



Während beim üblichen Verarbeiten von Beton alle Voraussetzungen zum Erreichen einer guten Qualität gegeben sind, die Arbeiten kontrolliert und eventuelle Fehler unmittelbar korrigiert werden können, kann dies beim Unterwasserbeton mit Schwierigkeiten verbunden sein. Trotzdem hat der Unterwasserbeton in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen, und die Einbauverfahren sind ständig weiterentwickelt worden. Unterwasserbeton bietet sich überall dort an, wo die Trockenlegung von Baugruben aus technischen und/oder wirtschaftlichen Erwägungen unvorteilhaft ist.

Bei einer gespundeten Baugrube kann z.B. eine Sohle aus Unterwasserbeton folgende Funktionen ausüben:

- Widerstand gegen aufwärts gerichteten Wasserdruck bei leergepumpter Grube
- Wasserundurchlässiger Bodenabschluß, so daß im Trockenem gebaut werden kann
- Seitliche Aussteifung der Grubenwand
- Übertragung der anfallenden Lasten auf Rammpfähle bzw. den Untergrund

Daneben hat Unterwasserbeton eine große Bedeutung beim Schutz von Kanalsohlen und bei Uferbefestigungen mit Deckwerken aus Schüttsteinen.

Wenn Unterwasserbeton für tragende Bauteile eingesetzt werden soll, muß er den Anforderungen der DIN 1045 genügen.

Dort wird Unterwasserbeton als „Beton mit besonderen Eigenschaften“ eingestuft. Dies bedeutet, daß er unter den Bedingungen für Beton B II hergestellt und verarbeitet werden muß. Mit Unterwasserbeton lassen sich sowohl übliche Festigkeiten als auch Wasserundurchlässigkeit und hoher Widerstand gegen chemische Angriffe erzielen. Diese Eigenschaften werden jedoch nur dann erreicht, wenn es dem Ausführenden gelingt, den Beton unter Wasser entmischungsfrei einzubauen.

Die Herstellung des Unterwasserbetons, der oft als Transportbeton angeliefert wird, unterscheidet sich nicht von Beton, der über Wasser eingebaut wird.

1 Rückblick und Einteilung der Verfahren

Vor der Entwicklung moderner Techniken des Unterwasserbetons wurde Trockenbeton in durchlässigen Säcken versenkt. Auf diese Art und Weise erhielt man wohl punktuell einen guten Beton, aber im allgemeinen nicht die gewünschten Bauteileigenschaften. Zu Anfang dieses Jahrhunderts wurden Einbauverfahren entwickelt, die das Einbringen von frischem Beton unter Wasser ohne Entmischung gestatteten. Bereits in den 30er Jahren gab es schon mehrere erprobte Verfahren, die auch heutzutage noch eingesetzt werden. Sie lassen sich in zwei Gruppen einordnen:

- Unterwasserschüttung: Einbau von fertiggemischtem Beton unter Wasser
- Ausgußbeton: Unter Wasser entstehender Beton (Ausguß eines Gesteingerüsts mit Zementmörtel)

Bei allen Verfahren geht es darum, Entmischungen des Betons oder Mörtels beim Einbringen zu vermeiden. Dies bedeutet, daß Beton oder Mörtel i.a. erst dann mit dem Wasser in Berührung kommen darf, wenn er seine endgültige Lage erreicht hat.

2. Betonzusammensetzung

2.1 Beton für Unterwasserschüttung

Beton, der unter Wasser geschüttet wird, muß beim Einbau als zusammenhängende Masse fließen, damit er ohne Verdichtung ein geschlossenes Gefüge bekommt. Für tragende Bauteile sind nach DIN 1045 bei Unterwasserbeton folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Herstellung und Verarbeitung als Beton B II
- Wasserzementwert $\leq 0,60$
- Zementgehalt $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ bei Größtkorn 32 mm
- Mehlkorn- und Feinstsandgehalt rd. 400 kg/m^3 bei Größtkorn 32 mm
- Stetige Sieblinie (Bereich 3)
- Ausbreitmaß 45 bis 50 cm oder Fließbeton (empfehlenswert $a \leq 55 \text{ cm}$)

Ein so zusammengesetzter Beton ist gut zusammenhängend, fließfähig, pumpbar, schwer entmischbar und im erhärteten Zustand wasserundurchlässig. Das Verdichten eines solchen Betons ist nicht nur überflüssig, sondern im oberflächennahen Bereich wegen einer möglichen Verwässerung sogar schädlich.

Im allgemeinen werden für den Beton Zemente der Festigkeitsklasse $\leq 42,5 \text{ R}$ verwendet. Die spezielle Auswahl erfolgt entsprechend den Anforderungen der Baustelle. Falls das Wasser einen Sulfatgehalt über 600 mg/l hat, ist, außer bei Meerwasser, ein HS-Zement zu wählen. Bei dicken Bauteilen ist es aus Gründen der Wärmeentwicklung zweckmäßig, Zement mit niedriger Hydratationswärme (NW) einzusetzen.

Auf den Mindestzementgehalt von 350 kg/m^3 darf ein Flugaschegehalt bis zu 20 M.-% angerechnet werden, wenn Portland-, Portlandhütten-, Portlandölschiefer-, Portlandkalkstein- oder Hochofenzement mit weniger als 70 M.-% Hüttensand verwendet wird. Der Wasserzementwert darf in diesem Fall höchstens 0,70 betragen.

Eine Neuentwicklung ist der sogenannte erosionsfeste Beton, der sich dadurch von den üblichen Unterwasserbetonen unterscheidet, daß er ungeschützt durch Wasser fallen kann, ohne sich zu entmischen.

