

# Bauwirtschaft und Baubetrieb

Berichte | 2

## **Innovationen im Spezialtiefbau**

Fachseminar am 05. Dezember 2013  
an der Technischen Universität Berlin

Universitätsverlag der TU Berlin





# **Innovationen im Spezialtiefbau**

Fachseminar am 05. Dezember 2013  
an der Technischen Universität Berlin

Die Berichte des Fachgebietes Bauwirtschaft und Baubetrieb an der  
Technischen Universität Berlin werden herausgegeben von  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Kochendörfer

Bauwirtschaft und Baubetrieb. Berichte | 2

Bernd Kochendörfer (Hrsg.)

## **Innovationen im Spezialtiefbau**

Fachseminar am 05. Dezember 2013  
an der Technischen Universität Berlin

Universitätsverlag der TU Berlin

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de/> abrufbar.

### **Universitätsverlag der TU Berlin 2013**

<http://www.univerlag.tu-berlin.de>

Fasanenstr. 88 (im VOLKSWAGEN-Haus), 10623 Berlin

Tel.: +49 (0)30 314 76131 / Fax: -76133

E-Mail: [publikationen@ub.tu-berlin.de](mailto:publikationen@ub.tu-berlin.de)

Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.

Druck: endformat GmbH

Satz/Layout: Carsten Thieme

**ISBN 978-3-7983-2663-7 (print)**

**ISBN 978-3-7983-2664-4 (online)**

**ISSN 1610-5648 (print)**

Zugleich online veröffentlicht auf dem Digitalen Repitorium  
der Technischen Universität Berlin:

URL <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/4442>

URN <urn:nbn:de:kobv:83-opus4-44427>

[<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:83-opus4-44427>]

## Organisation

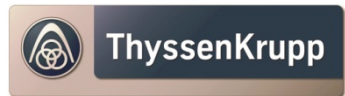
**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Kochendörfer**

Leiter Fachgebiet  
Bauwirtschaft und Baubetrieb, TU Berlin



**Dipl.-Ing. Wolfgang Lottes**

Niederlassungsleiter  
ThyssenKrupp Bautechnik GmbH Berlin



**Dipl.-Ing. Carsten Thieme**

InnovationsZentrum Bau  
Berlin Brandenburg e. V.





## **Vorwort**

Ganz in der Tradition gemeinsamer Fachseminare von Wissenschaft und Bauwirtschaft sollen mit dem Thema „Innovationen im Spezialtiefbau“ Erkenntnisse über neue Bauverfahren, technische Herausforderungen und Lösungen vermittelt werden. Zum Auftakt der neuen Veranstaltungsreihe am 05.12.2013 wurden mehr als 100 Teilnehmern und Teilnehmerinnen am Institut für Bauingenieurwesen der TU Berlin aktuelle Entwicklungen im Spezialtiefbau und bemerkenswert innovative sowie internationale Projektbeispiele in Expertenvorträgen mit engem Praxisbezug vorgestellt und mit ihnen diskutiert. Die Veranstaltung setzte dabei neue Akzente in der branchenweit wie auch öffentlich diskutierten Nachhaltigkeitsbetrachtung und gab den Anstoß für weitere jährlich stattfindende Fachseminare an der TU Berlin zusammen mit dem InnovationsZentrum Bau Berlin Brandenburg e. V. und ihren Partnern aus Forschung und Praxis.

In den ersten drei Beiträgen widmet sich der Band hochaktuellen, siedlungsspezifischen Problembereichen wie der grabenlosen innerstädtischen Kanalsanierung, permanenten und mobilen Systemen für den Hochwasserschutz sowie geotechnischen Analysen zum schleichenden Grundwasseranstieg in Berlin. Darauf folgend werden vor allem technische Herausforderungen, etwa für die Energieeffizienz beim Rammen, für die Maschinentchnik unter anspruchsvollen und stark wechselhaften Baugrundbedingungen im Tunnelbau sowie Systeme für eine erschütterungsfreie und lärmarme Spundwandpresstechnik thematisiert. Während der anschließende Beitrag die technischen und genehmigungsrechtlichen Belange beim Einsatz von lastabtragenden Bodenmischsäulen zur Verbesserung der Baugrundeigenschaften behandelt, wird der Blick zum Abschluss auf den asiatischen Kontinent gerichtet. Das anhaltende Wirtschaftswachstum in China zieht enorme Anstrengungen beim Ausbau der hiesigen Infrastruktur nach sich und verlangt somit auch permanent nach neuen Ideen und technischen Weiterentwicklungen im Spezialtiefbau.

An dieser Stelle sei allen Referenten/Autoren für ihre Vorträge auf der Tagung und die hier zusammengefassten schriftlichen Beiträge herzlichst gedankt. Ebenso gilt unser Dank der ThyssenKrupp Bautechnik GmbH und dem InnovationsZentrum Bau Berlin Brandenburg e. V. für die produktive Zusammenarbeit, die sich auf der nächsten geplanten Veranstaltung am 12.03.2015 hoffentlich genauso erfolgreich – mit ebenso zahlreichen Gästen wie auch spannenden Themen – fortsetzen wird. Die Organisatoren freuen sich daher jederzeit über interessante Kooperationsanfragen. Genauso erwünscht sind Vorschläge und Ideen für weitere thematische Beiträge aus den Bereichen Spezialtiefbau, Wasserbau, Infrastrukturbau und Geotechnik.



Bernd Kochendörfer



Wolfgang Lottes



## **Inhalt**

- 1 Grabenlose Trinkwasserrohrtauschung –  
Verfahrensbeschreibung ..... 11  
**Norbert Friedhoff**
- 2 Permanente und mobile Hochwasserschutzsysteme ..... 18  
**Gerd Stüber**
- 3 Grundwasseranstieg in Berlin – Ursachen, Wirkungen,  
Lösungsansätze ..... 33  
**Manfred Schafhauser**
- 4 Energieeffizienz in der Vibrationsrammtechnik ..... 43  
**Albrecht Kleibl**
- 5 Multi-Mode-TBM – Flexible Maschinenteknik für stark  
variierende Baugründe ..... 55  
**Gerhard Wehrmeyer**
- 6 Zuverlässiger Hochwasserschutz mit Stahlspundwänden –  
Innovationen der Spundwandpresstechnik..... 75  
**Naji Al-Arja**
- 7 Genehmigungs- und Zulassungsvoraussetzungen von  
Bodenmischsäulen ..... 89  
**Fabian Kirsch, Kurt-M. Borchert**
- 8 Baustrukturelle Entwicklung in Hong Kong und zukünftige  
Projekte in Asien ..... 105  
**Guido Rautenberg**



Norbert Friedhoff

# **1 Grabenlose Trinkwasserrohrtauschung – Verfahrensbeschreibung**

## **1.1 Press-/Ziehverfahren**

Unter der grabenlosen Auswechsellung von Druckrohren (Grauguss und Asbestzement) im Press-/Ziehverfahren ist die trassengleiche Auswechsellung in einem Arbeitsgang zu verstehen. Das Auswechselln von Druckrohren aus Stahl- bzw. duktilem Gusseisen ist bei diesem Verfahren nur mit hohem Aufwand möglich. Hierzu ist eine Baugrube zur Einbringung der neuen Rohre und eine Baugrube zur Aufnahme des Rohrauswechsellgerätes erforderlich. Alle 20 m bis 50 m werden Zwischenbaugruben angelegt, die sich in der Regel an Abzweigen, Hausanschlüssen und Armaturen befinden. In die auszuwechsellnde Rohrleitung wird ein Zuggestänge bzw. Leitergestänge eingeschoben und am Ende an einem Zugadapter verankert, sodass die alte Rohrleitung beim Auswechsellvorgang aus dem Erdreich geschoben werden kann. Die neue Rohrleitung wird über einen Zugkopf an den Zugadapter angekoppelt und im selben Arbeitsvorgang in die vorhandene Rohrtrasse eingezogen.

Die alten Grauguss- und Asbestzementrohre werden über einen Spaltkegel, der sich in den Zwischenbaugruben bzw. in der Zielbaugrube befindet, in Scherben gebrochen. Der Zugkopf ist so auszubilden, dass er das Eindringen von Verschmutzungen verhindert und die auftretenden Zugkräfte aufnehmen kann. Eine in den Zugkopf integrierte Zugkraftmessvorrichtung dient der Erfassung und Dokumentation der auf den Neurohrstrang wirkenden Zugkraft. Der Zugkopf ist auf die Rohrabmessung des auszuwechsellnden Rohres abgestimmt und wird bei Dimensionsvergrößerung als Aufweitkegel ausgebildet. Um ein zwängungsfreies Einziehen des Neurohrstranges zu gewährleisten, ist ein dem Bodenmaterial angepasster Überschnitt von ca. 10 % bis 15 % des maximalen Außendurchmessers der Rohrverbindungen erforderlich.

In der Maschinenbaugrube befindet sich das hydraulische Rohrauswechslungsgerät. Die Widerlagerplatte dient einerseits der Abstützung des Rohrauswechslungsgerätes, andererseits verhindert diese mit einer auf die auszuwechselnde Dimension abgestimmten Öffnung ein Herauslösen des Bodens aus der Rohrtrasse. Abhängig von der Bodenart ist eine entsprechende Vorrichtung zur Minimierung des Bodenaustrages in den Baugruben zu installieren. Eine axiale Krafteinleitung der hohen Druck- und Zugkräfte während des gesamten Auswechslvorganges muss sichergestellt werden. Das Rohrauswechslungsgerät ist mit hydraulischen Vorschubzylindern ausgerüstet, mit deren Hilfe die alten Rohre über das Zuggestänge erschütterungsfrei und unter Vermeidung von dynamischen Energien in die Zielbaugrube gezogen werden. Die möglichen Auswechslängen werden vom Rohrdurchmesser, Nennweitensprüngen und Bodenart sowie von der Leistung des Rohrauswechslungsgerätes bestimmt. Im Normalfall werden in Abständen von 20 m bis 50 m über die gesamte Auswechslstrecke Zwischenbaugruben angelegt, die sich an Hausanschlüssen, Abzweigen oder Armaturen befinden.

Die Auswechslung einer Rohrstrecke erfolgt in gesamter Länge von bis zu 150 m ohne Umsetzen des Rohrauswechslungsgerätes, wobei die gesamte Rohrstrecke in mehrere durch die Zwischenbaugruben unterbrochene Abschnitte unterteilt wird. Die alte Rohrleitung wird kontinuierlich vom in der Zielbaugrube positionierten Rohrauswechslungsgerät durch Ziehen an dem Zuggestänge aus dem Boden geschoben. Der in den jeweiligen Zwischenbaugruben wie auch in der Zielbaugrube eingesetzte Spaltkegel oder eine vom Baugrubenrand aus betätigte mechanisierte Schneid- bzw. Knackvorrichtung zerkleinert das Altrohrmaterial.

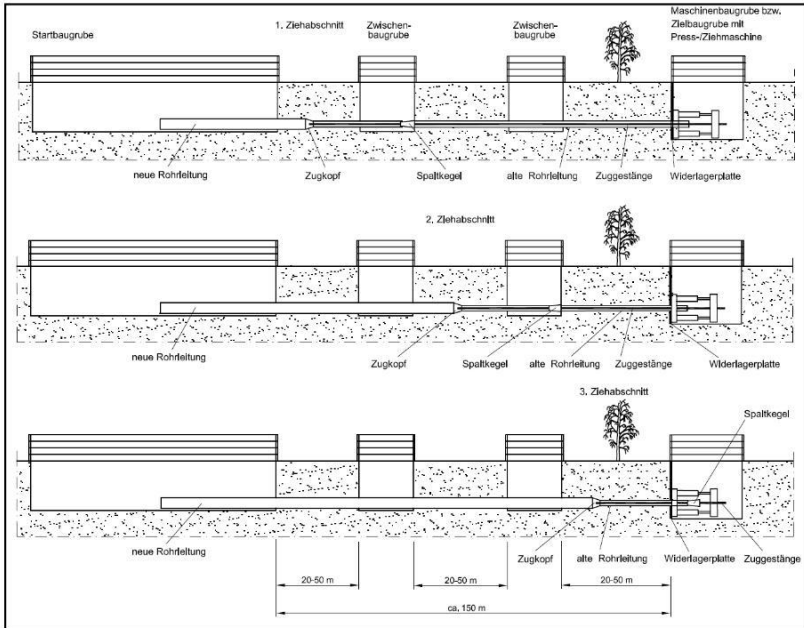


Bild 1: Schematische Darstellung Press-/Ziehverfahren mit z. B. zwei Zwischenbaugruben [I].

