, da das Gewicht der aufsteigenden Leitung im Allgemeinen nicht vom waagerechten Leitungsteil am Fußpunkt der Hochförderung aufgenommen werden kann. Bei Förderung in größere Höhen (etwa ab 3. Geschoss im Hochbau) sollte die Steigleitung durch einen Absperrschieber gegen das Rückfließen der Betonsäule

in Pumpspausen gesichert werden. Ist dies nicht möglich, so ist die Entfernung von der Pumpe zur Steigleitung möglichst groß zu wählen, damit dem Druck der Betonsäule eine möglichst große Reibung im waagerechten Teil der Leitung entgegensteht. Der Einbau eines Absperrschiebers bietet den weiteren Vorteil, dass bei einer Verstopfung im Übergangsstück an der Pumpe die Leitung problemlos geöffnet und gereinigt werden kann.

Bei Abwärtsförderung darf die Betonsäule im Förderrohr nicht abreißen, da sich sonst in der Gefälleleitung oder im Krümmer störende Luftpolster bilden können. Um dies zu vermeiden, sind am Ende einer Abwärtsleitung Widerstände in Form von Rohrkümmern (Staubbögen) oder Schiebern einzubauen. Auch durch eine ansteigende Rohrleitung im Anschluss an die Gefälleleitung kann ein Abreißen der Betonsäule vermieden werden. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn sich an die Gefälleleitung keine längere horizontale Leitung anschließt.

Mit modernen Pumpen können große Betonmengen pro Stunde gefördert werden. Das Pumpverfahren ist damit im Allgemeinen das leistungsfähigste Betonförderverfahren.

Bei Zugabe von Fließmittel auf der Baustelle und bei Nachdosierung von Fließmittel ist die Wirksamkeit durch stichprobenartige Bestimmung der Konsistenz vor und nach der Fließmittelzugabe zu kontrollieren und zu dokumentieren.

■ 7 Vorbereiten des Betonierens

Vor Beginn des Betonierens müssen die einzelnen Betonierabschnitte festgelegt werden. Bei schwierigen oder umfangreichen Betoniervorgängen (z. B. durch eng liegende Bewehrung, massive Fundamente, besondere Bauverfahren, hohe Temperaturen) sind die einzelnen Arbeitsschritte in einem Betonierplan darzustellen.

Personal und Anzahl der Geräte müssen auf die Menge des angelieferten Betons abgestimmt sein. Das Größtkorn der Gesteinskörnung ist auf die Bauteilabmessungen, die Stababstände der Betonstähle und die Betondeckung abzustimmen. Beschränkungen sind vom Tragwerksplaner festzulegen und auf dem Bewehrungsplan anzugeben. Sofern der Planer solche Festlegungen nicht getroffen hat, ist auf der Baustelle die letzte Möglichkeit gegeben, das Größtkorn noch rechtzeitig vor der Bestellung des Betons festzulegen.

Schalungsaufbau und Bewehrung müssen so angeordnet sein, dass die Behinderung für das Einbringen des Betons und dessen Verdichtung möglichst gering ist.

Vor dem Einbringen des Betons sind die Schalungen von losen Materialien (Bindedrahtreste, Abstandhalter, Nägel, Holzspäne usw.) zu reinigen und ggf. vorzunässen. Wasseransammlungen nach Reinigungsvorgängen oder nach Regenfällen sind durch Absaugen oder Ausblasen mit ölfreier Druckluft zu entfernen.

■ 8 Einbringen

Der Beton ist so einzubringen und zu verdichten, dass die Bewehrung dicht mit Beton umhüllt wird. Der Beton darf sich beim Einbringen in die Schalung nicht entmischen. Besonders

in Schalungen für vertikale Bauteile (Wände, Stützen) wächst mit der Fallhöhe des Betons die Entmischungsgefahr. Dies gilt vor allem, wenn dichte waagerechte Bewehrung vorhanden ist. Bei Fallhöhen über 2 m (bei Sichtbeton über 1 m) sollte der Beton in jedem Fall durch Fallrohre bzw. Schläuche geführt werden. Diese sind, wie Rutschen oder Verteilerschläuche von Pumpleitungen, bis kurz über die Einbaustelle zu führen. In Wänden sollten durchlaufende Anker und Haken wegen möglicher Behinderungen untereinander angeordnet sein.