2.2 Mörtel für Ausgußbeton

Um alle Zwickel eines vorher eingebrachten Gesteingerüsts ausfüllen zu können, muß der Mörtel sehr beweglich und zusammenhängend sein. Beim Durchströmen des Steinhauferks besteht die Gefahr der Verwässerung des Mörtels. Deshalb muß der Wasserzementwert des Injektionsmörtels niedriger angesetzt werden als beim Beton für Unterwasserschüttung, und zwar für die Herstellung von wasserundurchlässigen Bauteilen mit 0,45 bis 0,55.

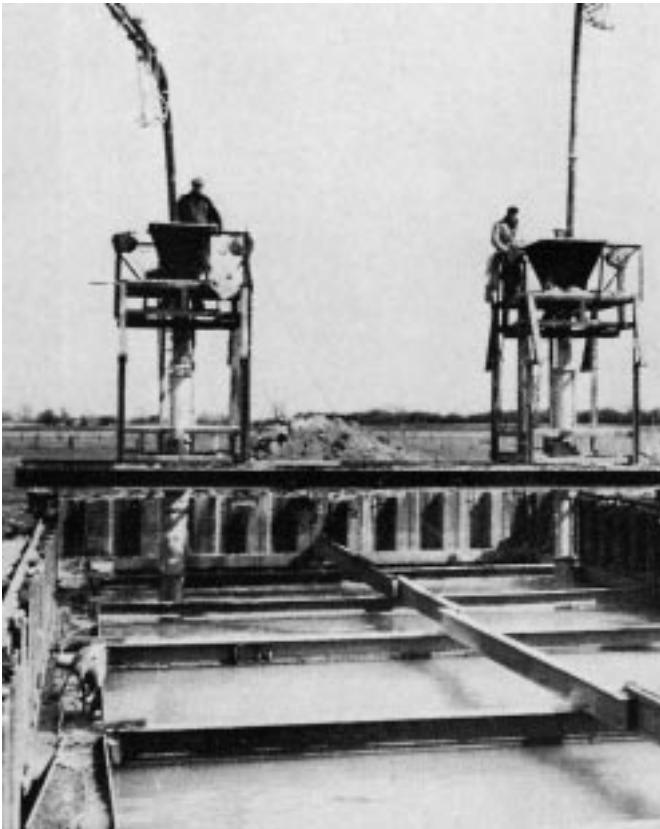


Bild 1: Contractor-Verfahren

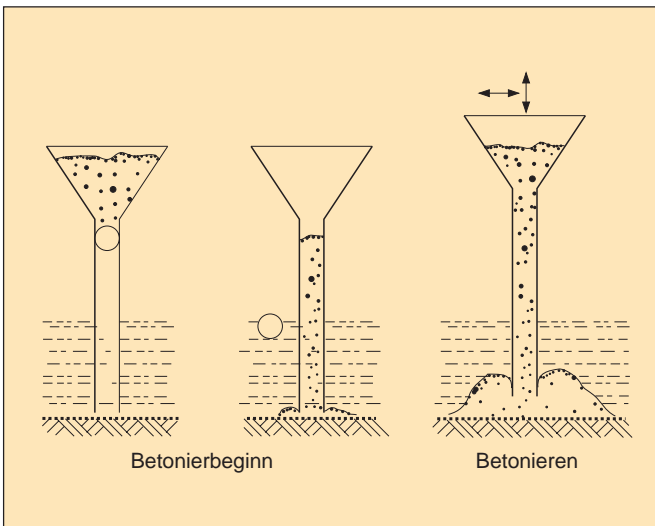


Bild 2: Contractor-Verfahren (Schema) [2]

Nach der Zusammensetzung des Mörtels werden zwei Verfahren unterschieden:

Prepakt-Verfahren

Dieses 1947 von dem Amerikaner Wertz entwickelte Verfahren wurde in den 60er und 70er Jahren in der Bundesrepublik Deutschland häufig angewendet, z.B. für Brückenpfeiler, Schleusensohlen, Kaimauern, Kläranlagen, Dükerummantelungen.

Colcrete- und Tectocrete-Verfahren

Das 1930 von den Ingenieuren Morgan, Pickersgill und Gammon in Zusammenarbeit mit der physikalischen Forschungsanstalt Teddington in England entwickelte Verfahren wird bei uns unter den Namen Colcrete- und Tectocrete-Verfahren angewendet.

Während beim Prepakt-Verfahren Zement, Sand und Wasser sowie ein verflüssigendes und treibendes Zusatzmittel verwendet werden, wird der Colcrete- bzw. Tectocrete-Mörtel dadurch erzeugt, daß in einem Spezialmischer der Zementleim zunächst hochtourig vorgemischt und in einer zweiten Phase mit Sand versetzt wird. Durch diese Zwei-Stufen-Mischung entsteht ein stabiler Mörtel mit günstigen Fließeigenschaften.

Die verwendeten Sande haben in der Regel einen stetigen Aufbau mit einem Größtkorn von 2 mm beim Prepakt-Mörtel, sowie 4 mm beim Colcrete- und Tectocrete-Mörtel.

Damit auch das größte Sandkorn leicht durch die Hohlräume des Gesteingerüsts hindurchgehen kann, soll es nicht größer als 1/10 des Kleinstkorns des Haufwerks sein. Die Abmessungen des Gesteingerüsts sind so groß wie möglich zu wählen. Durch eine gezielte Auswahl von Kies und Schotter sowie größeren Steinen kann der Hohlraum im Haufwerk trotzdem relativ klein gehalten werden. Er beträgt im allgemeinen rund 40 Vol.-%.