## 1.2 Hilfsrohrverfahren

Unter der grabenlosen Auswechslung von Druckrohren im Hilfsrohrverfahren ist die trassengleiche Auswechslung in zwei Arbeitsgängen zu verstehen. Hierzu werden eine Rohrbaugrube zum Ausbau des Altrohres und zur Einbringung der neuen Rohre und eine Maschinenbaugrube zur Aufnahme des Rohrauswechslungsgerätes hergestellt. Alle 20 m bis 50 m werden Zwischenbaugruben angelegt, die sich in der Regel an Abzweigen, Hausanschlüssen und Armaturen befinden.

Die auszuwechselnde Rohrleitung wird mittels Hilfsrohren aus dem Erdreich gepresst und in der Rohrbaugrube ausgebaut. Das Altrohr wird in ganzen Rohrlängen geborgen. Das neue Rohr wird in der Rohrbaugrube mittels eines Zugkopfes am Hilfsrohr befestigt und durch Zurückziehen des Hilfsrohres in die Rohrtrasse eingebracht. Der Zugkopf ist so auszubilden, dass er das Eindringen von Verschmutzungen in die neue Rohrlei-

tung verhindert und die auftretenden Zugkräfte aufnehmen kann. Eine in den Zugkopf integrierte Zugkraftmessvorrichtung dient der Erfassung und Dokumentation der auf den Neurohrstrang wirkenden Zugkraft. Der Zugkopf ist auf die Rohrabmessung des auszuwechselnden Rohres abgestimmt und wird bei Dimensionsvergrößerung als Aufweitkegel ausgebildet. Um ein zwängungsfreies Einziehen des Neurohrstranges zu gewährleisten, ist ein dem Bodenmaterial angepasster Überschnitt von ca. 10 % bis 15 % des maximalen Außendurchmessers der Rohrverbindungen erforderlich.

In der Maschinenbaugrube befindet sich das hydraulische Rohrauswechsellungsgerät mit Widerlagerplatte zur Abstützung des Rohrauswechsellungsgerätes. Diese sind mit einer auf die auszuwechselnde Dimension abgestimmten Öffnung, die ein Herauslösen des Bodens aus der Rohrtrasse verhindert, versehen. Ebenso ist eine entsprechende Vorrichtung zur Minimierung des Bodenaustrages in den Zwischenbaugruben installiert. Eine axiale Krafteinleitung der Druck- und Zugkräfte während des gesamten Auswechsellvorganges muss sichergestellt werden. Das Rohrauswechsellungsgerät ist mit einem oder mehreren hydraulisch wirkenden Vorschubzylindern ausgerüstet, mit deren Hilfe die alten Rohre über die Hilfsrohre erschütterungsfrei und unter Vermeidung von dynamischen Energien in die Rohrbaugrube geschoben werden. Von der Rohrbaugrube an wird dann der Neurohrstrang in die vorhandene Trasse gezogen.

Die möglichen Auswechsellängen werden vom Rohrdurchmesser, Nennweitensprüngen und Bodenart sowie von der Leistung des Rohrauswechsellungsgerätes und vom Zustand des Altrohres sowie den maximal zulässigen Zugkräften des Neurohres bestimmt. Im Normalfall werden in Abständen von 20 m bis 50 m über die gesamte Auswechsellstrecke Zwischenbaugruben angelegt, die sich sinnvollerweise an Hausanschlüssen, Abzweigen oder Armaturen befinden. Die Auswechsellung einer Rohrstrecke erfolgt dabei in gesamter Länge von bis ca. 150 m ohne Umsetzen des Rohrauswechsellungsgerätes. Die alte Rohrleitung wird dann kontinuierlich vom in der Maschinenbaugrube positionierten Rohrauswechsellungsgerät restlos aus dem Erdreich geschoben.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die größte Kraft zum Lösen des Altrrohrstranges aus dem Boden benötigt wird. Das Altrrohr kann diese hohen Kräfte bei einer Auswechsellänge von bis zu 150 m nicht aufnehmen. Darum ist es beim Hilfsrohrverfahren nötig, den Altrrohrstrang in den Zwischenbaugruben zu trennen und die einzelnen Rohrabschnitte getrennt zu lösen.

Zum Lösen der Altrrohrabschnitte gibt es zwei Varianten:

1. Die Altrrohrabschnitte werden von der Maschinenbaugrube aus gelöst. Dabei wird zunächst der erste Rohrabschnitt in Richtung Zwischenbaugrube geschoben. Der erste und der zweite Rohrabschnitt werden mit einem Übergangsstück in der Zwischenbaugrube verbunden. Im Anschluss daran erfolgt das Lösen des zweiten Rohrabschnittes durch Vorpressen der Hilfsrohre usw.
2. Von der Zwischenbaugrube ausgehend, die der Rohrbaugrube am nächsten ist, werden die Altrrohrabschnitte mittels Hydraulikzylinder in den Zwischenbaugruben gelöst. Die gelösten Abschnitte werden mittels Hilfsrohr aufeinander geschoben und in den Zwischenbaugruben mittels Übergangsstück verbunden.

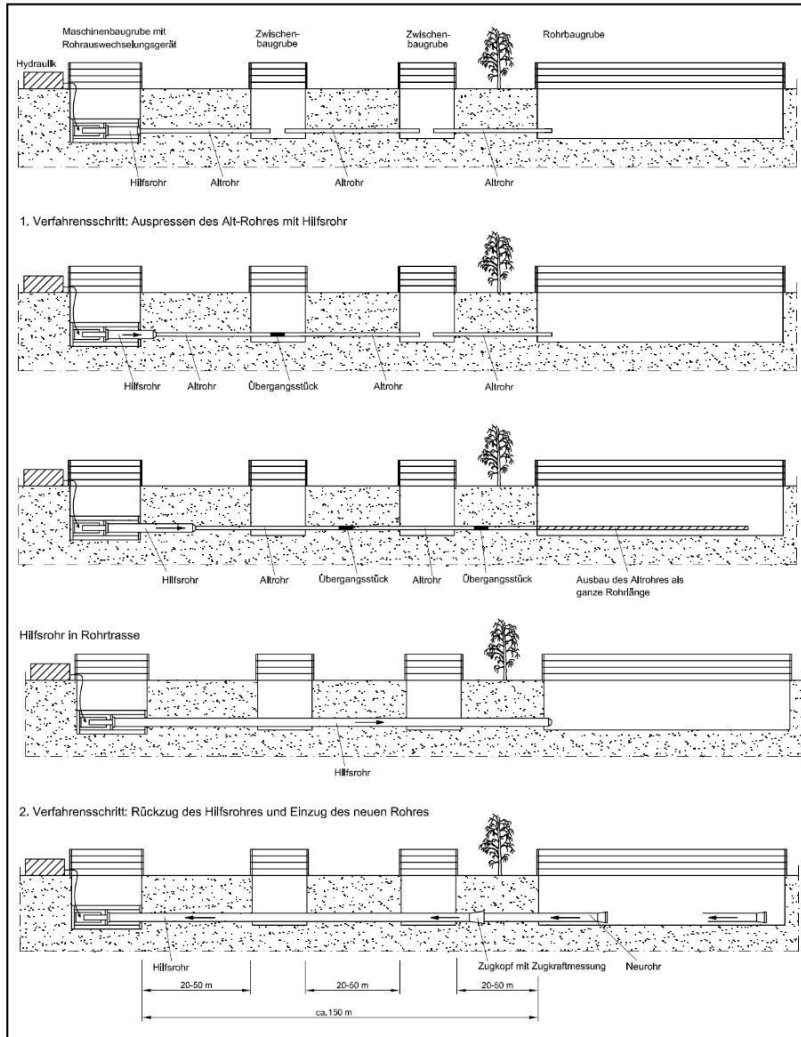


Bild 2: Schematische Darstellung Hilfsrohrverfahren mit z. B. zwei Zwischenbaugruben [1].



## **Bildnachweis**

[I] Auszug Werksnorm der Berliner Wasserbetriebe.

## **Ansprechpartner**

Norbert Friedhoff  
Bleck & Söhne Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG  
Riedemannweg 16–18  
13627 Berlin

Tel.: 030 / 34 60 02 - 44

Fax: 030 / 34 60 02 - 38

E-Mail: [friedhoff@bleck-soehne.de](mailto:friedhoff@bleck-soehne.de)

[www.bleck-soehne.de](http://www.bleck-soehne.de)

## 2 Permanente und mobile Hochwasserschutzsysteme

### 2.1 Versagensfälle von Deichen

Flussdeiche sind Dämme aus Erdbaustoffen an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser.

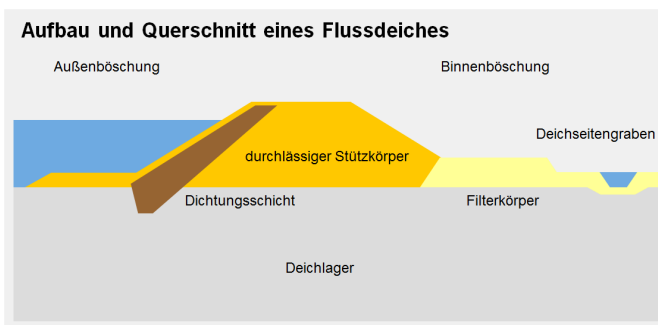


Bild 1: Prinzipieller Deichaufbau [I].

- Deichlager,
- durchlässiger Stützkörper,
- Dichtungsschicht,
- Außen- und Binnenböschung,
- Filterkörper/Auflastfilter,
- Deichseitengraben/Drainage.

Da viele alte Deiche diese Ansprüche nicht erfüllen, ist in den meisten Fällen der Einbau einer Spundwand die beste und wirtschaftlichste Möglichkeit, die nicht mehr standfesten Deiche zu stabilisieren.

Grundsätzlich wird in vier Versagensfälle unterschieden:

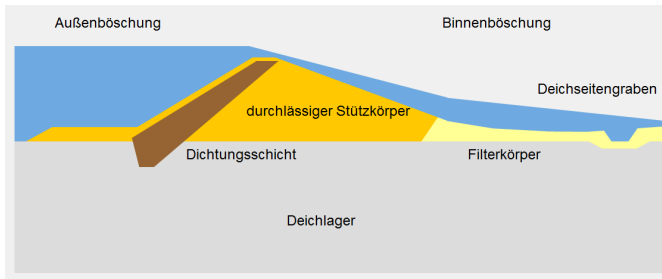


Bild 2: Versagensfall – Überströmen [I].

Das Wasser übersteigt die Deichkrone und fließt über die landseitige Böschung ab. Es wird in erheblichem Maße Bodenmaterial abgetragen. Es kommt zu „Auswaschungen“, beginnend an den Böschungskanten. Letztendlich bricht ein Teil der Deichkrone weg.

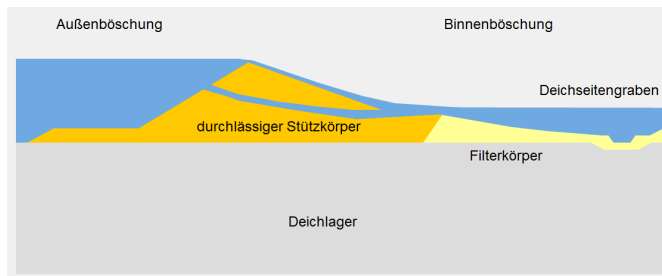


Bild 3: Versagensfall – Durchströmen [I].

