

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Report, Published Version

Herten, Markus

Herstellung von Dränbetonpfählen. FuE-Abschlussbericht B3952.02.04.70004

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106560>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2018): Herstellung von Dränbetonpfählen. FuE-Abschlussbericht B3952.02.04.70004. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

**FuE-Abschlussbericht
Herstellung von Dränbetonpfählen
B3952.02.04.70004**



Mai 2018

FuE-Abschlussbericht
Herstellung von Dränbetonpfählen

Beginn des Vorhabens: Juni 2015

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3952.02.04.70004

Aufgestellt von: Abteilung: Geotechnik
 Referat: Grundbau (G2)
 Projektleiter: Markus Herten
 Bearbeiter: Markus Herten

Karlsruhe, Mai 2018

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Zusammenfassung

Für Trogruben im Grundwasser werden häufig überschrittene Bohrpfahlwände als Baugrubenverbau eingesetzt, um die grundwasserführende Schicht abzusperren. Daher sind die Wände dem Wasserdruck als Belastung zusätzlich zum Erddruck ausgesetzt. Um diese zusätzliche Belastung aus dem Grundwasserdruck zu vermeiden, kann es in Böden mit begrenzter Durchlässigkeit sinnvoll sein, Drainagefenster in der überschrittenen Bohrpfahlwand anzuordnen, z. B. durch einzelne Primärpfähle ohne Bewehrungskorb, die mit dränfähigem Beton gefüllt werden, der jedoch dann unterhalb des Grundwasserspiegels eingebaut werden muss. Dieser Beton muss in der Lage sein, den Erddruck über eine horizontale Gewölbewirkung zwischen den bewehrten Sekundärpfählen abzutragen, aber er soll auch eine vertikale Entwässerung zwischen diesen Tragelementen bis zur Sohle der ausgehobenen Baugrube gewährleisten.

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde von der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) und der Ruhr-Universität Bochum (RUB) in Form eines Sachstandsberichtes der gegenwärtige Entwicklungsstand vergleichbarer Verbaumethoden erörtert. Im Anschluss wurde ein Laborprogramm an der RUB durchgeführt, bei dem folgende folgende Materialparameter in über 30 Variationen untersucht wurden:

- Gesteinskörnung (Korngrößen/Korngruppen)
- Zementart (CEM III/A, CEM III/B)
- Betonzusatzmittel (FM/ST von drei verschiedenen Herstellern, unterschiedliche Zugabemengen)
- Betonzusatzstoffe (Silikastaub, Quarzmehl).

Dabei wurden am Frischbeton das Ausbreitmaß und der Erosionswiderstand ermittelt und an Probekörpern die zeitabhängige Druckfestigkeit und die Durchlässigkeit bestimmt. Mit den erfolgversprechendsten Materialmischungen wurden an der BUW verschiedene Einbauverfahren wie z. B. freier Fall durchs Wasser untersucht. Das Kontraktorverfahren scheidet aufgrund der Zähigkeit des Dränbetons aus, da es dabei zu Verstopfungen kommt. Mit dem sogenannten Schüttkegelverfahren wurden insgesamt 32 Einbauversuche an Modellpfählen ausgeführt. Bei diesem Verfahren wird der Beton über ein kontinuierliches gezogenes Schüttrohr eingebaut, so dass sich während des Einbaus am Rohrfuß über der Betonoberfläche ein Frischbeton-Schüttkegel ausbilden kann. Dabei wurde teilweise mit einem Ball im Schüttrohr als Trennkörper gearbeitet. Im Anschluss wurden die so erstellten und ausgehärteten Dränpfähle aufgeschnitten und visuell beurteilt.

Die grundsätzliche Machbarkeit, einen Dränbeton mit den hier relevanten Anforderungen unter Wasser in Bohrpfähle einzubauen, konnte nachgewiesen werden.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einführung	1
2	Wesentliche Untersuchungsziele	3
3	Mischungsentwürfe für den Dränbeton	5
4	Modellversuche hinsichtlich des Einbauvorgangs	9
5	Zusammenfassung und Ausblick	11
6	Literatur	12