Für beide Verfahren gilt ein Mischungsverhältnis nach Gewicht Zement zu Sand von 1:1 bis 1:2. Dies bedeutet – unter Berücksichtigung des Hohlraumes in dem zu injizierenden Gesteingerüst – einen Zementgehalt von 280 bis 350 kg/m³ im fertigen Unterwasserbeton.

3 Qualitätssicherung

Bei Beton für Unterwasserschüttung können sich Eignungs- und Güteprüfungen im wesentlichen auf die Einhaltung der besprochenen Anforderungen und auf übliche Prüfungen an gesondert hergestellten Probekörpern beschränken. Diese Prüfungen unterscheiden sich nicht von denen für Beton B II, der über Wasser eingebaut wird.

Bei Kontrollprüfungen sind Bohrkern aus dem fertigen Bauteil zu entnehmen und das Gefüge, die Druckfestigkeit und die Wasserundurchlässigkeit zu prüfen.

Bei den Injizierverfahren erstrecken sich die Eignungsprüfungen auf den Mörtel, auf das Korngerüst und auf Injektionsversuche. Die Fließfähigkeit des Mörtels kann mit Hilfe eines Auslauftrichters festgestellt werden. Prüfungen am Festbeton können nur an Bohrkernen vorgenommen werden.

Die Häufigkeit der Prüfungen ist zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu vereinbaren.

4 Einbauverfahren für fertiggemischten Beton

Contractor-Verfahren

Bei diesem 1911 erstmalig durch die schwedische Bauunternehmung Contractor angewendeten Verfahren wird Beton durch senkrechte Rohre geschüttet. Das untere Rohrende muß immer ausreichend tief im schon ausgelaufenen Beton stecken, um ein Ausspülen und damit ein Entmischen zu vermeiden.

Die Einbaurohre haben in der Regel einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser von 200 bis 300 mm. Im allgemeinen sind die Schüttröhre an einer Übergabekonstruktion mit Trichter aufgehängt (Bild 1).

Es gibt drei Rohrsysteme. Die einfachste Form ist das starre Rohr, das nach dem Hochziehen über die Übergabekonstruktion hinausragt. Ferner gibt es das gegliederte Rohr, das beim Hochziehen jeweils um ein Glied gekürzt wird, sowie das Teleskoprohr, dessen Rohrteile ineinander geschoben werden.

Bild 2 zeigt die Arbeitsweise beim Contractor-Verfahren. Damit der Beton bei Betonierbeginn im Rohr nicht mit Wasser in Berührung kommt, wird vorher ein Gummiball in das Rohr gesteckt. Wenn der Betonvorrat im Trichter ausreicht, um das ganze Schüttröhre zu füllen, wird der Gummiball gelöst. Der Ball treibt unter dem Betondruck das Wasser aus dem Rohr und ent-

weicht aus dem Rohrende zur Wasseroberfläche. Durch vorsichtiges Anheben kann der Beton aus dem Rohr an der Grubensohle austreten. Anschließend sollte die Eintauchtiefe des Schüttrohres im schon eingebrachten Beton möglichst rund 1 m betragen. Hieraus ergibt sich, daß dieses Verfahren nur für das Betonieren von dicken horizontalen Bauteilen oder von vertikalen Bauteilen, wie Großbohrpfählen oder Schlitzwänden, geeignet ist.

Eine wesentliche Änderung und Verbesserung für die allgemeine Anwendung des Contractor-Verfahrens stellt der Hop-Dobber dar. Dieses Schwimmsystem wurde 1980 vom niederländischen Ingenieur Hop entwickelt [4]. Der Dobber (Schwimmer) besteht aus einem Schüttrohr aus Stahl mit einem am unteren Ende angeflanschten Kragen (Bild 3). Der Rohrdurchmesser variiert von Bauvorhaben zu Bauvorhaben und ist abhängig von der Einbautiefe, dem Größtkorn im Beton und der Einbaugeschwindigkeit. Üblicherweise beträgt er 350 mm. Der Durchmesser des runden oder achteckigen Kragens liegt im allgemeinen bei rund 1600 mm.

Durch einen Hohlkörper rings um das Schüttrohr wird ein Schwimmeffekt erzeugt. Der Hohlkörper ist so dimensioniert, daß ein geringer, abwärts gerichteter Druck vorhanden bleibt. Dadurch verbleibt der Kragen einige Zentimeter in dem bereits eingebauten Beton, Wassereinschlüsse und Betonausspülungen werden vermieden. Beim hydraulischen Gleichgewicht zwischen äußerer Wassersäule und dem Beton im Schüttrohr kann der Beton nicht vollständig aus dem Dobber entweichen. In der Praxis hat sich gezeigt, daß mehr als die Hälfte der Wasserhöhe an Beton im Rohr vorhanden sein muß, damit er am Rohrende austreten kann. Dadurch ist der Schüttvorgang gut regulierbar. Der Dobber wird von einer Traverse aus gesteuert, die über Schienen neben der Baugrube verfahrbar ist. An dieser Traverse ist ein Einbringtrichter mit Stahlrohr montiert. Dieses Stahlrohr paßt so in das Schüttrohr des Dobbers, daß dieses sich in der senkrechten Richtung frei bewegen läßt (Bild 4).