Zum Durchströmen kommt es gerade bei langanhaltenden hohen Wasserständen und bei Deichkörpern mit Schwachstellen. Z. B.: bei inhomogenem Deichaufbau bzw. bei Schäden infolge Durchwurzelung oder durch Wühltiere. Es kommt zum punktuellen Wasseraustritt, Bodenteilchen werden ausgespült, es bilden sich röhrenförmige Hohlräume aus. Diese Röhren wachsen in Richtung Wasserseite.

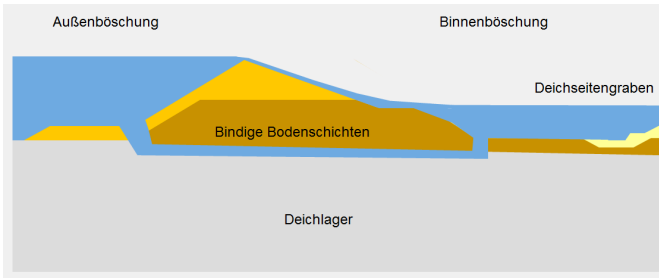


Bild 4: Versagensfall – Hydraulischer Grundbruch [1].

Vorwiegend bei geschichteten Untergründen – über einer gut wasserdurchlässigen Schicht liegt bindiger Boden. Bei steigendem Wasserstand erhöht sich der Porenwasserüberdruck in der wasserführenden Schicht und es entsteht eine nach oben gerichtete Kraft. Das Gewicht des Deichkörpers erzeugt einen ausreichenden Gegendruck. Im Bereich des Deichfußes ist die Bodenauflast geringer, der von unten kommende Wasserdruck ist größer und der Boden bricht plötzlich auf. Die Böschung rutscht ab, der Deich versagt.

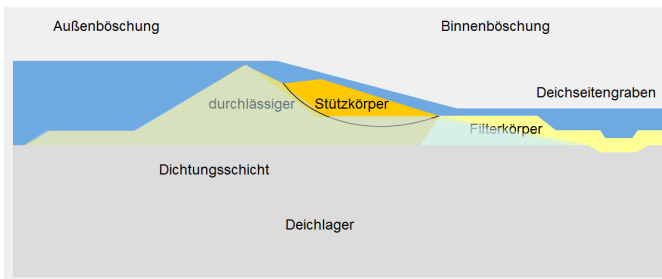


Bild 5: Versagensfall – Böschungsbruch [1].

Mit steigendem Wasserstand und stärker werdender Durchsickerung erhöht sich der Strömungsdruck im Deichkörper. Übersteigt dieser die widerstehenden Kräfte, so bildet sich eine Gleitfläche aus und der Böschungskörper rutscht auf dieser Gleitfläche ab. Der verbleibende Stützkörper des Deiches kann dem Wasserdruck nicht mehr standhalten und bricht. Die Böschung rutscht ab, der Deich versagt.

Stahlspundwände sorgen schnell und dauerhaft für Sicherheit und Standfestigkeit.

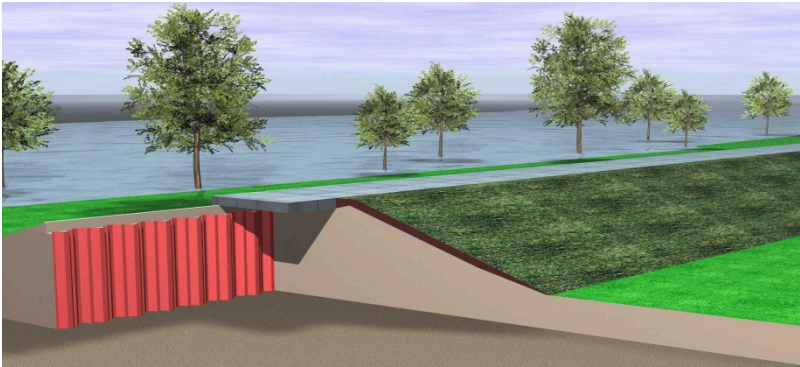


Bild 6: Modell Spundwandbauweise [I].

Die Vorteile der Spundwandbauweise sind:

- der schnelle und einfache Einbau kann witterungsunabhängig mit modernen Geräten erfolgen;
- bauliche Veränderungen sind jederzeit möglich (tiefer rammen und aufständern, umsetzen);
- es sind gute Anschlussmöglichkeiten an Sielbauwerke, für Durchörterungen oder Deichscharten vorhanden;
- sie ist hervorragend für den nachträglichen Einbau in vorhandene Dämme geeignet;
- der Werkstoff Stahl garantiert dauerhafte Sicherheit und ist 100%ig recycelbar;
- die Eigenschaften des Werkstoffs Stahl sind exakt definiert und berechenbar;
- sie bietet genug Stabilität für eine weitere Erhöhung der Deichkrone;
- die Spundwand übernimmt im Deich dauerhaft dichtende, lastabtragende und auch stabilisierende Funktionen;
- sie verhindert ein Unter- und Durchströmen und gibt dem Deich selbst dann Stabilität wenn die Deichvorderseite weggespült wird;

- die Spundwand ist undurchdringbar für Wühltiere und Baumwurzeln und verhindert somit dauerhaft das Entstehen von Sickerwegen;
- im Boden eingebracht, ist die Spundwand korrosionsunempfindlich und unsichtbar;
- die Spundwand macht problemlos Bewegungen im Deich mit, Risse sind nicht möglich.

## 2.2 Einsatzmöglichkeiten für Spundwände in Deichen

### 2.2.1 Wasserseitige Deichfußdichtung

Die wasserseitige Böschung wird durch Spundwände stabilisiert und kann somit steiler ausgebildet werden. Die Spundwand bietet sehr guten Kolk-schutz und ist daher auch bei vielen Deichneubauten sinnvoll.

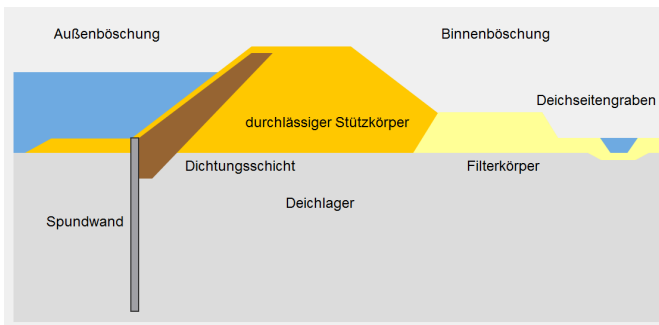


Bild 7: Wasserseitige Deichfußdichtung [I].

### 2.2.2 Landseitige Böschungsstabilisierung

Die Spundwand überträgt die Lasten aus der Böschung in das Deichauflager. Deiche können erhöht werden, ohne dass sie verbreitert werden müssen. Deichbau ist auch bei engen Platzverhältnissen (Bebauung) möglich.

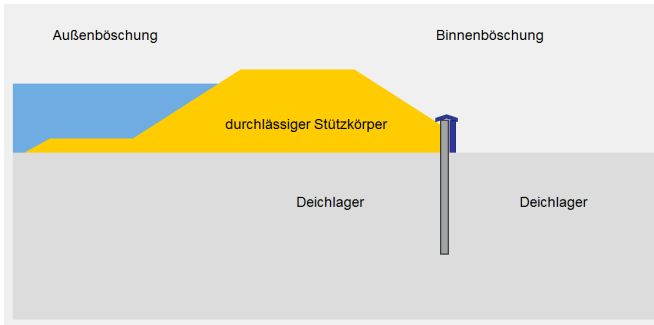


Bild 8: Landseitige Böschungsstabilisierung [I].

### 2.2.3 Unsichtbare Innendichtung

Die Spundwand stabilisiert die wasserseitige Böschung und die Deichkronen, da sie die Gleitkreise quert. Die landseitige Böschung wird durch Absenkung der Sickerlinie stabilisiert.

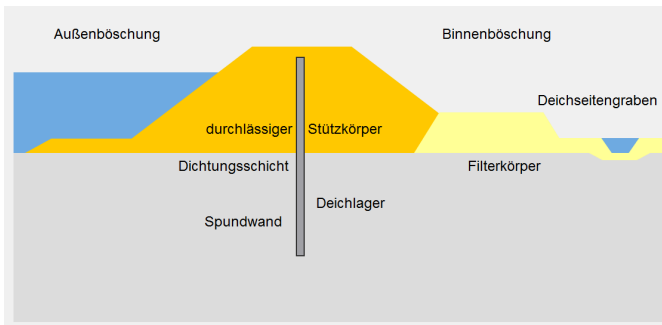


Bild 9: Unsichtbare Innendichtung [I].

## 2.2.4 Sichtbare Innendichtung, evtl. mit Verblendung

Der Deich mit Spundwänden ist einfach an ein erhöhtes Bemessungshochwasser anzupassen. Das System ist auch bei beengten Platzverhältnissen einsetzbar. Es ist keine Deichverbreiterung erforderlich.

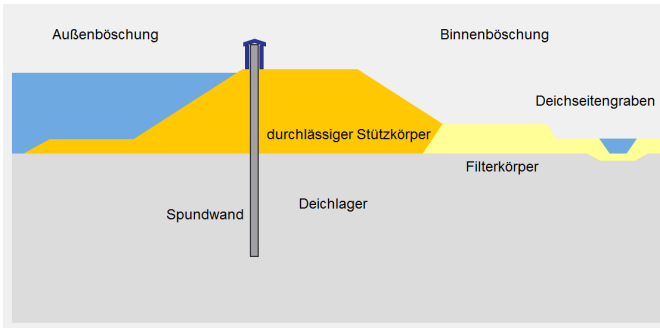


Bild 10: Sichtbare Innendichtung [I].

Des Weiteren können Spundwände einen Deich teilweise oder auch vollständig ersetzen. Es werden unterschiedliche Anforderungen für die Dichtigkeit von Spundwänden in Deichen gestellt:

- Wird eine hohe Dichtigkeit gefordert, so können die Spundwandschlösser zusätzlich gedichtet werden. Eine kostengünstige Variante ist die plastische Bitumendichtung, für besonders hohe Ansprüche an die Dichtigkeit empfehlen wir die elastische Kunststoffdichtung.
- Wird andernfalls eine hohe Durchlässigkeit gefordert, so können Schlitze in regelmäßigen Abständen angeordnet werden. Außerdem kann eine Staffelrammung vorgesehen werden.
- Zur Prüfung der Schlossintegrität können Schlosssprungdetektoren als Signalgeber eingesetzt werden. Bei Schlosssprungdetektoren mit induktivem Näherungsschalter besteht die Kontrolle an jeder Stelle bzw. zu jedem Zeitpunkt des Rammvorgangs.



## 2.2.5 Statische Funktion der Spundwand, am Beispiel einer innenliegenden Deichdichtung

Solange der Deich intakt ist, hat die Spundwand nur Dichtfunktion. Sie stabilisiert allerdings den Deich dadurch, dass sie mögliche Gleitflächen quert. Erst wenn ein Teil des Deiches weggebrochen ist, übernimmt die Spundwand die statische Funktion.

### Lastfall 1: Höchstes Hochwasser

Statisch nicht angesetzt wird hierbei ein Teil der landseitigen Böschung, die durch überlaufendes Wasser weggeschwemmt werden könnte.

### Lastfall 2: Sunk/Polderseitiger Wasserdruck

Wasser im Fluss sinkt schneller als der Grundwasserspiegel. So kommt es bei abfließendem Hochwasser zur Belastung aus entgegengesetzter Richtung. Die wasserseitige Böschung wird statisch nicht angesetzt, da sie durch die erhöhte Strömung während des Hochwassers weggeschwemmt werden kann. In diesem Lastfall hat das Versagen der Spundwand weit weniger schwere Folgen, da das Wasser bereits abfließt.