Bildverzeichnis	Seite
Bild 1: Überschnittene Bohrpfahlwand mit durchlässigen Primärpfählen und bewehrten Sekundärpfählen im horizontalen und vertikalen Schnitt	1
Bild 2: Großversuch oberhalb des Grundwasserspiegels mit Primärpfählen aus Dränbeton und Sekundärpfählen aus üblichem zementgesättigten Beton und zugehöriger Bohrkern (entmischter Kies im oberen Bereich, dichter Zementstein im unteren Bereich)	2
Bild 3: Schemabezeichnung des Frischbetoneinbaus mit Hilfe des Schüttkegelverfahrens; Darstellung mit einem Ball als Trennmittel	4
Bild 4: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Widerstandes gegen Auswaschung (Abmessungen in mm)	6
Bild 5: Versuch einer Kernbohrung nach 2 Tagen Erhärtungszeit unter Wasser – nicht erfolgreich	7
Bild 6: Erfolgreiche Kernbohrung nach 7 Tagen Erhärtungszeit unter Wasser	8

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Mischungsentwurf für übliche Anwendungen von Einkornbeton im Straßenbau [4]	5
Tabelle 2: Ergebnisse an Bohrkernen mit dem optimierten Mischungsentwurf [9]	8
Tabelle 3: Erhärtete Modellpfähle mit unterschiedlichen Einbau-Randbedingungen	10
Tabelle 4: Erhärtete Modellpfähle mit unterschiedlichen Einbau-Randbedingungen und verschiedenen Fließmittel-Produkten, Einbau durchweg mit Schüttkegelverfahren	11

1 Einführung

Verbauwände werden häufig als überschnittene Bohrpfahlwände hergestellt, um wasserführende Schichten im Grundwasserbereich gegenüber tiefen Baugruben abzusperren. In Böden mit relativ geringer Wasserdurchlässigkeit darf jedoch ein Wasserstrom zugelassen werden, weil die dann zu pumpende Menge des Grundwassers begrenzt ist und die Reichweite der Absenkung nicht sehr weit greift. Dann entfällt der hydrostatische Wasserdruck auf die Stützwand, so dass ein wirtschaftlicherer Entwurf der Verbauwand möglich ist (s. Bild 1).

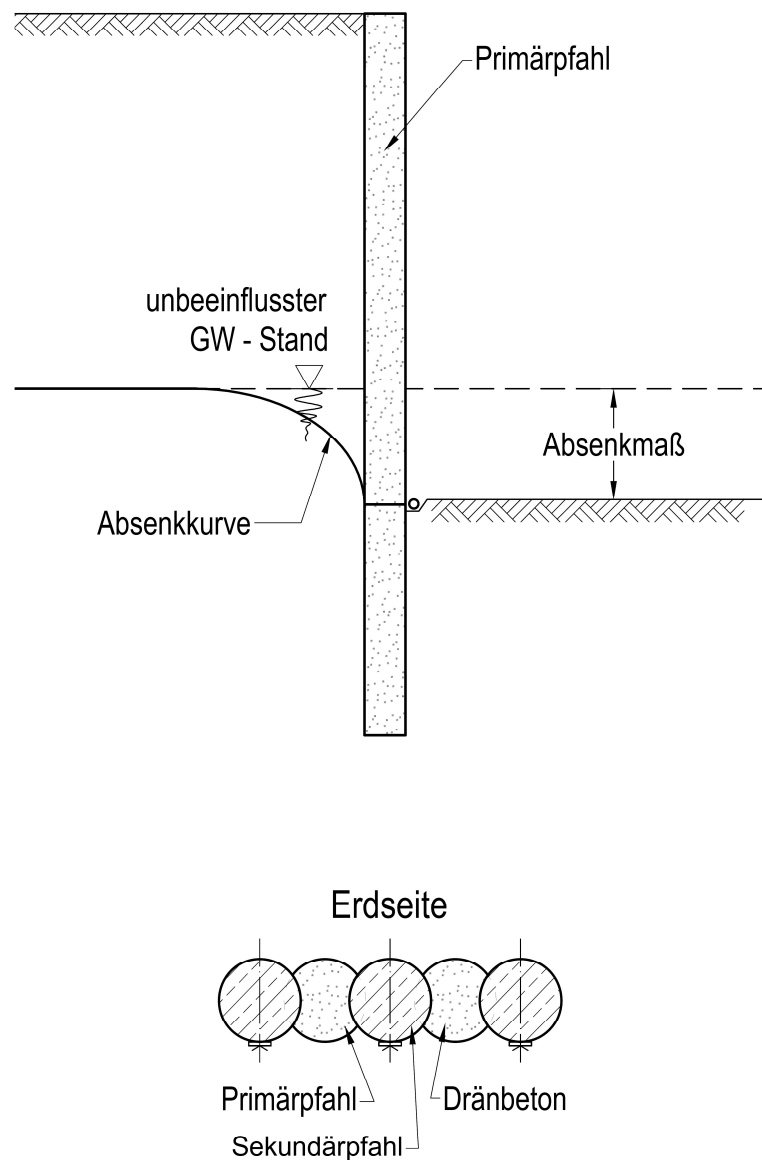


Bild 1: Überschnittene Bohrpfahlwand mit durchlässigen Primärpfählen und bewehrten Sekundärpfählen im horizontalen und vertikalen Schnitt