Zu Beginn des Betonierens wird der Dobber bis auf rund 10 cm über Boden oder Oberkante Bewehrung heruntergelassen. Zur Trennung zwischen Wasser und erstem Beton im Rohr dienen wie beim Contractor-Rohr ein oder mehrere Gummibälle. Wenn das Wasser aus dem Dobber ausgetrieben ist, schwimmt der Dobber auf dem Beton. Diese Situation wird beibehalten, bis das endgültige obere Niveau des Bauteils erreicht ist. Dies wird mittels Eichstrich am Trichterrohr kontrolliert. Wenn das obere Ende des Schüttrohres diese Marke erreicht hat, ist die Niveauhöhe vorhanden. Danach werden Einbautrichter und Dobber auf der Traverse versetzt. Nachdem eine komplette Breite betoniert ist, wird die Traverse verfahren und der nächste Streifen kann betoniert werden.



Bild 4: Hop-Dobber im Einsatz

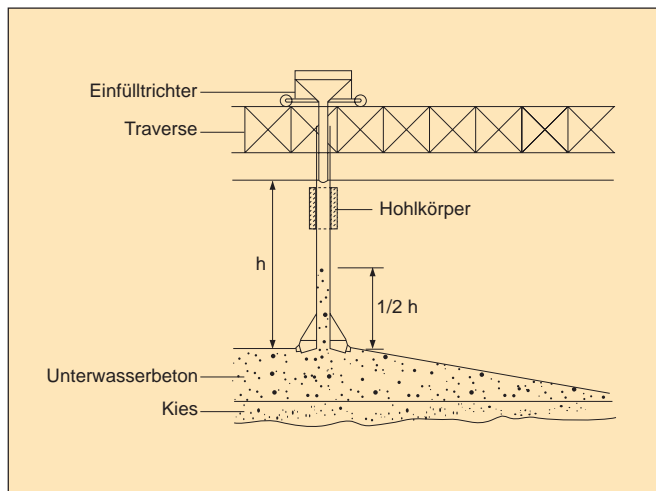


Bild 3: Hop-Dobber (Schema)

Pumpverfahren

Das Pumpverfahren ist eine Variante des Contractor-Verfahrens, bei der der Beton mit Betonpumpe und Ausleger eingebracht wird. Am Ende des Verteilerschlauchs ist häufig ein Schüttrohr angeflanscht, dessen Länge mindestens der Wassertiefe entsprechen muß (Bild 5). Wie beim Contractor-Verfahren soll das Rohr rund 1 m in den Beton hineinreichen. Mit einem einfachen Peilstab mit aufgeschweißter Platte am Fuß kann die Betondicke kontrolliert werden, wenn vorher über Wasser das Niveau festgelegt wurde. Anhand dieses Niveaus kann auch gemessen werden, wie tief das Schüttrohr im Beton steckt. Die gewünschten Bewegungen des Rohres können mit dem Pumpenausleger durchgeführt werden. Dieses Verfahren kann für die Herstellung von Bauteilen aller Art dienen. Es ermöglicht eine stetige Betonförderung. Weil der Beton bei diesem Verfahren stets in die eingebaute Schicht hineingedrückt wird und kaum mit Wasser in Berührung kommt, tritt praktisch keine Qualitätseinbuße durch Entmischung ein.

Diese Art des Betoneinbaus wurde u.a. für die Baugrubenabdichtung im Zuge des Erweiterungsbaus einer Kläranlage gewählt (Bild 6). Durch den hohen Grundwasserstand war es erforderlich, die Sohle der Baugrube des Nachklärbeckens mit Beton abzudichten, um später nach Abpumpen des Wassers im Trockenem weiterbauen zu können und um ein Aufschwimmen des Klärbeckens zu vermeiden.

Zunächst wurde von der bauausführenden Firma inmitten der eigentlichen Baugrube eine kleinere Grube für die Aufnahme des Schlammtrichters abgespundet und ausgehoben. In diese

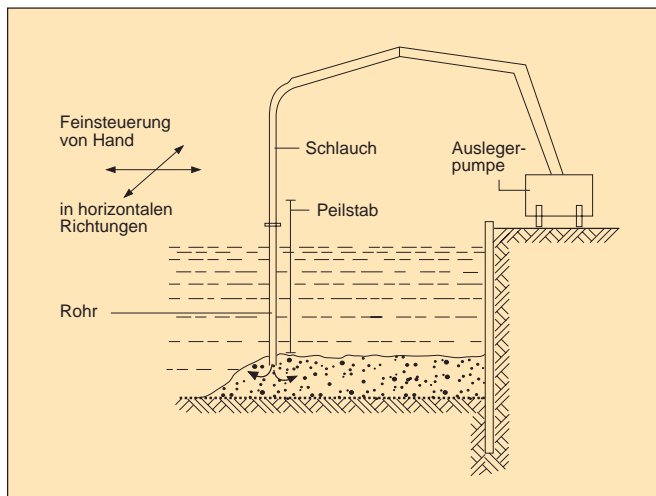


Bild 5: Pumpverfahren (Schema) [2]



Bild 6: Pumpen des Unterwasserbetons einer Kläranlage

Spundwandgrube wurde eine Bodenplatte von 1,80 m Dicke eingebaut und danach der stählerne Schlammtrichter mittig eingesetzt. Erst nach dem Einbetonieren dieses Stahlteils wurde die Spundwandgrube des Nachklärbeckens für das Einbringen des Unterwasserbetons vorbereitet.