Die Bewehrung ist so einzubauen, dass der Beton ordnungsgemäß eingebracht werden kann. Die Anordnung von Einfüllöffnungen und Rüttellücken laut Plan ist besonders bei eng liegender Bewehrung zu berücksichtigen.

Durch möglichst kurze Abstände der Einfüllstellen lässt sich die Bildung von Schütkegeln vermeiden. Unabhängig von der Art des Einbringens ist darauf zu achten, dass Bewehrung, Einbauteile und Schalungsflächen eines später zu betonierenden Abschnitts nicht durch Beton verkrustet oder verunreinigt werden.

Soweit es die Verhältnisse des Bauteils erlauben oder günstig erscheinen lassen, ist der Beton in möglichst gleichmäßig dicker Schicht mit waagerechter Oberfläche zu schütten. Als Richtmaß für die Schütthöhe gelten 50 cm. Die Schütt- bzw. Steiggeschwindigkeit des einzubringenden Betons ist so zu wählen, dass die Schalung den auftretenden Betondruck zu jeder Zeit aufnehmen kann. Bei Verwendung von fließfähigem Beton und selbstverdichtendem Beton (SVB) ist darauf zu achten, dass sich höhere Betondrücke auf die Schalung einstellen können als bei steiferem Beton. Im Zweifel oder wenn abgesicherte Berechnungen nicht vorliegen sollte bei SVB ggf. der volle hydrostatische Frischbetondruck angesetzt oder der Schalungsdruck gemessen werden.

Nach Möglichkeit ist der Betoniervorgang – insbesondere bei Sichtbeton – nicht zu unterbrechen. Wände, Stützen und hohe Unterzüge sind i. d. R. vor den in diese einbindenden Konstruktionsgliedern wie Platten, Balken oder Riegel zu betonieren.

Arbeitsfugen sind so auszubilden, dass alle dort auftretenden Beanspruchungen aufgenommen werden können und ein ausreichender Verbund der Betonschichten sichergestellt ist.

Vor dem Weiterbetonieren sind Verunreinigungen, Zementschlempe und loser Beton zu entfernen und die Arbeitsfugen ausreichend vorzunässen. Zum Zeitpunkt des Anbetonierens muss die Oberfläche des älteren Betons mattfeucht sein, damit sich der Zementleim des neu eingebrachten Betons mit dem älteren Beton gut verbinden kann.

Zur Verbesserung der Verbindung der Betonschichten und zur Sicherstellung der Dichtheit der Fuge empfiehlt es sich, eine Anschlussmischung mit einem erhöhten Zementgehalt und/oder verringertem Größtkorn zu verwenden. Beim Bau von wasserundurchlässigen Betonbauteilen ist in bestimmten Fällen stets eine Anschlussmischung erforderlich.

■ 9 Verdichten

Ein dichtes Gefüge ist die Voraussetzung für guten Beton. Ohne vollständige Verdichtung kann der Beton nicht die zugrunde

gelegten Festbetoneigenschaften erreichen, da bei allen beton-technologischen Regeln und Entwurfsgrundlagen eine nahezu vollständige Frischbetonverdichtung vorausgesetzt wird. Neben der Betonzusammensetzung und der Nachbehandlung ist das Verdichten des Betons der wichtigste Vorgang bei der Herstellung von Betonbauteilen. Aus diesem Grunde sollte hierfür nur eingewiesenes und zuverlässiges Personal eingesetzt werden. Wie alle anderen Abläufe bei der Herstellung eines Betonbauteils gehört insbesondere das Verdichten zu den Arbeiten, die in jedem Fall die ständige Betreuung und Überwachung durch eine qualifizierte Aufsicht erfordern. Die Verdichtung muss möglichst vollständig und besonders sorgfältig in den Ecken, längs der Schalung, in engen, filigranen Bereichen, bei Einbauteilen, Fugeneinlagen und Bewehrungsanschlüssen erfolgen.