Bild 2: Großversuch mit Primärpfählen aus Dränbeton und Sekundärpfählen aus üblichem zementgesättigten Beton und zugehöriger Bohrkern (entmischter Kies im oberen Bereich, dichter Zementstein im unteren Bereich)

In ungesättigten Böden kann ein Dränagepfahl mit Hilfe von wasserdurchlässigem Einkornbeton erreicht werden, der unter „trockenen Randbedingungen“ im freien Fall bzw. mit Schüttrohr eingebaut wird. Für solche Anwendungen, jedoch auch für den flächigen Einbau, z. B. im Straßenbau, liegen ausreichende Erfahrungen mit dränagefähigem Einkornbeton vor, z. B. veröffentlicht in [5]. Für verrohrt hergestellte Bohrpfähle ist der Einbau des Dränbetons unterhalb des Grundwasserspiegels jedoch eine Herausforderung und ein vollständig neuer Ansatz. Ein freier Fall durch anstehendes Wasser stellt ein erhebliches Risiko für Entmischungen des frischen Betons dar, da der Zementleim von den Gesteinskörnern abgewaschen wird, so dass „nackter“ Kies entsteht und der Zement sich an der Sohle des Pfahls als vollkommen wasserdichte Schicht ablagert.

Falls eine erfolgreiche Einbaumethode gefunden wird, kann der Ansatz des Wasserdrucks auf die betreffende Stützwand entfallen. Selbstverständlich muss die Grundwasserströmung im hinter der Verbauwand liegenden Boden im Hinblick auf die dadurch ausgelöste Strömungsmassenkraft und eine damit verbundene Erddruckerhöhung genauso betrachtet werden wie die mögliche Erosionsgefahr an der Grenzschicht zwischen Boden und Dränbeton.

Im Folgendem werden Laboruntersuchungen auf der Suche nach einem geeigneten Mischungsentwurf für den erosionsstabilen Dränbeton beschrieben, der neben der Stabilität gegen Entmischung auch die Anforderungen an einen Drainagepfahl mit ausreichender Tragfähigkeit für eine horizontale Gewölbewirkung zur Erddruckübertragung auf die Sekundärpfähle erfüllt.

2 Wesentliche Untersuchungsziele

Der Einbau von üblichem, mit Zementleim gesättigtem Frischbeton in verrohrten gebohrten Bohrpfählen ist in DIN EN 1536 (2015) bzw. dem neuen EFFC/DFI-Ratgeber [3] geregelt. Dränbeton ist jedoch nicht mit Zementleim gesättigt, sondern enthält viele offene, luftgefüllte Poren, so dass der Zementleim von den Körnern abgespült werden kann, wenn der Frischbeton in Kontakt mit Wasser kommt.

Aufgrund seiner steifen Konsistenz ist Dränbeton mit einer sehr enggestuften, steilen Kornverteilungskurve der Gesteinskörnung üblicherweise nicht fließfähig. Daher erscheint ein Einbau unter Wasser im Sinne eines selbstverdichtenden Betons von vornherein nicht möglich. Dies wurde im Vorfeld durch einen Großversuch beim Neubau der Schleuse Minden bestätigt. Dort wurden Primärpfähle Ø 88 cm aus Einkornbeton oberhalb des Grundwasserspiegels erfolgreich ausgeführt. Unterhalb des Grundwasserspiegels zeigte sich nach dem Einbau über ein Kontraktorrohr nahezu vollständig ausgewaschener Kies im oberen Teil des Pfahls und dichter Zementstein an der Basis des Primärpfahls (s. Bild 2).