Nach dem Bodenaushub wurde dann zwischen den Spundwänden der großen und kleinen Grube der Unterwasserbeton für die Bodenplatte eingebracht; die Dicke variierte zwischen 1,30 m und 2,80 m, das Oberflächengefälle betrug 1:15. Da es bei diesem Einbauverfahren nicht möglich ist, eine sehr ebene Oberfläche herzustellen, wurde nach dem Abpumpen des Wassers und der Säuberung der Oberfläche des Unterwasserbetons im

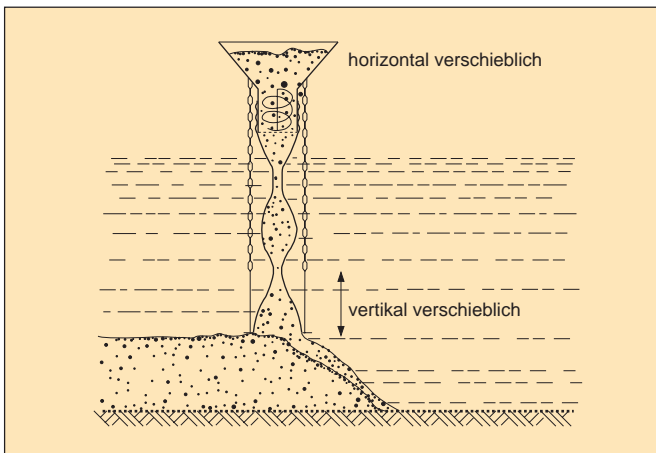


Bild 7: Hydroventil-Verfahren (Schema) [2]

Trockenen ein Ausgleichsbeton mit gewünschter Ebenheit aufgebracht.

Hydroventil-Verfahren

Eine weitere Variante, Beton unter Wasser einzubringen, ist die 1969 in den Niederlanden durch Henri Hillen begonnene Entwicklung des Hydroventils. Dieses Gerät besteht aus einem Trichter mit zusammendrückbarem Schlauch. Dieser endet in einem Stahlzylinder, der mit Ketten höhenverstellbar am Trichter angehängt ist (Bild 7). An einzelnen Stellen sind Stahlringe angeordnet, die mit den Ketten und dem Schlauch verbunden sind. Sie haben die Aufgabe, den Schlauch in seiner Lage zu halten und ihn bei Bedarf ziehharmonikaartig verkürzen zu können.

Kleine Betonpfropfen können sich im Schlauch nicht nach unten bewegen, da er durch den Wasserdruck zusammengepreßt wird. Erst größere Mengen sind in der Lage, den Wasserdruck und die Reibung im Schlauch zu überwinden, so daß der Beton durchrutschen kann. Folglich wird bei diesem Verfahren der Beton nicht kontinuierlich, sondern pfropfenweise eingebracht.

Das Verfahren vermeidet den freien Fall durch das Wasser, sofern die Betonierebene durch Bewehrungen usw. nicht behindert wird. Der Schlauch des Ventils wird über die Grubenbreite hin und her bewegt, wobei sich der Stahlzylinder nicht im Beton befindet, sondern an der Betonoberfläche. Im Gegensatz zum Contractor-Verfahren, bei dem das Rohr ungefähr 1 m im Beton stecken muß, können bei dieser Methode folglich auch dünnere Schichten bis herab zu einer Dicke von rund 20 cm eingebaut werden.

Kübelverfahren

Auch bei diesem Verfahren findet der Betoneinbau diskontinuierlich statt. Über Wasser wird ein Spezialekübel mit Beton gefüllt, der anschließend langsam durch das Wasser zur vorgesehenen Stelle geführt und entleert wird. Der Beton soll direkt auf die Baugrubensohle oder den bereits vorhandenen Beton auslaufen. Beim Entleeren des Kübels läßt sich jedoch nur schwer kontrollieren, ob der Beton nicht doch frei durchs Wasser fällt. Eine bewehrte Sohle kann mit diesem Verfahren nicht hergestellt werden, da die Stahleinlagen eine gezielte Platzierung des Betons durch den Kübel verhindern.

Einbringen im freien Fall

Während bei den bisher beschriebenen Verfahren der Beton beim Fördern unter Wasser geschützt wird, um Entmischungen zu vermeiden, kann ein erosionsfester Beton frei durch Wasser fallend eingebaut werden. Ein Beispiel hierfür ist die Verklammerung oder der Verguß von Schüttstein-Deckwerken [8].

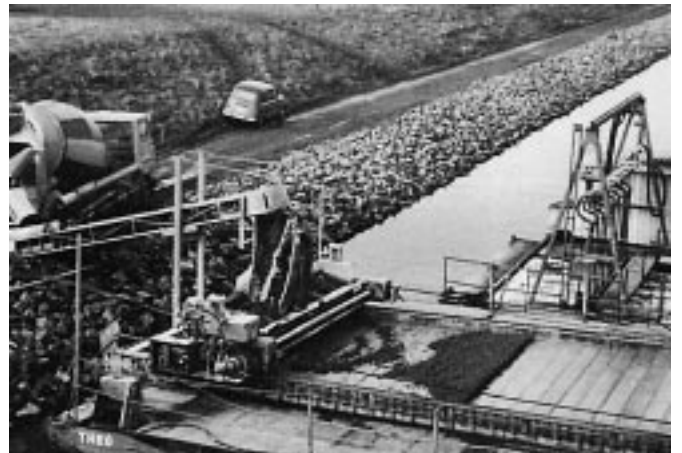


Bild 8: Einbau von Hydrocrete-Beton mit schwimmender Palette, Beschickung des Verteilerwagens über ein Transportband

Der einzubauende Frischbeton wird auf einer schwimmenden, aus Lamellen bestehenden Palette großflächig über Wasser ausgebreitet (Bild 8). Die Verteilung und genaue Mengenvorgabe je Quadratmeter Deckwerksfläche erfolgt durch Betonverteilerwagen. Durch Kippen der drehbar gelagerten Lamellen gleitet der Beton ab, fällt frei und ungeschützt durchs Wasser und dringt in die Hohlräume des Steinhafwerks ein. Voraussetzung für das Erreichen eines guten Verbundes sind saubere Schüttsteine. Bild 9 zeigt an einem Bohrkern aus einem dichten Deckwerk (Einbautiefe 4 m) den guten Verbund zwischen Schüttsteinen und Beton.