Besondere Sorgfalt ist dort geboten, wo eine hohe Bewehrungsdichte oder eine komplizierte Schalungsgeometrie vorhanden ist. Hier besteht die Gefahr, dass Zwischenräume und Eck- oder Unterschneidungsbereiche nicht vollkommen mit Beton ausgefüllt werden und das fertige Bauteil Fehlstellen und Mängel aufweist. Unter Umständen empfiehlt sich ein Nachverdichten des Betons.

Beim Verdichten von hochfestem Beton ist zu beachten, dass gegenüber Normalbeton gleicher Konsistenz ein erhöhter Verdichtungsaufwand erforderlich ist.

Die Betontechnik hat im Laufe ihrer Entwicklung eine ganze Reihe von Verdichtungsverfahren hervorgebracht, die sich je nach Stand der Technik und Verfahrenszielen unterscheiden. Zu nennen sind:

- Rütteln,
- Stochern, Stampfen,
- Klopfen an der Schalung,
- Walzen.

Im Betonbau hat sich das Rütteln als maßgebendes und hauptsächlich verwendetes Verfahren zur Verdichtung von Frischbeton durchgesetzt.

Unter Rütteln versteht man das Einleiten hochfrequenter Vibrationen in den frischen Beton. Durch die eingeleitete Vibrationsenergie wird die Fließfähigkeit des Frischbetons erhöht, so dass Lufteinschlüsse rasch zur Oberfläche steigen und dort austreten können. Man unterscheidet Innen-, Oberflächen- und Schalungsrüttler (Außenrüttler).

In Abhängigkeit von der Konsistenz des Betons werden die folgenden Verdichtungsarten angewendet:

- steifer Beton: Oberflächenrüttler, Stampfer, Schalungsrüttler – zum Teil zugleich unter Anwendung von Auflasten,
- plastischer Beton: Innenrüttler, Schalungsrüttler,
- weicher Beton: Innenrüttler, Schalungsrüttler, Schalungsklopfer,
- Fließbeton: leichtes Rütteln, Stochern.

Ortbeton wird überwiegend mit Innenrüttlern verdichtet. Bei Bauteilen, an denen der Schalungsraum unzugänglich ist (Tunnelschalungen), wird mit Schalungsrüttlern (Außenrüttlern) verdichtet. Bei Verwendung von Außenrüttlern muss die Schalung entsprechend stabil und zur Weiterleitung der Schwin-

gungsenergie geeignet sein, so dass hierzu fast ausschließlich Stahlschalungen eingesetzt werden.

Beim Verdichten mit Innenrüttlern ist die Rüttelflasche rasch bis in den darunter liegenden, bereits verdichteten Beton einzuführen (Vernähen bzw. Vernadeln der Schichten) und langsam herausziehen, wobei sich die Oberfläche des Betons schließen muss.

Die sichtbaren Wirkungsbereiche der Rüttelstellen müssen überlappen. Bei dieser Arbeitsweise wird die im Frischbeton eingeschlossene Luft zur Oberfläche „geführt“ und kann dort entweichen. Praktisch vollständig verdichteter Beton ist dann erreicht,

- wenn sich der Beton nicht mehr setzt,
- die Betonoberfläche mit Feinmörtel geschlossen ist
- und keine größeren Luftblasen mehr aufsteigen.

Der Luftgehalt im Beton beträgt dann noch etwa 1-2 Vol.-% und lässt sich unter Baustellenbedingungen nicht mehr weiter reduzieren.