Daher ist das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung, ein Einbauverfahren sowie einen geeigneten Mischungsentwurf für den Dränbeton zu finden, mit denen sich eine solche Entmischung vermeiden lässt. Die gewünschte einaxiale Druckfestigkeit des erhärteten Dränbetons wurde auf 5 MPa festgelegt, um eine ausreichende Festigkeit zum sauberen Überbohren mit dem jeweiligen Sekundärpfahl zu liefern und um die Übertragung des Erddrucks in horizontaler Richtung über Gewölbewirkung auf die benachbarten Sekundärpfähle sicherzustellen.

Im Gegensatz zur Anwendung mit hauptsächlich vertikaler Belastung der Pfähle – wie beispielsweise in [6] untersucht – ist die erforderliche Betondruckfestigkeit für die horizontale Lastabtragung auf die Sekundärpfähle wegen der geringen Spannweite des zugehörigen Gewölbes zwischen zwei benachbarten Sekundärpfählen vergleichsweise gering. Auf der anderen Seite wurde ein minimal erforderlicher Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s gewählt, um die vertikale Entwässerung durch den Drainagepfahl ohne Rückstau sicherzustellen; das so im Pfahl perkolierende Wasser soll an der Sohle der Ausschachtung über eine Sammelleitung gefasst werden.

Unterwasserbeton ist üblicherweise mit Zement- und Flugascheleim gesättigt, jedoch durch spezielle Zusatzmittel – sogenannte Compounds – stabilisiert. Diese Zusatzmittel werden eingesetzt, um den Frischbeton „zusammenzukleben“ und somit eine feste Verdrängungsfront zwischen dem fließenden Beton und dem Wasser zu erreichen ([2], [7] oder [8]).

Der Kontakt bzw. die Adhäsion zwischen der Oberfläche der einzelnen Gesteinskörner und dem Zementleim im Dränbeton wurde durch diese Zusatzmittel wesentlich verstärkt. Durch eine daraus resultierende sehr steife Konsistenz und ein fehlendes Potential sich selbst zu verdrängen, ist, wie bereits erwähnt, der Einbau über das Kontraktorverfahren nicht möglich. Eine Einbaumöglichkeit gestaltet sich derart, dass der Beton über eine kurze, kegelförmige Böschung abfließt, während das Schüttrohr langsam oberhalb der Frischbeton-Oberfläche kontinuierlich gezogen wird (s. Bild 3). Diese Einbaumethode wird im Folgenden als „Schüttkegelverfahren“ bezeichnet.

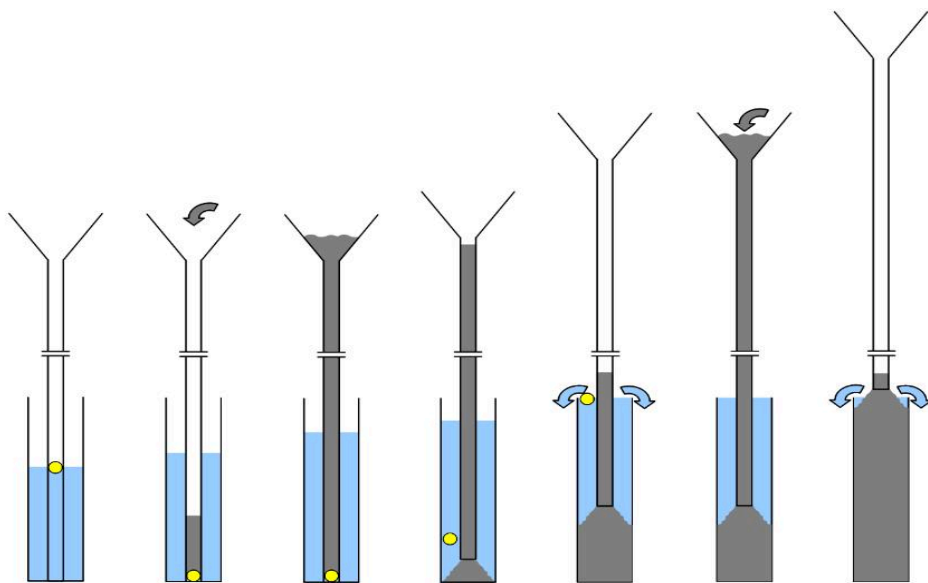


Bild 3: Schemabezeichnung des Frischbetoneinbaus mit Hilfe des Schüttkegelverfahrens; Darstellung mit einem Ball als Trennmittel

3 Mischungsentwürfe für den Dränbeton

Dränbeton wird üblicherweise aus groben Gesteinskörnern mit 8/16 mm, 8/22 mm oder 8/32 mm hergestellt. Typische Mischungsentwürfe sind in Tabelle 1 angegeben.