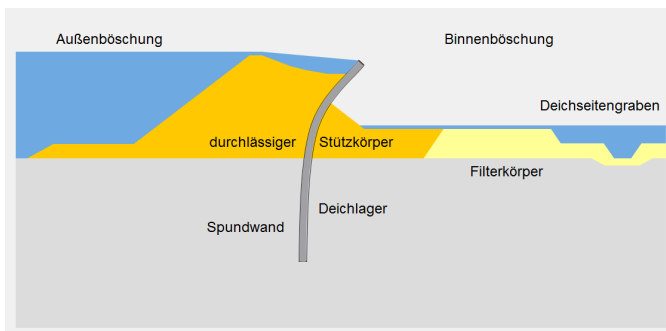


Bild 11: Überströmendes Wasser – Tragfähigkeit überschritten [I].

Kommt es beim höchsten Hochwasser zum Überströmen der Spundwand, ist das Schadenspotential sehr groß! Aber genau hier zeigt sich der große Vorteil der Spundwand, denn anders als beim Deichbruch kommt es nicht zum Totalausfall. Das wellenförmige Blech der Spundwand zieht sich glatt, aber die Schlösser bleiben intakt. Die Spundwand hält!

Die Gebrauchstauglichkeit der Wand ist zwar nicht mehr gegeben, aber es bleibt eine Resttragfähigkeit. Diese kann auch erhalten bleiben, da sich durch die Verformung eine andere Belastungssituation einstellt. Selbst bei extremer Überbelastung muss es nicht zum Totalausfall kommen.

### 2.3 Einbringverfahren

Das Einbringen der Spundwandprofile erfolgt hauptsächlich mit den drei bekannten Verfahren:

#### Vibrationstechnik

erschütterungsbehaftet



- mäklergeführte Hochkantvibratoren,
- freireitende Geräte,
- mittlere bis große Geräte frei am Kran hängend,
- für den Offshoreeinsatz geeignet,
- für kleinere Anwendungen: Baggeranbaugeräte.

#### Schlagende Technik (Rammen)



- Dieselhämmer benötigen keine externe Energieversorgung
- sie sind robust, zuverlässig und einfach in der Bedienung,
- hydraulische Freifallhämmer mit kraftvollem Schlagverhalten bei optimaler Geräuschdämpfung.

#### Einpresstechnik

erschütterungsfrei



- mäklergeführte Pressen mit relativ geringem Eigengewicht für leichtere Anwendungen,

Freischreitende Pressetechnik für die anspruchsvolleren Aufgaben:

- das Einpressen von Doppelbohlen ist möglich,
- bei schwierigen Bodenverhältnissen kann mit integrierten Einbringhilfen (Vorbohren, Wässerspülung) gearbeitet werden.

Bilder 12–14: Einbringverfahren [II].

## 2.4 Praktische Einsatzbeispiele



Bild 15: Neubau von Hochwasserschutzanlagen [II].



Bild 16: Sanierung und Ertüchtigung von bestehenden Hochwasserschutzanlagen [II].



Bild 17: Sofortmaßnahmen im Notfall [II].

## 2.5 Kombinationsmöglichkeiten mit permanenten oder temporären Aufsatzelementen

### 2.5.1 Permanente Aufsätze



**Kombinationsmöglichkeiten mit Beton/Mauerwerk bzw. Stahlspundwänden** (Bild 18/19 [II]).

- sehr robuste, permanente Lösung,
- hohe Lebensdauer,
- geringer Wartungsaufwand & Unterhaltskosten.



**Kombinationsmöglichkeiten mit Glaswänden** (Bild 20 [II]).

- ästhetische und elegante Lösung,
- lässt sich optimal in das Stadtbild einpassen,
- bruchsichere Glasscheiben,
- permanenter Einsatz ohne Sichtbehinderung,
- ideal für schwer zugängliche Stellen.

## 2.5.2 Mobile Aufsätze



### **Kombinationsmöglichkeiten mit mobilen Spundwandelementen (Bild 21/22 [II]).**

- sehr robuste Lösung,
- hohe Lebensdauer,
- geringer Wartungsaufwand,
- geringe Unterhaltskosten.

### **Kombinationsmöglichkeiten mit mobilen Dammbalkensystemen (Bild 23 [II]).**

- einfache Konstruktion mit wenigen Bauteilen,
- schneller Aufbau ohne Spezialwerkzeuge,
- optimierte Lagersysteme verfügbar,
- robust, hohe Einsatzsicherheit.



### **Das optimierte TKR-System (Bild 24 [II]).**

- Bajonettverschluss,
- Montage ohne Spezialkenntnisse,
- deutlich verkürzte Aufbauzeit,
- unempfindlich gegen Verschmutzung.



### **Die weiterentwickelte „Schnellbaustütze“ (Bild 25 [II]).**

- vereinfachte Konstruktion,
- kein Verdrehen der Stütze erforderlich,
- Verriegelung wird um 90° gedreht und arretiert,
- einfacher Transport durch geringes Gewicht.

## 2.5.3 Neueste Entwicklung „Köcher-Direktanschluss auf Stahlspundbohlen“

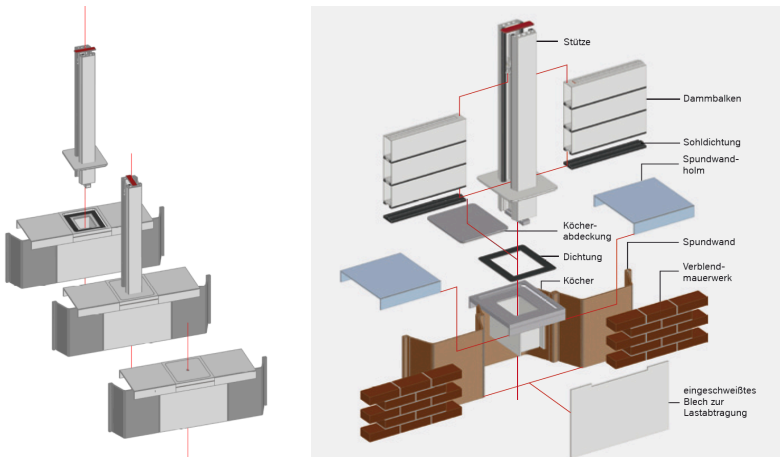


Bild 26: Köcher-Direktanschluss auf Stahlspundbohlen [I].

Damit ermöglichen wir den direkten Kraftfluss aus den Stützen in die Spundwand.

➔ Vorteile: geringere Kosten, verkürzte Bauzeit.

Bisher wurde auf die Spundwand ein Betonholm aufbetoniert, das bedeutet: Die Lasten werden von den Dammbalken in die Stützen eingeleitet. Diese müssen vom Betonholm aufgenommen und von diesem in die Spundwand weitergeleitet werden.

➔ sehr ungünstig (verschiedene Bauweisen: Stahlbau – Stahlbetonbau – Stahlbau).

## 2.5.4 Wenn ´s schnell gehen muss – Das Klapptafel-System

Das Klapptafel-System ist permanent vorhanden und temporär aufklappbar:



Bilder 26–28: Klapptafel-System [II].



Bild 29: Die freie Sicht auf die Landschaft bleibt erhalten, ausreichend Sitzgelegenheiten für Spaziergänger [II].

Neukonstruktionen können so konzipiert werden, dass die Spundwandoberkante um bis zu 1,00 m tiefer ausgeführt werden kann.

In hochwasserfreien Zeiten bleiben die schwenkbaren Wände heruntergeklappt und bilden eine begehbare Fläche bzw. eine Sitzfläche, sofern sie ein Stück aus dem Boden herausragen.

Die Vorteile des Klapptafel-Systems sind:

- es ist eine patentierte Neuentwicklung,
- die ideale Ergänzung für neue oder bestehende HWS-Anlagen,
- die meisten HWS-Wände (auch Beton) können nachgerüstet werden,
- schnelle Erhöhung um 50 cm bis zu 1,00 m möglich,
- verblüffend einfach – aber hoch effektiv,
- die Reaktionszeiten werden durch den Wegfall der Verlade- und Transportleistungen bedeutend verringert,
- manueller Aufbau von einer Person, ohne Hebezeuge, kein Strom erforderlich,
- das System ist immer vor Ort,
- kein Transport und keine Lagerhaltung notwendig,

- Nachrüstung bei Spundwänden mit Tragreserven möglich,
- ist sicher vor Vandalismus.

## 2.6 Fazit

Spundwände können alte Deiche stabilisieren und wieder standsicher machen. Beim Neubau von Deichen bieten sich viele Einsatzmöglichkeiten für die Spundwand. Spundwandlösungen sind besonders wirtschaftlich, der Einbau erfolgt sehr schnell. Spundwände gewähren eine hohe Lebensdauer – der Wartungsaufwand und die Unterhaltskosten sind gering. Die Spundwand bietet viele Kombinationsmöglichkeiten mit permanenten und temporären Aufsatzkonstruktionen. Es gibt eine Vielzahl praktischer Lösungen, die zugleich elegant und von hohem ästhetischem Anspruch sind.

## Bildnachweis

[I] Alle Abbildungen © ThyssenKrupp Bautechnik GmbH.

[II] Alle Aufnahmen © ThyssenKrupp Bautechnik GmbH.

## Ansprechpartner

Gerd Stüber  
ThyssenKrupp Bautechnik GmbH  
Leiter Technisches Büro  
Postfach 102253, 45022 Essen  
Hollestraße 7a, 45127 Essen

Tel.: 0201 / 844 56 2804

Fax 0201 / 844 56 2015

E-Mail: [gerd.stueber@thyssenkrupp.com](mailto:gerd.stueber@thyssenkrupp.com)  
[www.thyssenkrupp-bautechnik.com](http://www.thyssenkrupp-bautechnik.com)



Manfred Schafhauser

### **3 Grundwasseranstieg in Berlin – Ursachen, Wirkungen, Lösungsansätze**

Durch die deutliche Reduzierung der Grundwasserentnahme seit Beginn der 1990er Jahre von ca. 380 Mio. m<sup>3</sup>/a auf aktuell ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>/a ist der Grundwasserstand in Berlin – vor allem im Spreetal – in den letzten Jahren in einigen Bereichen um mehr als einen Meter angestiegen und hat dort bereits teilweise zu Vernässungen der Bausubstanz geführt. Betroffen sind insbesondere Gebiete von Spandau, Reinickendorf, Mitte und Köpenick (Bild 1).

Die Folgen der Vernässungen sind vielfältig. Sie reichen von eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten der Infrastruktur, z. B. von Heizanlagen, Kellern oder Fahrstühlen bis zu aufsteigendem Grundwasser in Wänden und der daraus resultierenden Schädigung des Mauerwerkes. Im schwersten Fall kann es sogar zu massiven Gebäudeschäden, auch höher liegender Etagen, mit entsprechenden gesundheitsschädlichen Auswirkungen durch Schimmelpilz- oder Schwammbildung kommen.

Vernässungsgefährdet sind heute vor allem Gebäude, die seinerzeit in Gebieten mit vermeintlich siedlungsverträglichen Grundwasserständen (Grundwasserflurabstand > 2,5 m) ohne entsprechende Abdichtungsmaßnahmen errichtet wurden und in denen der Grundwasserstand heute wieder angestiegen ist. Zu den betroffenen Gebäudetypen gehören neben denkmalgeschützter Altbausubstanz ebenso historische Werksgebäude der Industrie sowie Wohnsiedlungen und Eigenheime.

## Grundwasseranstieg 1989–2011

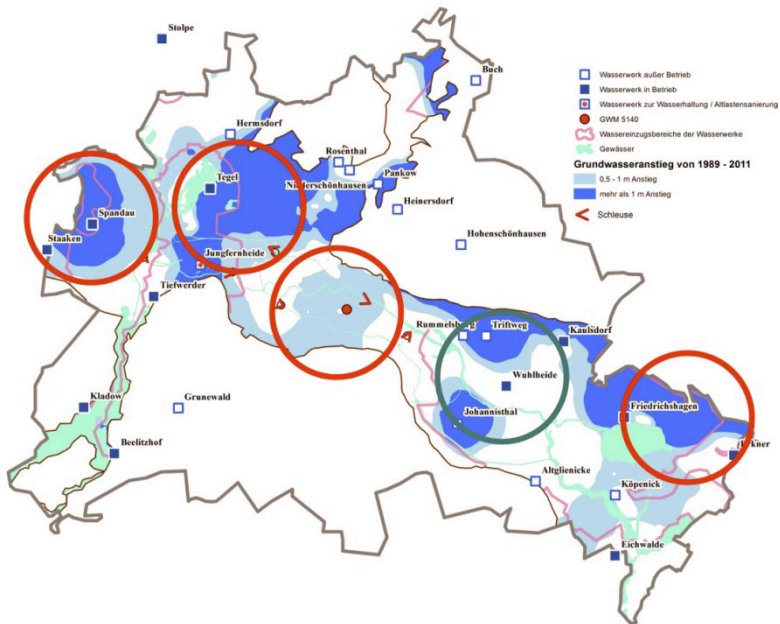


Bild 1: Grundwasseranstieg 1989 bis 2011 im Berliner Urstromtal [I].