Beim Einbau in Lagen darf das Betonieren nur so lange unterbrochen werden, bis die zuletzt eingebrachte Betonschicht noch nicht erstarrt ist, so dass noch eine gute und gleichmäßige Verbindung zwischen beiden Betonschichten möglich ist. Die Rüttelflasche muss noch in die untere, bereits verdichtete Schicht eindringen können.

Schließt sich die Oberfläche des Betons nach Herausziehen des Rüttlers nicht mehr,

- war entweder die Rütteldauer nicht ausreichend,
- ist die Konsistenz für den verwendeten Rüttler zu steif oder
- das Erstarren des Betons hat bereits begonnen.

Beton soll in der Schalung nicht durch Innenrüttler verteilt oder gefördert werden; eine Ausnahme ist die Unterfüllung von Einbauten (Bild 6). Eine Alternative für solche Fälle ist die Verwendung von leicht verarbeitbaren Betonen (Konsistenz F5, F6) oder selbstverdichtendem Beton.

Leicht verarbeitbare Betone haben generell den Vorteil, dass sich der notwendige Verdichtungsaufwand je nach Konsistenz deutlich verringern kann. Eine prinzipielle Darstellung des notwendigen Verdichtungsaufwands zeigt Bild 7.

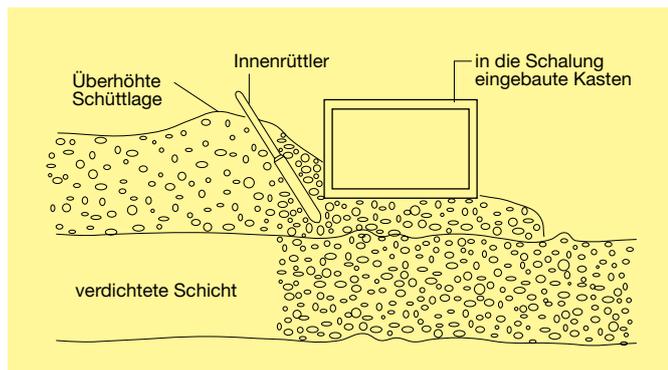


Bild 6: Sattes Unterfüllen von Einbauten durch einseitiges Anschütten und Rütteln mit später folgendem Nachrütteln

F1	F2	F3	F4	F5	F6	SVB
Stampfen	starkes Verdichten	normales Verdichten	wenig Verdichten	leichtes Verdichten (Stochern, Klopfen)	leichtes Verdichten (Schwabbeln)	kein Verdichten
Verdichtungsaufwand						

Bild 7: Verdichtungsaufwand in Abhängigkeit von der Konsistenz des Betons

Weitere Betone, die nach besonderen Herstell- und Verdichtungsverfahren bezeichnet werden, sind z. B. Spritzbeton, Vakuumbeton und Walzbeton.

Für untergeordnete Bauteile, an deren Güte keine hohen Anforderungen gestellt werden und für die steifer Beton gewählt wird – zum Beispiel kleinere Streifenfundamente –, kann der Beton durch Stampfen verdichtet werden.

■ 10 Nachverdichten

Das Nachverdichten des Betons ist eine zusätzliche Maßnahme zur Steigerung oder Sicherung der geplanten Qualitätseigenschaften. Je nach Erstarrungsbeginn kann es nach einer Stunde und später erfolgen. Das Nachverdichten ist aber auf jeden Fall innerhalb eines Zeitraums durchzuführen, in dem der Beton noch verformbar ist. Dies ist zum Beispiel am bereits genannten Zusammenfließen (Schließen der Oberfläche) des Betons beim Herausziehen des Rüttlers erkennbar. Durch Nachrütteln werden Hohlräume, die sich unter waagerechten Bewehrungsstäben oder Aussparungen gebildet haben, geschlossen. Wasser- oder Lufteinschlüsse unter groben Gesteinskörnern, im Grenzbereich zwischen Frischbeton und Schalung oder in Unterschneidungsbereichen der Schalung, werden mobilisiert und ausgetrieben. So wird eine weitere Verdichtung des Betongefüges erreicht und die Bildung von Fehlstellen sowie die Rissneigung werden verringert.