	Dränbeton ohne Polymer- Zusatzmittel	Dränbeton mit Polymer- Zusatzmittel
Einaxiale Druckfestigkeit (MN/m ²)	8 – 12	8 – 12
Dränbetondichte (kg/m ³) mit Gesteinskörnung 0/1 oder 0/2 mm	150 – 180	
Gesteinskörnung 8/22 oder 8/32 mm	1500 – 1600	
Zement	32,5 R / 42,5 N	
Zementgehalt (kg/m ³)	150 – 220	
Wasser (l/m ³)	60 – 90	52 – 73
w/z-Wert (äquivalent)	0,35 – 0,40	0,35 – 0,40
Zusatzmittel Polymersuspension (PM) (M.-% v. Z.)	-	1,5 – 3,0
Weitere Zusatzmittel: Verflüssiger (HRWR), zur Herabsetzung der Viskosität (VMA)	nach Bedarf	
Verdichtungsbeiwert (Konsistenz bei Einbau)	1,30 – 1,45 (steif, C1)	

Tabelle 1: Mischungsentwurf für übliche Anwendungen von Einkornbeton im Straßenbau [4]

In Vorversuchen wurde der Gewichtsverlust des Frischbetons durch das Auswaschen von Zementleim in reinem Wasser quantifiziert. Dabei wurde in Anlehnung an [1] ein weitmaschiger Korb mit einer Frischbetonprobe befüllt und mehrfach durch eine Wassersäule gezogen (s. Bild 4); untersucht wurden verschiedene Mischungsentwürfe mit Gesteinskörnungen von 4/8 mm bzw. 5,6/8 mm. Dabei zeigte sich, dass der Gewichtsverlust zwischen 0,5 und 4,0 M.-% – abhängig vom Mischungsentwurf – als nicht signifikant im Hinblick auf die Eignung des Betons beim Einbauprozess unterhalb des Grundwassers angesehen werden kann.

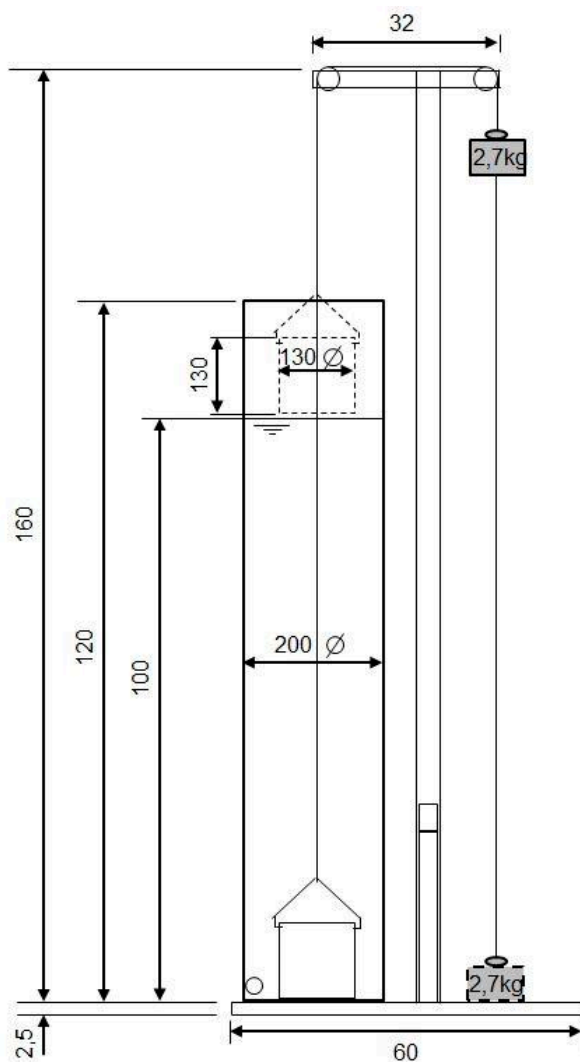


Bild 4: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Widerstandes gegen Auswaschung (Abmessungen in mm)

In Abhängigkeit von der Erosionsstabilität, der Durchlässigkeit und der einaxialen Druckfestigkeit des erhärteten Frischbetons ergab sich der optimale Mischungsentwurf zu:

- Korngröße der Gesteinskörner: 8/16 mm
- Zement CEM III/B 42,5 mit 275 kg/m^3
- Wasser-/Zementwert: $w/z = 0,38$
- Stabilisierer (Unterwassercompound): 2,5 M.-% v. Z.
- Fließmittel: 1,0 M.-% v. Z.,

womit eine einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen Erhärtungsalter von 3 - 4 MPa und eine Wasserdurchlässigkeit von über $k_f = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ erreicht wird. Die erheblichen Unterschiede zwischen der einaxialen Druckfestigkeit nach 2, 7 bzw. 28 Tagen Erhärtungszeit zeigten, dass der Dränbeton vergleichsweise langsam erhärtet. Eine Steigerung des Zementgehaltes auf 300 kg/m^3 und der Einsatz von 5,6/8 mm Gesteinskörnung führten zu einer höheren einaxialen Druckfestigkeit von 4 - 7 MPa und einer Wasserdurchlässigkeit von ca. $k_f = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Darüber hinaus wurde die Eignung des erhärteten Dränbetons im Hinblick auf die Ausführbarkeit von Kernbohrungen untersucht. In diesen Versuchen wurde der oben beschriebene Mischungsentwurf verwendet; allerdings erhielt die Betonprobe, die unter Wasser in einem Stahlrohr mit \varnothing 500 mm und einer Höhe von ebenfalls 500 mm eingebaut wurde, eine über eine Stahlplatte aufgebraachte vertikale Auflastspannung. Damit wurde die Vertikalspannung aus einer aufgehenden Frischbetonsäule mit dem damit verbundenen statischen Verdichtungseffekt simuliert.

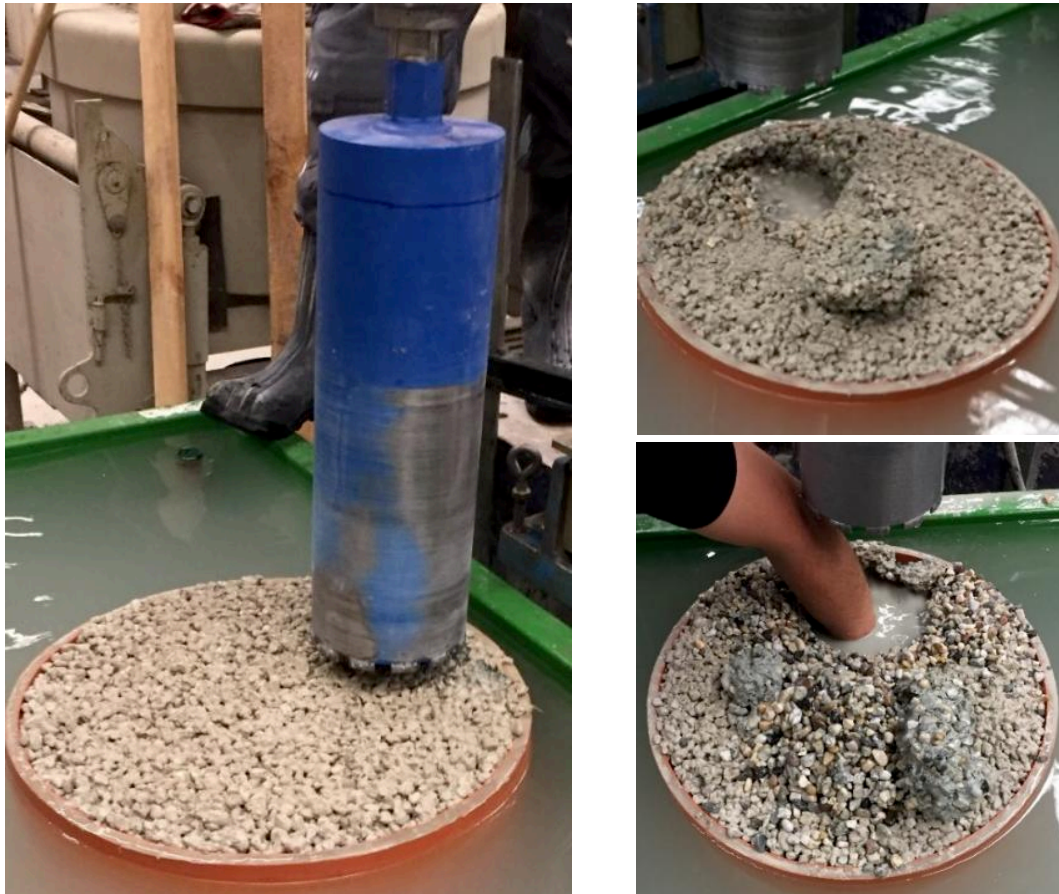


Bild 5: Versuch einer Kernbohrung nach 2 Tagen Erhärtungszeit unter Wasser – nicht erfolgreich

Nach einer Erhärtungszeit von 2 Tagen konnten die Proben nicht erfolgreich gekernt werden (s. Bild 5). Nach 7 Tagen Erhärtungszeit konnte ein sauberer Kern über die gesamte Länge des Stahlrohres von 500 mm gewonnen werden (s. Bild 6). Nach 28 Tagen stellte das Kernieren kein Problem dar.