In diesem Zeitraum ist das Grundwasser in einigen Bereichen um mehr als 1 m angestiegen. Betroffen sind vor allem Gebiete in Spandau, Reinickendorf, Mitte und Köpenick (rote Kreise). In Teilen von Treptow kam es aufgrund von Grundwassersanierungsmaßnahmen im Rahmen des ökologischen Großprojektes Berlin während dieser Zeit auch zu Grundwasserabsenkungen (grüner Kreis).

Der Anstieg des Grundwassers in Berlin ist vor allem auf die Stilllegung zahlreicher Wasserwerke bzw. eine Reduzierung der Grundwasserentnahme in den noch in Betrieb befindlichen Wasserwerken in Folge des geringeren Trinkwasserverbrauchs zurückzuführen. Hinzu kommt, dass Grundwasserentnahmen durch Eigenwasserversorger und Bauwasserhaltungen ebenfalls rückläufig sind.

### **3.1 Grundwasserflurabstand 1989/2011**

Im Jahr 1989 waren noch annähernd alle verfügbaren Wasserwerke in Berlin in Betrieb. Die Rohwasserfördermenge betrug seinerzeit 378 Mio. m<sup>3</sup>/a. Der Bereich mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen (Grundwasserflurabstand < 2,5 m) hatte eine Fläche von ca. 15 % des Spreetals (Bild 2).

Bis zum Jahr 2011 hatte sich die Zahl der betriebenen Wasserwerke deutlich reduziert. Die Rohwasserfördermenge betrug im Jahr 2011 nur noch 202 Mio. m<sup>3</sup>/a. Der Bereich mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen hatte sich bis zum Jahr 2011 um ca. 10 % auf eine Fläche von ca. 25 % des Spreetals vergrößert (Bild 3).

Die Grundwasserentnahmen in den Wasserwerken werden sich entsprechend den Prognosen im Wasserversorgungskonzept 2040 für Berlin in den nächsten Jahren weiter reduzieren, was vor allem im Berliner Spreetal voraussichtlich zu einem fortgesetzten Grundwasseranstieg und damit zu einer Zunahme der Bereiche mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen (Grundwasserflurabstand < 2,5 m) führen wird. Im ungünstigsten Fall kann sich der sog. zeHGW (zu erwartender höchster Grundwasserstand) einstellen.

## Grundwasserflurabstand 1989

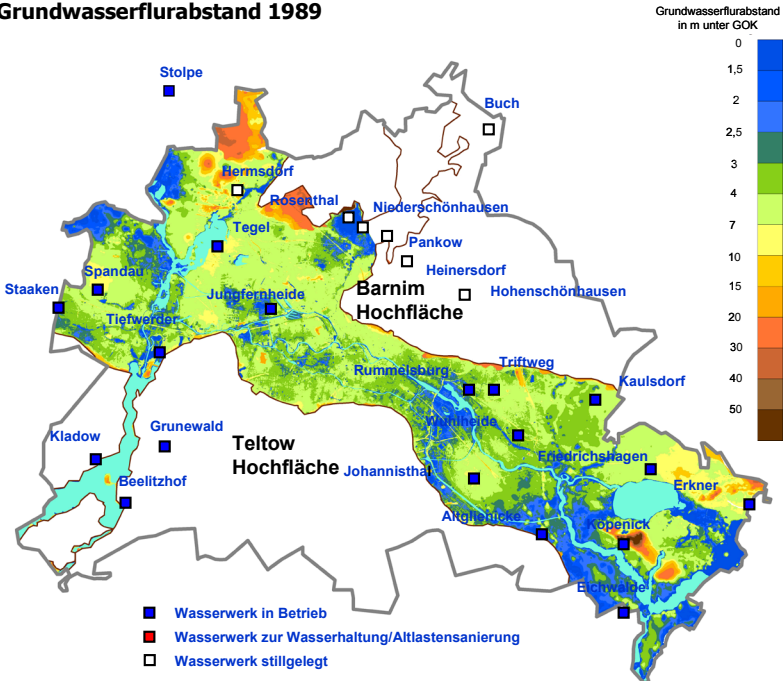


Bild 2: Grundwasserflurabstand 1989 [I].

Bereiche mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen (blau) hatten seinerzeit eine flächige Ausdehnung von ca. 15 % des Spreetals.

### Grundwasserflurabstand 2011

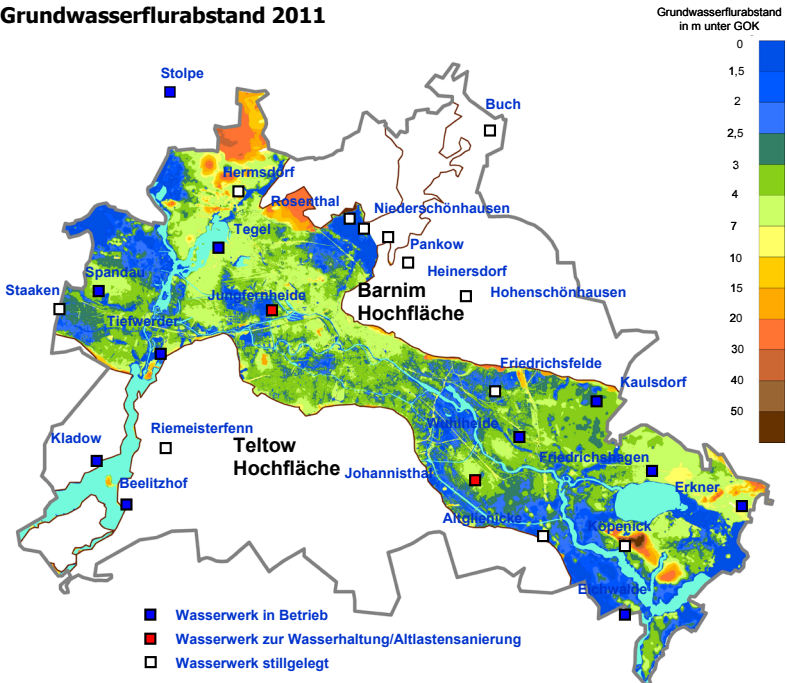


Bild 3: Grundwasserflurabstand 2011 [I].

Bis zum Jahr 2011 hatte sich die Zahl der betriebenen Wasserwerke deutlich reduziert. Der Bereich mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen (blau) hatte sich bis zum Jahr 2011 um ca. 10 % auf eine Fläche von ca. 25 % des Spreetals vergrößert.

### 3.2 Grundwasserflurabstand bei zeHGW-Bedingungen

Im Falle des Eintritts von zeHGW-Bedingungen (zu erwartender höchster Grundwasserstand) würde sich ohne Gegenmaßnahmen der Bereich mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen auf eine Fläche von ca. 55 % des Spreetals ausdehnen (Bild 4).

Möglichkeiten zur Steuerung des Grundwasserstandes bestehen derzeit im Nordwesten und Südosten von Berlin durch bestehende Wasserwerke. In zentralen Bereichen von Berlin sind dagegen keine Wasserwerke als Steuerungswerkzeug vorhanden. In diesen Bereichen liegen bereits heute schon unbeeinflusste Grundwasserstände vor. Um die zentralen Bereiche des Spreetals zu sichern ist eine deutliche Erhöhung der Grundwasserförde-

rung in Berlin aus allen zu Verfügung stehenden Wasserwerken erforderlich.

### Steuerungsmöglichkeiten bei zeHGW

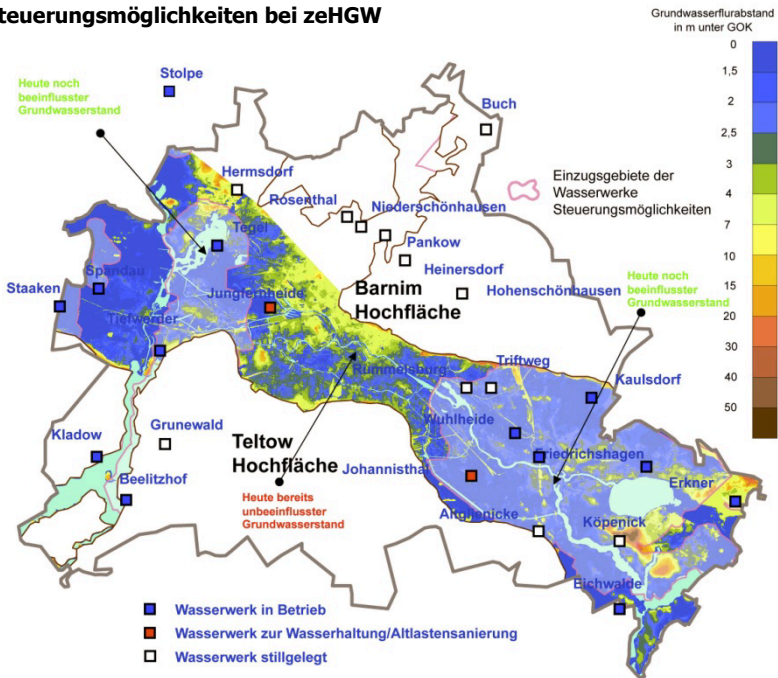


Bild 4: Grundwasserflurabstand bei Eintritt des zeHGW (zu erwartendem höchsten Grundwasserstand) [II].  
 Bereiche mit siedlungsunverträglichen Grundwasserständen (blau) hätte ohne Gegenmaßnahmen eine flächige Ausdehnung von ca. 55 % des Spreetals. Steuerungsmöglichkeiten zur Grundwasserregulierung bestehen derzeit im Nordwesten und Südosten von Berlin durch bestehende Wasserwerke.

### 3.3 Lösungsansätze zur Einhaltung siedlungsverträglicher Grundwasserstände

In Summe ist zur Einhaltung siedlungsverträglicher Grundwasserstände in Berlin ein ausgeglichener Grundwasserhaushalt erforderlich, d. h. die Grundwasserentnahmemenge muss dem Grundwasserdargebot entsprechen. Um eine ausgeglichene Bilanzierung des Grundwasserhaushalts in

Berlin zu erreichen, ist eine Grundwasserentnahmemenge von ca. 300 bis 330 Mio. m<sup>3</sup>/a erforderlich.

Folgende Lösungsansätze wären zur Einhaltung siedlungsverträglicher Grundwasserstände denkbar:

- Erhöhung der Förderung in bestehenden Wasserwerken und Reduzierung der Grundwasseranreicherung,
- Wiederinbetriebnahmen stillgelegter Wasserwerke,
- Instandsetzung und Ergänzungen von Entwässerungsgräben,
- Ökologisch und Ökonomisch sinnvoller Nutzung des geförderten Grundwassers,
- Rückbau von Versickerungsbereichen von Niederschlagswasser.

## **Bildnachweis**

[I] Verändert durch KWS Geotechnik GmbH nach SenStadtUm/Umweltatlas Berlin 2012.

[II] Verändert durch KWS Geotechnik GmbH nach Limberg et. al. 2010.

## **Literatur**

Abgeordnetenhaus von Berlin (2009): Mitteilung zur Kenntnisnahme – Wasserbewirtschaftungsplan vorlegen – Wasserwerk Jungfernheide nicht schließen (alt) - Siedlungsverträgliche Grundwasserstände sicherstellen (neu) – Drs 15/3551, 15/3703, 15/4131, 15/5549 u. 16/1264 - Abschlussbericht. – Drucksache 16/2317, 15.04.2009, Berlin.