Vor allem schlanke, hohe und schnell betonierete Bauteile (z. B. Stützen und Wände) sollten im oberen Bereich nachverdichtet werden.

Das Nachverdichten waagerechter Betonflächen kann auch durch Verfahren der Oberflächenbearbeitung (Flügel- oder Scheibenglätter) erfolgen. Die Gefahr von Frühschwindrissen lässt sich auf diese Weise vermindern.

■ 11 Betonieren bei kühler Witterung und bei Frost

Bei kühler Witterung tritt eine Verzögerung des Erstarrens und der Festigkeitsentwicklung des Betons ein. Beton benötigt bei 5 °C Lagertemperatur etwa die doppelte Zeit, um die gleiche Festigkeit zu erreichen, wie ein bei 20 °C gelagerter Beton (Tafel 1).

Bei Betontemperaturen nahe dem Gefrierpunkt kommt die Festigkeitsentwicklung praktisch zum Stillstand. Gefriert junger Beton, kann das Betongefüge gestört und dauerhaft geschädigt werden. Nach Erreichen einer bestimmten Reife ist junger Beton

Tafel 1: Erforderliche Erhärungszeit zum Erreichen des ausreichenden Gefrierstands von Beton (RILEM-Richtlinie)

Zementfestigkeitsklasse	Erforderliche Erhärungszeit in Tagen zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit eines Betons mit w/z-Wert 0,60		
	Betontemperatur		
	5 °C	12 °C	20 °C
45,5 R	¾	½	½
42,5 N, 32,5 R	2	1 ½	1
32,5 N	5	3 ½	2

in der Lage, ein einmaliges Durchfrieren ohne dauerhafte Gefügeschäden zu überstehen. Dies ist durch die entsprechende Betonzusammensetzung und den im Zuge der Nachbehandlung zu gewährenden Schutz vor niedrigen Temperaturen zu gewährleisten. Ein schadloses einmaliges Durchfrieren von jungem Beton ist möglich,

- wenn der Beton beim Einbau und für mindestens drei weitere Tage eine Temperatur von +10 °C nicht unterschreitet oder
- in einer Erhärungsprüfung eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² nachgewiesen wurde.

So erhärteter Beton entwickelt seine Festigkeit nach Durchfrieren und Auftauen normal weiter, wenn die erforderliche Nachbehandlung sachgerecht durchgeführt wird.

Wirksame Maßnahmen für das Betonieren im Winter sind:

- Verwendung von Zementen mit schneller Festigkeits- und hoher Wärmeentwicklung,
- Erhöhung des Zementgehalts,
- Verzicht auf Zusatzstoffe als Zementersatz,
- Herabsetzung des Wasserzementwerts,
- kurze Fahrzeit vom Transportbetonwerk zur Baustelle,
- Vermeidung langer Wartezeiten auf der Baustelle und
- Verwendung von Warmbeton.

Auch Zusatzmittel können das Verhalten des Betons bei niedrigen Temperaturen positiv beeinflussen. Betonverflüssiger setzen durch die Verminderung des Wasseranspruchs bei gleich bleibender Verarbeitbarkeit den Wasserzementwert herab. Beschleuniger sollten nur im Ausnahmefall und nach Rücksprache mit einem erfahrenen Betontechnologen zur Anwendung kommen. Luftporenbildner erhöhen zwar den Widerstand gegen Frost- und Tausalzangriff im Festbeton, sie verbessern hingegen nicht das Gefrierverhalten des jungen Betons. Verzögerer sollten in der Regel nicht verwendet werden.