5 Unter Wasser entstehender Beton (Ausgußbeton)

Für diesen Beton stehen – wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt – einerseits das Prepakt-Verfahren, andererseits das Colcrete- und Tectocrete-Verfahren zur Verfügung.

Beim Ausgußbeton wird zunächst eine Steinschüttung eingebracht, die anschließend mit Mörtel injiziert wird. Das Gesteingerüst muß vor dem Injizieren sauber sein. Die Zwickel im Hafwerk sollten deshalb bald nach dem Einbringen der Schüttung mit Mörtel gefüllt werden, bevor Algenbefall und Sedimentieren von Schwebstoffen auftreten.

Das Prinzip der Verfahren ist aus Bild 10 ersichtlich. Nach dem Einbau der Steinschüttung – meistens in eine Schalung – werden Stahlrohre mit einem Durchmesser von rund 35 mm eingerammt. Die Rohre werden über Wasser mit einem Schlauchsystem verbunden und können einzeln oder in Gruppen mit dem Injektionsmörtel beschickt werden. Das untere Ende der Rohre befindet sich zu Beginn der Injektion in Sohlennähe. Beim Ansteigen des Mörtelniveaus werden die Rohre, die 2 bis 3 m weit auseinander stehen, höher gezogen.

Die Höhe des Mörtelniveaus und die Lage der Rohrausläufe werden mit Hilfe von Meßrohren geprüft. Diese Kontrollrohre mit einem Durchmesser von 50 mm werden ebenfalls vorher in das Steingerüst eingeschlagen. Durch über die ganze Rohrlänge verteilte Schlitze dringt beim Injizieren Mörtel ein. Durch das Herablassen eines Fühlers in das Rohr kann das Mörtelniveau festgestellt werden.

Beim Injizieren läßt man den Mörtel entweder über die Gesamtfläche regelmäßig ansteigen oder man treibt ihn, wie es bei größeren Flächen praktiziert wird, von einem Ende der Grube mit voller Höhe in natürlicher Böschung vor.

Mit Ausgußbeton lassen sich auch dünne Platten und bewehrte Bauteile herstellen.

Die Festigkeit und Dichtigkeit des Betons sind gegenüber anderen Verfahren oft geringer, da der Mörtel nicht immer alle Zwickel des Hafwerks ausfüllt und sich während des Eindringens in das Steingerüst mit Wasser vermischen kann. Ein weiterer Grund ist der Wasserfilm am Stein, der die Haftung des Mörtels beeinträchtigen kann.

Vorteil dieser Verfahren ist, daß mehr als die Hälfte des Betons, der Grobzuschlag, nicht durch einen Mischer läuft und ohne besondere Vorsichtsmaßnahme eingebracht werden kann.

Der Mörtel, dessen Herstellung bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben wurde, muß eine gute Fließ- und Pumpfähigkeit wie auch ein gutes Haftvermögen besitzen und im erhärteten Zustand wasserundurchlässig sein. Er ist durch diese Eigenschaften besonders zum Verfüllen und Verpressen von Steinschüttungen – Steinverguß, Steinverklammerung und Injizierung – geeignet. Dieses Verfahren wurde u.a. schon oft für die Ufersicherung von Flüssen gewählt.

So wurde z.B. im Zuge der Verbreiterung und Vertiefung des Mittellandkanals für Europaschiffe an der Einmündung des Elbeseitenkanals das Uferdeckwerk, das aus einer 40 cm dicken Decklage aus Schüttsteinen auf Filtervlies besteht, mit Colcrete-

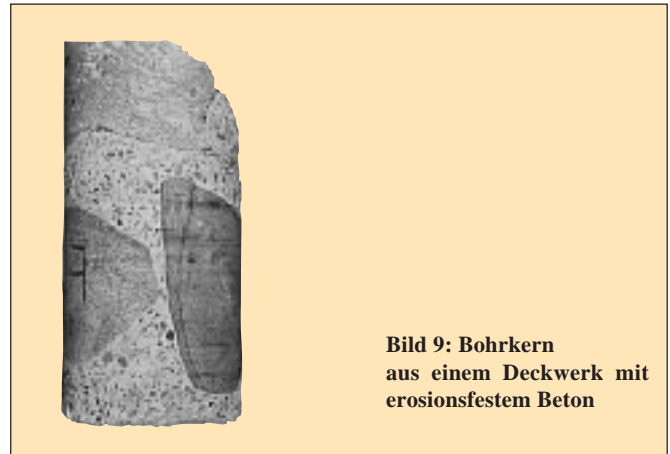


Bild 9: Bohrkern aus einem Deckwerk mit erosionsfestem Beton

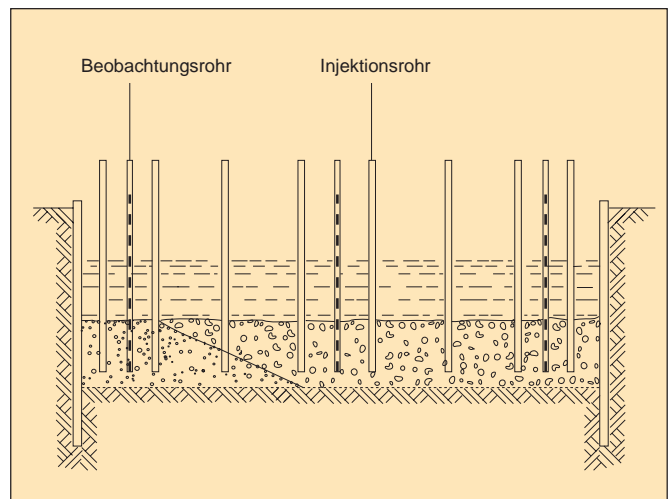


Bild 10: Unterwasserinjektion eines Grobkorngerüsts (Schema) [2]

Mörtel verklammert [9]. Diese Technik kam zur Anwendung, um die aufwendige, fortwährende Unterhaltung durch Nachschütten abgeschwemmter Schüttsteine zu vermeiden.