<http://www.parlament-berlin.de/ados/16/StadtVerk/vorgang/sv16-0296-v.pdf> [letzter Zugriff am 20.01.2014].

Bärthel, H. (1997): Wasser für Berlin: Die Geschichte der Wasserversorgung – Hrsg: Berliner Wasser-Betriebe, Verlag für Bauwesen, Berlin.

Berlin in Zahlen 1945 – 1947, 1950, 1951. - Verl. Das Neue Berlin, Berlin.

BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2009): Ermittlung des Bemessungswasserstandes für Bauwerksabdichtungen. - Merkblatt BWK-M8, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2003): Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen - Statusbericht. - Bericht 1/2003, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Hochwasserschutzfibel - Objektschutz und bauliche Vorsorge, 5. Aufl. Berlin.  
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/65178/publicationFile/36962/hochwasserschutzfibel.pdf> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- Denner, J. (1947): Gutachten über Grundwasserverhältnisse und den hohen Grundwasserstand in der Innenstadt Berlin i. J. 1945/46.- 20 S., 1 Anh., Gutachten i. A. des Magistrats von Berlin.
- DIN 18195-1, Norm, 200-08 Bauwerksabdichtungen – Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten.
- Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (2002): Topographische Stadtkarte 1:25.000 von Berlin, Blatt 3445, Frankfurt (Oder).
- Kley, G. (1996): Wasserwerk Jungfernheide 1896 - 1996.- 60 S., Berliner Wasser Betriebe Historische Beiträge Heft 3, Hrsg. Berliner Wasser Betriebe, Berlin.
- Kürten, D. (1948): Die Ursachen des hohen Grundwasserstandes in Berlin. - S. 25-35, in: Berliner Statistik, Mitteilungen aus der Verwaltung und Wirtschaft, Hrsg. Hauptamt für Statistik von Groß-Berlin, 2. Jg./ Heft 2/3, Berlin.
- Krautz, I. ( 1871): Grundwasserbohrungen in der Jungfernheide und in Tegel – 1 Übersichts-karte ca. 1:18 000 und 2 Profilblätter. - Hrsg.: Verlag D. Reimer; Berlin.
- Limberg, A., Hörmann, U. & Verleger, H. (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes im Land Berlin. - Brandenburg. geowiss. Beitr., 17 (2010), S. 23-37, Cottbus. - <http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/hgw-artikel.pdf> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- Schlichting, R. (1946): Das Grundwasser steigt in Berlin. - Neue Bauwelt, Heft 20, Seite 10-11, Berlin.
- Senat für Raumforschung und Landesplanung (1960): Deutscher Planungsatlas – Atlas von Berlin, Berlin.
- SenStadtUm (2008): Informationen zur Grundwasserauskunft in Berlin.  
<http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/download/grundwasserauskunft.pdf> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- SenStadt (2005): Bauordnung für Berlin (BauO Bln) vom 29. September 2005. - (GVBl. S. 495), Berlin.
- SenStadt (1992-2012): Digitaler Umweltatlas Berlin.  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/index.shtml> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- SenStadt (2012): Fis-Broker – Karten, Pläne, Daten - online.  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- Stadtrat Bonatz (1948): Stellungnahme zum Grundwasseranstieg in Berlin. – In: Amtlicher stenographischer Bericht über die 58. Ordentliche Sitzung der Stadtverordnetenversammlung von Groß-Berlin am Donnerstag, den 11. März 1948, Protokollauszug, 2 S., Berlin.



- Statistisches Jahrbuch 1952: Hrsg. Statistisches Landesamt Berlin.
- UBB (2008): Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den BWB versorgte Umland (Entwicklung bis 2040). – Hrsg. Möller, K. & Burgschweiger, J., Auftraggeber: Berliner Wasserbetriebe, Berlin.  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/download/wvk2040.pdf> [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- Vahldiek, H. (2007): Berlin - Neue Erkenntnisse zur Gründung und Stadtentwicklung - Experimentelle Forschungen und Studien zur Geschichte Berlins. 126 S., Berlin.
- Verleger, H. & Limberg, A. (2013): Einfluss des Klimawandels auf die Grundwasserstände im Urstromtal von Berlin – Orientierende Untersuchungen. - Brandenburg. geowiss. Beitr., 20 (2013), S. 93-100, Cottbus  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/BGB\\_2013\\_Verleger\\_Limberg.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/BGB_2013_Verleger_Limberg.pdf) [letzter Zugriff am 20.01.2014].
- Wiebe, A. (Hrsg.) (1896): Berlin und seine Bauten – I. Einleitendes Ingenieurwesen. - Verlag Wilhelm Ernst & Sohn – neu herausgegeben vom Architekten-Verein zu Berlin und der Vereinigung Berliner Architekten.
- Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. - WTA (2005): Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile. - Merkblatt 4-6-05/D, Referat 4 Mauerwerk, Fraunhofer IRB Verlag, München.
- Wittenberg, H.: Grundwasser (2010): In: Strigl, G. (Hrsg.), Ebner von Eschenbach, A - D., Barjenbruch, U.: Wasser – Grundlage des Lebens - Hydrologie für eine Welt im Wandel, Stuttgart.

## **Ansprechpartner**

Dr. Manfred Schafhauser  
KWS Geotechnik GmbH  
Lützowstr. 102–104  
D – 10785 Berlin

Tel.: 030 - 26399630  
Fax. 030 - 26399639

E-Mail: [manfred.schafhauser@kwsberlin.de](mailto:manfred.schafhauser@kwsberlin.de)  
[www.kwsberlin.de](http://www.kwsberlin.de)



Albrecht Kleibl

## 4 Energieeffizienz in der Vibrationsrammtechnik

### 4.1 Einleitung

Das Wachstum der Weltbevölkerung, die fortschreitende Urbanisierung sowie der Klimawandel, der mit zunehmender Unwetterhäufigkeit, Hochwassern und dem Ansteigen des Meeresspiegels einhergeht, stellen neue Ansprüche an Leistung, Verfügbarkeit und Rentabilität der Maschinen und Verfahren.

Die großen Infrastrukturprojekte werden sich zunehmend auf Länder konzentrieren, die wir heute als Entwicklungsländer bezeichnen, es sind Lösungen zur Finanzierbarkeit zu finden.

Gleichzeitig sind Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch beim Bauen kritisch zu prüfen. Prinzipiell stehen wir als Baumaschinenindustrie vor der Herausforderung, Baumaschinentechnik anzubieten, die in puncto Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Effizienz neue Maßstäbe setzt.

### 4.2 Maschinen- und Prozesseffizienz

Bei der Betrachtung der Effizienz bietet es sich an, zwischen Maschinen- und Prozesseffizienz zu unterscheiden. Bild 1 zeigt schematisch die Leistungsverluste im Gesamtsystem.

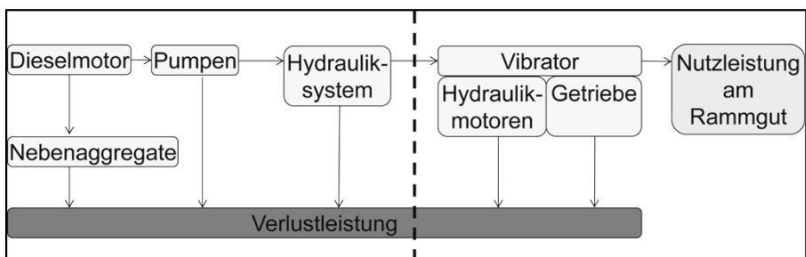


Bild 1: Verluste im Gesamtsystem [1].

Der Bereich Maschineneffizienz erfasst alle Energieumwandlungen und Hilfsprozesse, die auf dem Trägergerät bis zur Übertragung der Leistung an das Arbeitsgerät stattfinden und gibt dann einen spezifischen Kraftstoffverbrauch pro kWh hydraulische Leistung an. Die hydraulische Leistung wäre dann an der Schnittstelle zum Arbeitsgerät zu messen.

Die Prozesseffizienz ist schwieriger zu definieren. Sie bezeichnet die Effizienz, mit der der Vibrator die angebotene Leistung in Nutzarbeit umsetzt. Hier sind mehrere Probleme zu berücksichtigen:

1. Erstens ist die Nutzarbeit nicht unbedingt eine Arbeit im physikalischen Sinn. Es handelt sich eher um einen spezifischen Energieaufwand, anzugeben beispielsweise in kWh hydraulische Leistung pro m<sup>2</sup> gerammte Spundwand.
2. Zweitens kann das Arbeitsgerät die angebotene Leistung häufig nicht vollständig umsetzen, beispielsweise, wenn das Rammgut zu schwer ist und aufgrund der geringen Schwingweite nur eine niedrige Vortriebsgeschwindigkeit erreicht wird. Ein größerer Vibrator könnte die Leistung besser nutzen und mehr Vortrieb realisieren. Einerseits wäre dieser größere Vibrator besser zu bewerten, weil mit gleicher angebotener Leistung mehr Nutzen realisiert wird, andererseits geht, bei physikalisch sauberer Betrachtung, in eine Effizienz nur die tatsächlich in Anspruch genommene Leistung ein.
3. Drittens hängt die Effizienz, mit der ein Vibrator die angebotene Leistung umsetzt von sehr vielen Faktoren, wie z. B. vom Boden, Rammgut, vorgewählter Drehzahl, zulässiger Bodenschwingung usw., ab.

Aus genannten Gründen könnte sich eine Beurteilung der Prozesseffizienz nur für den Einzelfall mit einer Kennzahl erfolgen. Eine umfassende Bewertung ist kompliziert.

Da die Energieumwandlung (Verbrennungsmotor-Hydraulikpumpe) und Übertragung (Hydraulik) zum deutlich größeren Teil an der Maschine stattfindet, ist für die Bewertung des Gesamtsystems eine Klassifizierung der Maschineneffizienz, die relativ einfach und wirtschaftlich realisierbar

scheint, auch ohne Berücksichtigung der Prozesseffizienz sinnvoll und aussagefähig.

## **4.3 Steigerung der Maschineneffizienz**

### **4.3.1 Stand der Technik und Prinzip der VV-Vibratoren**

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Vibrationsrammtechnik im Spezialtiefbau etabliert und wird für immer neue Anwendungen eingesetzt. Dabei sind sowohl die Größe der Maschinen als auch die installierte Leistung gewachsen. Der Antrieb der Vibratoren erfolgt meist hydraulisch, wobei eine effiziente Energieübertragung durch folgende Merkmale erschwert wird:

- Bei Antriebsleistungen von bis zu mehr als 500 kW bei mäklergeführten Vibratoren und teilweise über 1.000 kW bei Freireitern werden Ölvolumenströme in der Größenordnung von 700 bis über 1.000 l/min bewegt.
- Die Übertragungswege sind lang, Gesamtlängen der Hydraulikleitungen von 50 m sind bei Vibrationsrammgeräten keine Seltenheit.
- Da die Vibratoren samt Rammgut am Mäklärverfahren werden, sind flexible Zuleitungen erforderlich und die Förderquerschnitte begrenzt.
- Da Vibratoren ihre Kraftwirkung aus den Reaktionskräften rotierender Unwuchten generieren, ist im Gegensatz zu anderen Baumaschinen, bei denen die Leistung von Hydraulikzylindern umgesetzt wird, der Ölvolumenstrom auch dann aufrecht zu erhalten, wenn aktuell keine oder nur geringe Leistung umgesetzt wird.

Die im Rammprozess erforderliche Leistung wird von vielen Faktoren wie Rammgutmasse, Zug- oder Vorspannkraft und Baugrund bestimmt. Da der Bodenwiderstand zu Beginn einer Rammung meist gering ist und erst mit zunehmender Tiefe ansteigt, die installierte Antriebsleistung aber den Anforderungen zum Erreichen der Solltiefe genügen muss, ist häufiger Teillastbetrieb nicht zu vermeiden.