Die erforderlichen Mindesttemperaturen des Frischbetons sind in Tafel 2 aufgeführt. Bei Lufttemperaturen ≤ 5 °C muss bei Beton

Tafel 2: Mindesttemperatur des Frischbetons

Lufttemperatur	Mindesttemperatur des Frischbetons
+5 °C bis -3 °C	+5 °C allgemein
	+10 °C bei Zementgehalt kleiner 240 kg/m ³ und bei NW-Zementen
kleiner -3 °C	+10 °C diese Temperatur soll wenigstens 3 Tage gehalten werden

der Überwachungsklassen 2 und 3 die Frischbetontemperatur gemessen und im Bautagebuch aufgezeichnet werden.

Wenn der frische Beton oder Teile seiner Ausgangsstoffe in der kühlen Jahreszeit beheizt werden, ist darauf zu achten, dass die Frischbetontemperatur + 30 °C nicht überschreitet. Gerüste, Schalungen und andere stützende Bauhilfsmaßnahmen dürfen erst entfernt werden, wenn der Beton eine ausreichende Festigkeit hat. Bei kühler Witterung und Frost kann das wesentlich länger dauern als bei Normalbedingungen (vgl. Tafel 1). Im Zweifel sind Erhärungs- oder Reifegradprüfungen durchzuführen.

Die Temperatur des Frischbetons kann einfach und wirtschaftlich durch Erwärmen des Zugabewassers erhöht werden. Zugabewasser mit einer Temperatur von mehr als 70 °C ist zuerst mit der Gesteinskörnung zu mischen, bevor der Zement zugegeben wird. Damit wird ein verfrühtes Ansteifen des Betons vermieden. Die Frischbetontemperatur lässt sich auch durch das Anwärmen der Gesteinskörnungen steigern. Die sich einstellende Frischbetontemperatur kann bei einem Zementgehalt von ca. 300 kg je m³ Beton mit der nachfolgenden Näherungsformel ermittelt werden:

$$T_{bo} = 0,1 \cdot T_z + 0,2 \cdot T_w + 0,7 \cdot T_g \text{ [}^\circ\text{C]}$$

T_{bo} = Frischbetontemperatur

T_z = Zementtemperatur

T_w = Wassertemperatur

T_g = Temperatur der Gesteinskörnungen

Gefrorene Gesteinskörnungen dürfen bei der Betonherstellung nicht verwendet werden. Schalung und Bewehrung müssen frei von Schnee und Eis sein. Auf gefrorenen Baugrund darf nicht betoniert werden, ebenfalls nicht an gefrorene Bauteile oder Bodenbereiche. Durch Frost geschädigter Beton ist vor dem Weiterbetonieren zu entfernen. Nach dem Einbau ist ein guter Wärmeschutz des jungen Betons notwendig, um den Wärmeabfluss möglichst gering und die Erhärungstemperaturen auf dem normgerechten Niveau zu halten. Die erforderlichen Schutzmaßnahmen sind rechtzeitig vorzubereiten und für den notwendigen Zeitraum in vollem Umfang zu erhalten. Sie richten sich insbesondere nach den Witterungsbedingungen, der Art und den Abmessungen der Bauteile sowie der Schalung.

Die Nachbehandlung mit Wasser ist bei Frost nicht erlaubt. In kurzen Frostperioden können wärmedämmende Abdeckungen (wie Brettschalung, trockene Stroh- und Schilfmatten, Leichtbauplatten und Kunststoffmatten) ausreichend sein. Die Abdeckung wird zweckmäßig beidseitig mit Folie vor Durchfeuchtung geschützt. Folienkaschierte Kunststoffmatten sind sehr gut geeignet und einfach zu handhaben. Bei strengem Frost und während längerer Frostperioden muss die den Frischbeton umgebende Luftschicht erwärmt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Betonoberfläche nicht austrocknet. Dies kann durch Einhausung des umgebenden Bereichs (z. B. durch Arbeitszelte) erreicht werden.

Zur Nachbehandlung siehe auch Zement-Merkblatt B 8 „Nachbehandlung von Beton“.

Sollte ein planmäßiger Winterbau durchgeführt werden, ist das DBV-Merkblatt „Betonieren im Winter“ zu beachten.