Die Eigenschaften des Dränbetons, die an diesen Kernen nach 7 bzw. 28 Tagen Erhärtungsalter ermittelt wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt.



Bild 6: Erfolgreiche Kernbohrung nach 7 Tagen Erhärtungszeit unter Wasser

Erhärtungsalter	Einaxiale Druckfestigkeit	Wasserdurchlässigkeit
7 Tage	3,97 MPa	$6,4 \cdot 10^{-3}$ m/s
28 Tage	6,90 MPa	$6,4 \cdot 10^{-3}$ m/s

Tabelle 2: Ergebnisse an Bohrkernen mit dem optimierten Mischungsentwurf [9]

Im Ergebnis kann eine ausreichende Kernbarkeit zur Herstellung der Sekundärpfähle in einer überschnittenen Bohrpfahlwand für den Dränbeton nach mind. 7 Tagen Erhärtungszeit des Primärpfahls erwartet werden, wenn der beschriebene Mischungsentwurf verwendet wird. Die gewünschten Werte der einaxialen Druckfestigkeit von über 5 MPa können für den erhärteten Beton genauso erreicht werden, wie die notwendige Durchlässigkeit von $k_f > 1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit bzw. Einbaubarkeit über ein Schüttrohr zeigten die Untersuchungen, dass sich das Ausbreitmaß zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit des Frischbetons im Einbauvorgang als nicht aussagekräftig erwies.

4 Modellversuche hinsichtlich des Einbauvorgangs

In kleinmaßstäblichen Modellversuchen mit Rohren von 250 – 300 mm Durchmesser und 1,0 m Länge wurde die Einbautechnik ober- und unterhalb des Grundwasserspiegels untersucht. Der Durchmesser des Schüttrohrs wurde dazu mit 70 mm bzw. 100 mm variiert, was einen geometrischen Modellmaßstab von ca. 1:5 bis etwa 1:2,5 entspricht.

Der Dränbeton des jeweiligen Mischungsentwurfs wurde dabei in ein Kunststoff-Schalrohr eingebaut, das vertikal in ein wassergefülltes Becken eingestellt war, wobei das Schüttrohr zentrisch angeordnet wurde. In diesen Laborversuchen wurden die nachfolgend genannten Parameter variiert:

- Korngröße der Gesteinskörnung: 4/8 mm, 5,6/8 mm, 8/16 mm
- Mischungsentwurf wie oben dargestellt
- Einbautechnik: freier Fall, mit Rohr- und Kegelschüttung, mit und ohne Gummiballventil
- Randbedingungen des Einbaus: Trocken bzw. unter Wasser
- Durchmesser des Schüttrohrs: 70 mm bzw. 100 mm
- Durchmesser des umgebenden Schalrohrs: 250 mm, 300 mm, 1000 mm

Zum Vergleich sind in Tabelle 3 einige Beispiele der Versuchsergebnisse dargestellt. Man erkennt, dass das Einbauverfahren „im freien Fall“ unter Wasser zu einem beträchtlichen Verlust von Zementleim im Fall mit einer dichten, zementierten Sohle von ungefähr 8 cm Höhe (d. h. 8 % der Gesamtpfahllänge) führt, wohingegen das Schüttkegelverfahren eine solche Entmischung nahezu vollständig vermeidet (s. mittlere Spalte in Tabelle 3). Offensichtlich ist der Grund dafür die Bewegung des frischen Dränbetons durch das Wasser, wie an dem trocken betonierten Modellpfahl in der rechten Spalte in Tabelle 3 zu erkennen ist.