Herkömmliche Vibratoren sind mit Hydraulikmotoren mit konstantem Schluckvolumen ausgerüstet, deren Ölvolumenstrom der Drehzahl entspricht und unabhängig von der abgenommenen Leistung Verluste verursacht. Besonders unvorteilhaft ist das Verhältnis zwischen Nutz- und Verlustleistung im Teillastbereich.

Seit etwa vier Jahren bietet ABI Vibratoren an, deren Antrieb durch Hydraulikmotoren mit verstellbarem Schluckvolumen erfolgt. Diese Technik bietet folgende Vorteile:

- Die verfügbare hydraulische Leistung kann besser ausgenutzt werden.
- An bestehende Trägergeräte werden größere Vibratoren angebaut und während der überwiegenden Betriebszeit mit höherer Leistung betrieben.
- Der Einsatzbereich erweitert sich, da in Betriebszuständen, beispielsweise bei sehr hoher Drehzahl, gearbeitet wird, die bisher nur mit teuren Sonderkonstruktionen möglich gewesen wären.
- Die Getriebe sind moderner aufgebaut und effizienter.
- Durch Anpassung des Schluckvolumens der Hydraulikmotoren kann im Teillastbereich der Ölvolumenstrom bei gleichbleibender Vibratordrehzahl reduziert werden, die hydraulische Verlustleistung verringert sich.

Im Folgenden werden diese Technik und das daraus resultierende Sparpotential erläutert sowie erste Ergebnisse präsentiert.

#### 4.3.2 Einsparpotential im Hydrauliksystem

Im Diagramm in Bild 2 werden anhand eines Beispiels die hydraulische Leistung an der Pumpe und die Verlustleistung im Hydrauliksystem sowie die daraus resultierende nutzbare Leistung als Funktionen des Volumenstroms dargestellt.

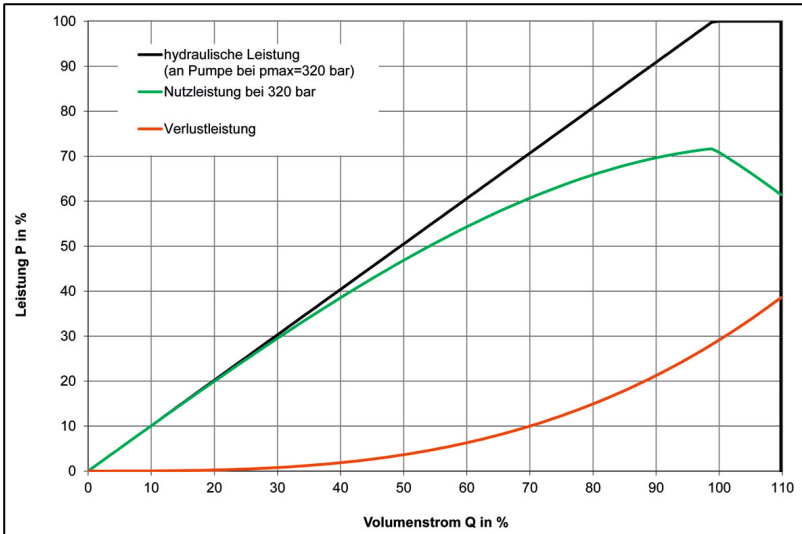


Bild 2: Hydraulische Leistung und Übertragungsverluste [1].

Es zeigt sich, dass sich bei gegebener Hydraulikanlage die Nutzleistung durch größere Volumenströme nicht steigern lässt. Eine Reduzierung des Volumenstroms geht mit deutlich geringeren Verlusten einher, zieht jedoch nur geringe Einschränkungen bei der nutzbaren Leistung nach sich.

Beim Vibrationsrammen herrscht Teillastbetrieb vor. Eine häufige Aufgabenstellung ist das Einbinden der Spundwandprofile in einen wasserdichten Bodenhorizont. Dieser besteht in der Regel aus bindigem Material und ist schwer rammbar. Oft wird bis zum Erreichen der entsprechenden Tiefe die volle Leistung nicht abgerufen. Da bei herkömmlichen Vibratoren, um die Drehzahl zu halten, der Volumenstrom nicht reduziert werden kann, stellt sich das Verhältnis von Nutz- und Verlustleistung meist schlechter dar, als in Bild 2 dargestellt. Im Diagramm sind nur die Verluste im hydraulischen System nach der Pumpe berücksichtigt.

#### 4.3.3 Efficiency Drive

Efficiency Drive bezeichnet eine neu entwickelte ABI-Steuerung. Diese beschränkt die hydraulischen Verluste dadurch, dass immer dann, wenn

der Vibrator im Teillastbereich betrieben wird, der Ölvolumenstrom reduziert wird. Um die Vibratordrehzahl konstant zu halten, wird das Schluckvolumen der Hydraulikmotoren am Vibrator entsprechend angepasst.

Die Auslastung des Systems wird anhand des Arbeitsdrucks ermittelt. Fällt dieser unter einen Grenzwert werden die Pumpen zurückgeschwenkt. Volumenstrom und hydraulische Verluste verringern sich. Es zirkuliert nur so viel Hydrauliköl, wie zur Übertragung der am Rammgut umgesetzten Leistung erforderlich ist. Der Druck stellt sich dabei im oberen zulässigen Bereich ein.

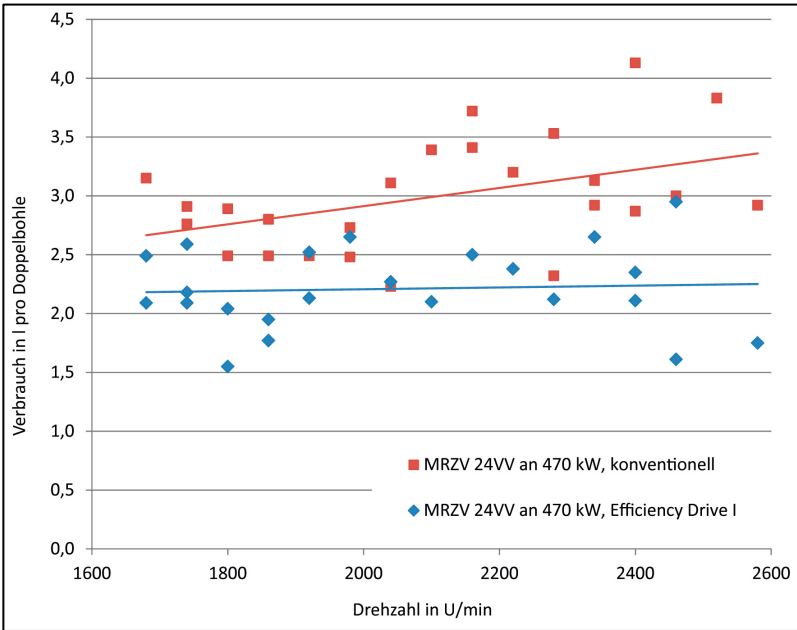


Bild 3: Effekt des ABI Efficiency Drive I [I].

Bei Baustellenversuchen wurden Doppelbohlen PU 12 mit 5,5 m Länge abwechselnd mit zwei 470 kW Maschinen gerammt. Eine der Maschinen war mit der neuen Steuerung ausgestattet. Aufgrund der extrem schweren Bodenverhältnisse wurde vorgebohrt. Im Diagramm in Bild 3 sind Ver-



brauchswerte pro Diele dargestellt. Die beiden Linien dienen nur der Verdeutlichung der Unterschiede.

Auf dieser Baustelle wurde durch den Einsatz der neuen Steuerung ein Vorteil von etwas mehr als einem Liter Diesel pro Diele realisiert. Bei guter Organisation und reibungslosem Baustellenablauf konnten etwa 10 bis 14 Dielen pro Stunde eingebracht werden.

Die neue Steuerung wird in verschiedenen Versionen angeboten. Während der Efficiency Drive I ausschließlich hydraulische Verluste minimiert, wird beim Efficiency Drive II wird auch die Dieselmotordrehzahl angepasst. Dabei wird der Betriebspunkt des Dieselmotors optimiert, die Pumpen weniger zurückgeschwenkt.

Das Potential, dass der Efficiency Drive II erschließt, wird in Bild 4 deutlich. Das Motorkennfeld [2] zeigt den spezifischen Kraftstoffverbrauch in g/kWh in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment. Überlagert wird das Kennfeld durch mehrere Hyperbeln, die Kupplungsleistungen angeben, die aus Drehzahl und Drehmoment resultieren. Besonders im unteren Teillastbereich ist der Einfluss der Dieselmotordrehzahl auf den Verbrauch erheblich.

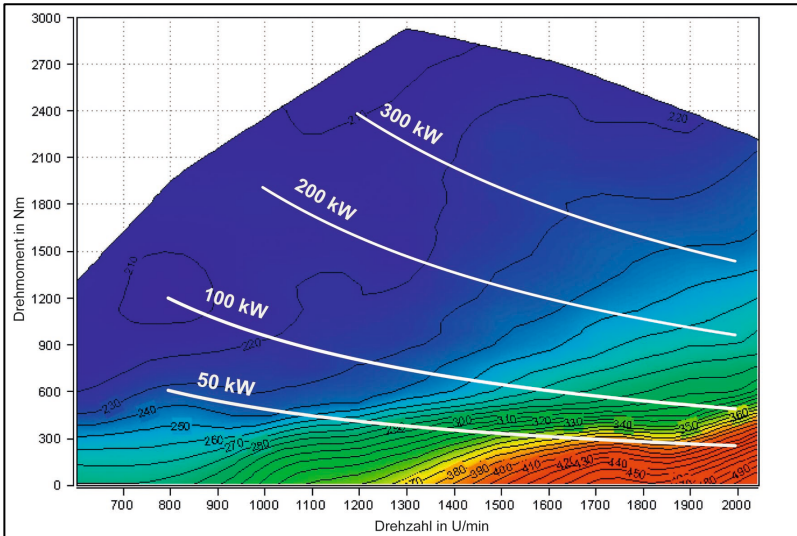


Bild 4: Möglichkeiten der Effizienzsteigerung Drehzahlanpassung beim Dieselmotor [I].

#### 4.3.4 Allgemeine Möglichkeiten zur Steigerung der Maschineneffizienz

Unabhängig von Steuerungskonzepten wie Efficiency Drive I oder II ist eine Reduzierung der hydraulischen Verlustleistung immer eine Option zur Steigerung der Maschineneffizienz.

Bei ABI wurden in den letzten Jahren verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Maschineneffizienz zu steigern. Bei den modernsten Maschinen TM 22 und TM 17 wurden diese serienmäßig umgesetzt:

- die Maschinen verfügen über sechs statt vier Arbeitsleitungen,
- der Maximaldruck ist auf 330 Bar eingestellt,
- durch Verwendung anderer hydraulischer Baugruppen und zusätzlicher optimierender Steuerung konnten die hydraulischen Verluste minimiert werden.

Der letzte Punkt wurde bislang nur an einer Versuchsmaschine realisiert.

Das Diagramm in Bild 5 zeigt den spezifischen Verbrauch in l/kWh hydraulische Leistung als Funktion der hydraulischen Leistung am Vibrator für vier und sechs Arbeitsleitungen bei unterschiedlichen Steuerkonzepten. Gemessen wurde an einer TM 17, wobei für eine Messung zwei Leitungen abgeklemmt wurden. Sowohl die größere Zahl von Arbeitsleitungen als auch die Steuerungen Efficiency I und II ermöglichen deutliche Steigerungen der Maschineneffizienz.