■ 12 Betonieren bei heißer Witterung

Steigt bei heißer Witterung die Temperatur des Frischbetons auf Werte zwischen 25 °C und 30 °C an, verringert sich die Konsistenz und der Beton steift rascher an. Bei Transportbeton ist ein entsprechendes Vorhaltemaß für den Transport zu berücksichtigen. Bei hohen Temperaturen ist vor allem die Bereitstellung der geforderten Konsistenz über den für den Einbau des Betons erforderlichen Zeitraum erschwert und erfordert erhöhte Sorgfalt und Aufmerksamkeit. Deshalb ist eine niedrigere Frischbetontemperatur anzustreben und nach Möglichkeit ein Zement mit niedriger Hydratationswärme und langsamer Festigkeitsentwicklung zu verwenden.

Bei heißer Witterung darf die Frischbetontemperatur bei der Übergabe 30 °C nicht überschreiten, sofern nicht durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind. Da viele Zusatzmittel ihre Wirkung bei höheren Temperaturen verändern, müssen die erforderlichen Erstprüfungen insbesondere bei der Verwendung von Erstarrungsverzögerern mit den erwarteten Maximal- und Minimaltemperaturen durchgeführt werden.

Bei Verwendung von Transportbeton sind lange Misch- und Übergabezeiten zu vermeiden und gegebenenfalls Maßnahmen für die Kühlung der Fahrzeuge vorzusehen (z. B. Berieselungsanlagen).

Sinnvoll ist auch die Verlegung der Betonage in kühlere Zeiten (morgens, abends, nachts). In Sonderfällen kann flüssiger Stickstoff oder Scherbeneis zur Kühlung des Betons eingesetzt werden.

Bei hohen Temperaturen besteht die Gefahr, dass frische Betonflächen schnell austrocknen. Die Verdunstung wird beson-

ders bei windigem Wetter noch verstärkt. Um einer möglichen Schädigung der freien Betonflächen frischer und junger Bauteile durch Rissbildung und Feuchtigkeitsverlust zu begegnen, muss der Beton sofort nach der Herstellung bzw. nach dem Ausschalen in geeigneter Form nachbehandelt werden. Der kritische Zeitbereich für die Entstehung von Fröhschwindrisen beginnt oft bereits eine Stunde nach dem Herstellen und kann weitere 4 bis 16 Stunden andauern. Beim Herstellen von Beton der Überwachungsklasse 2 und 3 ist bei Lufttemperaturen über 30 °C die Frischbetontemperatur im Bautagebuch zu dokumentieren.

■ Normen, Richtlinien, Merkblätter

DIN EN 206-1	Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN 1045-2	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DIN 1045-3	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung
DIN Fachbericht 100	Beton – Zusammenstellung von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2
DIN 18 218	Frischbetondruck auf lotrechte Schallungen
DAfStb-Richtlinie	Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)
DAfStb-Richtlinie	Selbstverdichtender Beton
DAfStb-Richtlinie	für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton).
DBV-Merkblatt	Betonieren im Winter
DBV-Merkblatt	Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Regionale Ansprechpartner	www.beton.org
BetonMarketing Nord GmbH Anderter Straße 99D, 30559 Hannover, Tel.: 0511 554707-0, Fax: 0511 554707-15, hannover@betonmarketing.de	
BetonMarketing Ost GmbH Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de	
BetonMarketing Süd GmbH Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de Büro München: Rosenheimer Straße 145 g, 81671 München, Tel.: 089 450984-0, Fax: 089 450984-45, muenchen@betonmarketing.de Büro Wiesbaden: Friedrich-Bergius-Straße 7, 65203 Wiesbaden, Tel.: 0611 261066, Fax: 0611 261068, wiesbaden@betonmarketing.de	
BetonMarketing West GmbH Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, bmwest@betonmarketing.de	
Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf	www.vdz-online.de
Verfasser: Dipl.-Ing. Rolf Kampen, BetonMarketing West	