Die Verklammerung durch Mörtel erfolgte unter Wasser mit 80 l/m^2 und über dem Wasserspiegel mit 60 l/m^2 . Damit war gewährleistet, daß 10 % als Filterfläche frei blieben, um ein Durchströmen des Grundwassers zu ermöglichen.

Die Unterwasserarbeiten erfolgten mit Hilfe eines speziell entwickelten Einbaugerätes, das elektronisch gesteuert wurde und den Mörtel gleichmäßig zwischen die Schüttsteine des Deckwerkes einbaute. Es bestand aus einer Schute, die sich mit Hilfe von vier hydraulisch gesteuerten Beinen auf dem Boden abstützte. Auf ihr war ein schwenkbarer und verfahrbarer Ausleger mit angehängtem Einbaurahmen zur Führung der Hochdruckschläuche montiert (Bilder 11 und 12).

Über Wasser wurden die Injektionsschläuche von Hand so geführt, daß die Oberfläche der Steine vom Mörtel frei blieb.

Tectocrete-Beton wurde u.a. beim Bau des Strompfeilers einer neuen Eisenbahn-Rheinbrücke eingesetzt [10]. Der Strompfeiler ist Festpunkt der zweifeldrigen Hauptbrücke. Er besteht aus einem Spundwandkasten, der als zusätzliche Kolkssicherung im Boden verbleibt, einer 5 m dicken Unterwasserbeton-Sohle, zwei Fundamentabsätzen und dem aufgehenden Pfeilerschaft.

Nach dem Rammen der Spundwände und dem Einbau der Gurtung wurde der Boden von einem Schwimmbagger mit Polypgreifer ausgehoben. Nach Erreichen der Gründungsebene mußte die Baugrube für den Einbau des Unterwasserbetons vorbereitet werden. Dies geschah durch Reinigen der Spundwand,

Tafel 1: Anforderungen und Beurteilung verschiedener Herstellverfahren von Unterwasserbeton [2]

	Contractorverfahren		Kübelverfahren	Hydroventilverfahren	Pumpverfahren	Ausgußbeton (Prepakt-, Colcrete-, Tectocrete)
	stationär (Pfahl)	instationär in freier Baugrube (Sohlplatte)				
Entmischen sicher vermeidbar	+	-	-	+	+	+
Turbulenzfreie Einbringmethode	0	-	-	+	+	+
Große Einbauleistung	-	-	-	0	+	+
Zielsichere Herstellung verschiedener Betonfestigkeitsklassen möglich	+	0	-	+	+	0
Unempfindlichkeit gegen Konsistenzschwankungen	-	-	+	+	+	-
Abgezogene Oberfläche herstellbar	*	-	-	+	+	-
Beliebige Fortschreitrichtung, Neubeginn an beliebiger Stelle möglich	*	ohne Bewehrungskorb	+	+	+	0
		mit Bewehrungskorb	0	-	0	+
Keine Behinderung durch Bewehrungskörbe	+	0	-	0	+	+
Anschlußbewehrung, Baugrubenaussteifung	+	-	-	-	+	+

+ erfüllt 0 mit Einschränkungen erfüllt - nicht erfüllt * wird nicht verlangt

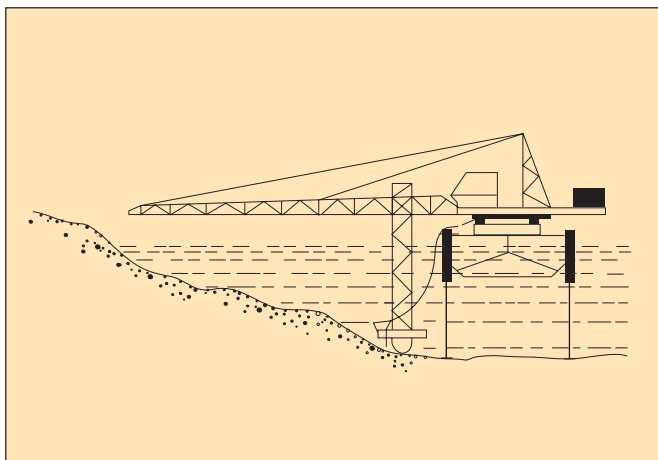


Bild 11: Gerät zum Einbau von Colcrete-Mörtel an Böschungen und Sohlen unter Wasser (Schema)

Einebnen der Gründungssohle und Entfernen von Schlammassen, Einbau eines 1 m dicken Korngerüsts aus Grauwacke-Schotter sowie durch Verdichten des Bodens. Das Steingerüst diente als Auflast bei der Verdichtung des aufgelockerten Bodens.

Dieses Haufwerk war schon ein Teil des gesamten Unterwasserbeton-Steingerüsts. Nach dem Verdichten des Bodens folgte der Einbau der restlichen 4 m Steingerüst aus Grauwacke 40/120. Von einem Ende der Baugrube (40 m lang, 12 m breit) aus wurde mit dem Einschlagen von sechs Injizierlanzen – Abstand rund 2 m – in dieses Steingerüst begonnen. Über die Länge der Grube verteilt wurden dreizehn Kontrollanzen mit einem Durchmesser von 50 mm niedergebracht.