Einbau unter Wasser	Einbau unter Wasser	Einbau trocken
Freier Fall	Schüttkegelverfahren mit Gummiball	Langsamer Anstieg des Wasserspiegels unmittelbar nach Einbau im Trockenen
 <p data-bbox="245 1041 595 1072">Zementleim ausgewaschen!</p> 	 	 

Tabelle 3: Erhärtete Modellpfähle mit unterschiedlichen Einbau-Randbedingungen

Variiert wurden auch die Zusatzmittel (Fließmittel und Unterwasser-Compound) verschiedener Hersteller. Das Zusatzmittel des Herstellers A führt zu einer völlig vernachlässigenden Entmischung von ungefähr 1 cm Zementablagerung an der Basis des Versuchspfahls (s. Tabelle 4, linke Spalte), wohingegen das Produkt des Herstellers B in derselben Konzentration zu einer Zementablagerung von 15 cm bzw. 15 % der gesamten Pfahllänge führen kann, wie es in Tabelle 4, rechte Spalte zu erkennen ist.




Fließmittel A mit Gummiball	Fließmittel A ohne Gummiball	Fließmittel B ohne Gummiball
		
Korndurchmesser 8/16 mm, Zementgehalt 275 kg/m ³ , Wassergehalt 111 kg/m ³ , Dichte 1550 kg/m ³		
Zusatzmittel: Fließmittel 1,0 %, Unterwasser-Compound 2,5 % des Zementgehaltes		

Tabelle 4: Erhärtete Modellpfähle mit unterschiedlichen Einbau-Randbedingungen und verschiedenen Fließmittel-Produkten, Einbau durchweg mit Schüttkegelverfahren

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die kleinmaßstäblichen Modellversuche, über die vorliegend berichtet wird, haben einen gut geeignet erscheinenden Mischungsentwurf für den Dränbeton ergeben, der unterhalb des Grundwasserspiegels in einem Pfahl eingebaut werden soll. Die Einbautechnik wird von dem üblichen Kontraktorverfahren abweichen müssen, da die Öffnung des Schüttrohrs nicht in den Schüttbody eingetaucht gehalten werden kann. Stattdessen muss das Schüttrohr kontinuierlich gezogen werden, während der Frischbeton über einen Schüttkegel an der unteren Öffnung auf dem vorher eingebauten Beton ausläuft. Der Einsatz eines trennenden Ball-Ventils am Anfang der Schüttung ist unbedingt zu empfehlen.

Infolge des starken Einflusses der Zusatzmittel von unterschiedlichen Herstellern ist es notwendig, das Einbauverhalten des Dränbetons mit einem vorgesehenen Mischungsentwurf im Einzelnen zu untersuchen. Die üblichen Untersuchungsmethoden für Frischbeton wie Setzmaß oder Fließsetzmaß haben sich als nicht maßgebend zur Beurteilung erwiesen, ob ein Mischungsentwurf für diese Einbautechnik geeignet ist oder nicht. Deshalb müssen alternative Prüfmethode entwickelt werden, um die Eignung von Einkornbeton zum Einbau als Dränbeton unter Wasser im Prototyp-Maßstab zu kontrollieren, z. B. in Anlehnung an den sog. L-Box-Tests, wie er in [3] beschrieben ist.

6 Literatur

- [1] Hrsg. BAW: Richtlinie für die Prüfung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von wasserbausteinen an Wasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau, 2008.
- [2] Drinkgern, G.: Dränbeton. Schriftenreihe Spezialbetone, Vol. Band 2, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf, 1999.
- [3] Hrsg. EFFC/DFI: Best Practice Guide to Tremie, Concrete for Deep Foundations. Ed. Joint European, Federation of Foundation Contractors / Deep Foundations Institute, 2016.
- [4] Hrsg. FGSV-Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für Dränbeton-Tragschichten (M DPT), FGSV-Verlag GmbH, Köln, 2013.
- [5] Neithalath, N., Sumanasooriya, M., Omkar, D.: Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction, Materials characterization, Vol. 61, Issue 8, pp 802 – 813, 2010.
- [6] Ni, L.: Pervious Concrete Piles – Development and investigation of an Innovative Ground Improvement System. Thesis and Dissertations, Lehigh University, Paper 1572, 2014.
- [7] Schäfer, V., Wang, K. et al.: Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates – Final report, Iowa State University, 2006.
- [8] Tennis, P., Leming, M.L., Arcas, D.J.: Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association, 2004.
- [9] Herten, M., Pulsfort, M., Fierenkothen, C., Breitenbücher, R.: Use of porous concrete in secant pile walls, Proceedings Deep Foundation Technologies for Infrastructure, Madras/India, 2017.