Der Mörtel hatte folgende Zusammensetzung:

Zementart und Festigkeitsklasse	CEM I 32,5 R
Zementgehalt	700 kg/m ³
Wassergehalt	385 kg/m ³
Wasserzementwert	0,55
Zuschlaggehalt (0/2)	1012 kg/m ³
Verzögerung	10 h

Der Mörtel wurde auf einem Schiff neben der Baugrube hergestellt (Bild 13).

Das Injizieren erfolgte immer gleichzeitig über zwei Lanzen. Das Niveau des eingebrachten Injektionsgutes wurde in den Meßrohren mit Hilfe von Thermofühlern bestimmt.

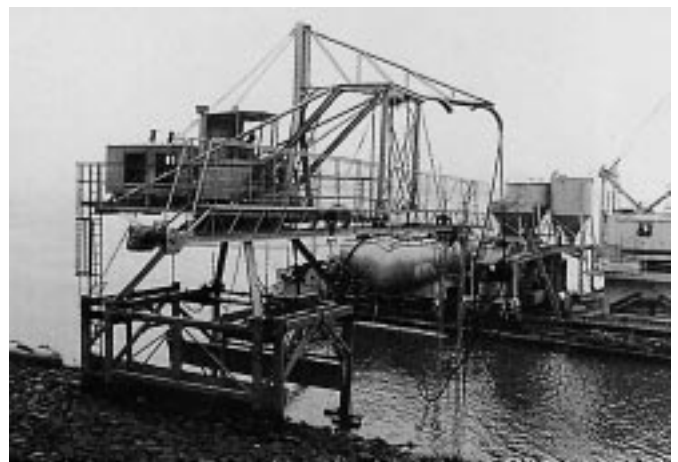


Bild 12: Einbaugerät für Colcrete-Mörtel mit Mischerschiff



Bild 13: Herstellen von Tectocrete-Unterwasserbeton; rechts neben der Baugrube das Schiff mit Mischanlage für das Injektionsgut

Der Baufortschritt verlief in Breitenrichtung der Grube. Nach Erreichen des Niveaus erfolgte das Ziehen und Umsetzen der Lanzen. Dabei wurden die neuen Injektionspunkte so im bereits injizierten Bereich angeordnet, daß der dann anschließend eingebrachte Mörtel einen Teil des schon vorher injizierten Mörtels vor sich hertrieb. Das natürliche Gefälle betrug ungefähr 1:8. Insgesamt wurden rund 840 m³ Mörtel in vier Arbeitstagen injiziert.

Tafel 1 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren [2].

Schrifttum

- [1] Onderwaterbeton. CUR-Rapport 56. Betonvereniging, Zoetermeer 1972
- [2] Grube, H.: Unterwasserbeton. Zement-Taschenbuch 1979/80. Bauverlag, Wiesbaden-Berlin 1979, S. 423-451
- [3] Tegelaar, R.: Unterwasserbeton. beton 28 (1978) H.1, S. 11-14
- [4] Köhne, J. H.: Storten van onderwaterbeton met de Hopdobber. Cement 35 (1983) H.12, S. 795-800
- [5] Tredopp, R.; Rückel, H.: Tiefgarage Rheingarten in Köln. beton 31 (1981) H. 5, S. 159-166
- [6] Trentmann, J.: Unterwasserbeton für Hilfsfundamente in der Elbe. beton 35 (1985) H. 4, S. 157-158
- [7] Brux, G.: Unterwasserbeton nach dem Hydroventil-Verfahren. Zement und Beton 22 (1977) H. 4, S. 130-133
- [8] Freese, D.; Höfig, W.; Gortkopp, U.: Neuartige Betone für den Wasserbau. beton 28 (1978) H. 6, S. 205-208
- [9] Monnet, W.; Dartsch, B.; Wehefritz, K.: Colcrete-Beton im Wasserbau. Beton-Verlag, Düsseldorf 1980
- [10] Eisermann, G.: Der Strompfeiler der Rheinbrücke Düsseldorf-Neuss. beton 34 (1984) H. 12, S. 491-494
- [11] Klaar voor onder water. Betoniek, Oktober 1983, H. 6/9
- [12] Kühling, G.; Petscharnig, F.: Zusatzmittel für Unterwasserbeton. Beton 41 (1991) H. 8, S. 371-373
- [13] Ludwig, H.: Unterquerung einer Bahntrasse im Zuge der A 44. Beton-Informationen 31 (1991) H. 2, S. 15-21
- [14] Tegelaar, R.: Unterwasserbeton-Einbauverfahren und Anwendung. Beton-Informationen 25 (1985) H. 4, S. 34-43
- [15] Petscharnig, F.: Erosionsfester Unterwasserbeton vom Transportbetonwerk. Zement und Beton (1991) H. 2, S. 12-14
- [16] Zwissler, U.; Falkowski, E.: Betonieren unter Wasser. Beton 40 (1990) H. 7, S. 279-284

Bauberatung Zement

Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498
Bauberatung Zement Bayern	Bucher Straße 3	90419 Nürnberg	Tel. 0911/933870	Fax: 9338733
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/17275	Fax: 950984
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075
Bauberatung Zement Ost	Ahornstraße 25	12163 Berlin	Tel. 030/7912278	Fax: 7914727
Bauberatung Zement Ost	Kieler Straße 67	04357 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081	Fax: 9792960
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/20042	Fax: 24294

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 5105 66 · 50941 Köln