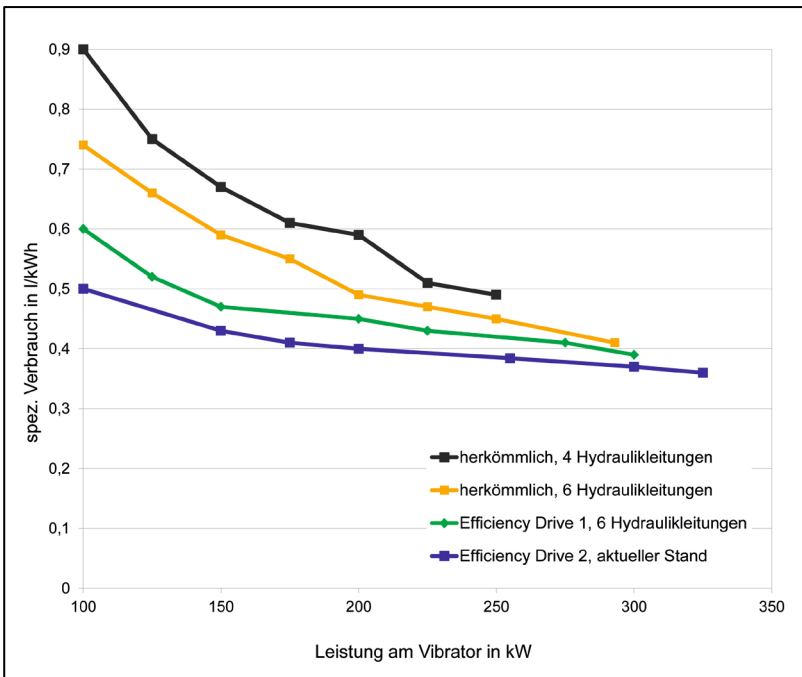


Bild 5: Optimierung der Maschineneffizienz [1].

#### 4.4 Einflussmöglichkeiten auf die Prozesseffizienz

Die Prozesseffizienz wird maßgeblich von den Parametern Schwingweite, Drehzahl und Vorspannung bestimmt, wobei hier dem Wissen und der Erfahrung des Maschinenfahrers eine große Bedeutung zukommt.

Bild 6 zeigt gemessene Vortriebsgeschwindigkeiten als Funktion von Schwingweite und Vibratordrehzahl. Der Baugrund bestand aus aufgeschüttetem Schotter mit vielen Feinanteilen. Alle drei Vibratoren wurden am gleichen Trägergerät betrieben. Die Darstellung zeigt, dass sich die Vortriebsgeschwindigkeit mit größerer Schwingweite deutlicher steigern lässt als mit hoher Drehzahl. Interessanterweise war die Leistungsaufnahme des MRZV 18S am geringsten, die Effizienz entsprechend hoch. In bindigen Böden ist dieser Effekt oft zu beobachten. Hier erreichen VV-Vibratoren, die bei reduzierter Drehzahl größere Schwingweiten realisieren, eine deutlich höhere Prozesseffizienz.

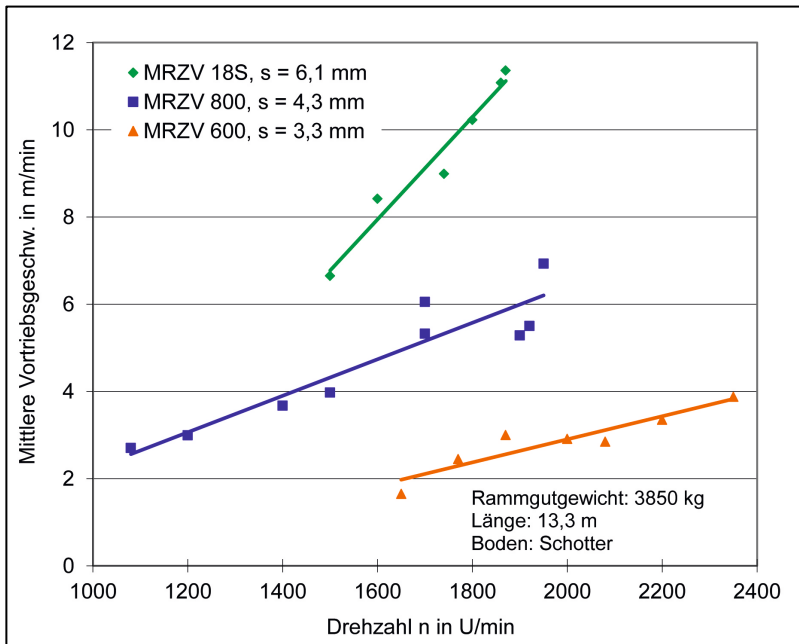


Bild 6: Vortriebsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Drehzahl und Schwingweite [I].

In diesem Zusammenhang soll auf einen neu entwickelten Vibrator hingewiesen werden. Nach etwa vier Jahren Marktpräsenz wird der sehr verbreitete MRZV 24VV von seinem Nachfolger, dem MRZV 28VV, abgelöst. Wesentliche Kennwerte der beiden Vibratoren sowie der

Vorgängermodelle werden in Bild 7 tabellarisch gegenübergestellt. Zum Vergleich sind zwei Modelle der großen Baureihe aufgeführt.

Die Entwicklung zu immer größeren statischen Momenten bei möglichst niedriger dynamischer Masse wurde mit dem MRZV 28VV konsequent weitergeführt. Dementsprechend erreicht der Vibrator deutlich größere Schwingweiten und ermöglicht Rammarbeiten, die mit den Vorgängermodellen nicht realisierbar waren. Ein Vergleich der Schwingweiten ist dem Diagramm in Bild 8 zu entnehmen.

Vibratoren MRZV		925VS	20VV	24VV	28VV	1400VS	30VV
stat. Moment $M_{\text{stat}}$	kgm	16	20	24	28	24	30
dynamische Masse $m_{\text{dyn}}$	kg	2590	2820	2840	2840	3865	3995
Gesamtmasse $m_{\text{ges}}$	kg	4090	4190	4250	4185	5455	5450
max. Schwingweite $s$	mm	12,4	14,2	16,9	19,7	12,4	15
Nenn Drehzahl $n_{\text{nenn}}$	min <sup>-1</sup>	2300	2135	1950	1805	2310	2140
max. Drehzahl $n_{\text{max}}$	min <sup>-1</sup>	2300	2600	2600	2600	2310	2600
Fliehkraft $F_F$	kN	925	1000	1000	1000	1400	1500
Fliehkraft $F_F$ (mit Sonderklemmzange)	kN	925	1200	1200	1350	1400	1500
stat. Zug-/Druckkraft $F_{\text{st}}$	kN	bis 200	bis 200	bis 200	bis 330	bis 270	bis 380

Bild 7: Kennwerte der Vibratoren der mittleren Baureihe im Vergleich [I].

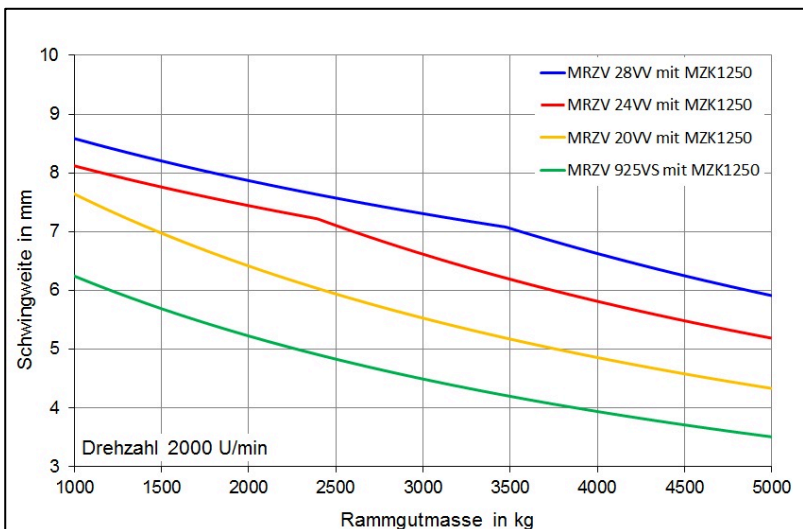


Bild 8: Schwingweite der Vibratoren der mittleren Baureihe [I].

## **Bildnachweis**

[1] Alle Abbildungen © ABI Maschinenfabrik und Vertriebsgesellschaft mbH.

## **Literatur**

[1] Zeppelin Power Systems GmbH & Co. KG, Zeppelinstraße 2 a, D-28832 Achim.

## **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Albrecht Kleibl  
ABI Maschinenfabrik und Vertriebsgesellschaft mbH  
Abt. Forschung und Entwicklung  
Am Knüchel 4  
D-63843 Niedernberg

Tel.: +49 (0) 6028 123-101, -102

Fax: +49 (0) 6028 123-109

E-Mail: [akleibl@abi-gmbh.de](mailto:akleibl@abi-gmbh.de)  
[www.abi-gmbh.de](http://www.abi-gmbh.de)

Gerhard Wehrmeyer

## **5 Multi-Mode-TBM – Flexible Maschinentechnik für stark variierende Baugründe**

### **5.1 Einleitung**

Klassische Vortriebsschilde können bei geologisch variantenreich aufgebauten Tunneltrassen an technische, aber auch wirtschaftliche Grenzen stoßen. So kann eine Tunneltrasse längere Passagen standfestes Gebirge enthalten, das in weiche, wasserführende Lockerböden wechselt sowie umgekehrt. Derartige Streckenverläufe gehören zu den anspruchsvollsten Anforderungen im Tunnelbau und stellen immer öfter eine Herausforderung dar, da wichtige Infrastrukturen in solchen Formationen gebaut werden. Speziell für solche Baugründe und Projekthintergründe wurden von Herrenknecht sogenannte Multi-Mode-Tunnelbohrmaschinen entwickelt. Es handelt sich hier um hybrid aufgebaute Vortriebsmaschinen, die eine höchstmögliche Sicherheit und Flexibilität bei der Wahl der Ortsbruststützung und des Abbauverfahrens bieten, also eine in Hinsicht auf den Streckenverlauf anpassungsfähige und möglichst optimale Vortriebsstrategie ermöglichen. Dies hat auch positive Effekte auf die gebotene Wirtschaftlichkeit. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Funktionsweisen der Multi-Mode-TBM mit entsprechenden Referenzprojekten. Zudem geht der Beitrag auf das neuartige Konzept der Herrenknecht „Variable Density TBM“ ein, einer ersten universellen Vortriebsmaschine für Lockergestein.

### **5.2 Grundlagen**

Im maschinellen Tunnelvortrieb wird grundsätzlich zwischen drei geschilderten Maschinentypen unterschieden. Jedes dieser erprobten Verfahren bietet in seinem speziellen Anwendungsgebiet Vorteile:

1. Offene Einfachschilde für standfeste und in der Regel nicht oder gering wasserführende Geologie: Der Abbau erfolgt unter atmosphärischen Bedingungen mit trockenem Materialaustrag aus der Abbaukammer mittels Förderband.
2. Geschlossene Erddruckschilde (EPB-Schilde) für feinkörnigen und in der Regel nicht standfesten wasserführenden Böden: Der Stütz- und Abbauprozess erfolgt unter gesteuertem Stützdruck mit dickstoffartigem Materialaustrag aus der Abbaukammer mittels Förderschnecke.
3. Geschlossene Flüssigkeitsschilde für grobkörnigere, nicht standfeste und in der Regel wasserführende Böden: Der Abbau erfolgt unter geregelter Stützdruck mit Materialaustrag aus der Abbaukammer mittels eines hydraulischen Förderkreises und nachgeschalteter Separationsanlage.

Technologischer Fortschritt der einzelnen Verfahren hat das jeweilige geologische Einsatzspektrum in den letzten Jahren enorm erweitert. Das Ziel besteht darin, für die vorherrschende Geologie das Optimum an Vortriebsleistung und -sicherheit zu erzielen und zudem die Wirtschaftlichkeit des Projekts zu optimieren.

Parallel zur Erweiterung des jeweiligen Einsatzspektrums der Vortriebsmodi entwickelte sich eine modulare Maschinenteknik, die den Wechsel der Betriebsart im Berg ermöglicht. Das Grundkonzept der umbaubaren Multi-Mode-Maschinen wurde bereits in den frühen 1980er Jahre entworfen und ist Ausgangspunkt für die Entwicklung des Mixschildes.

Das Grundkonzept der Multi-Mode-TBM erlaubt durch Modifikationen der Stützdrucksteuerung und der Abraumförderung den Wechsel zwischen Flüssigkeitsstützung, Erddruckstützung und offenem Modus. Auf dieser Grundlage sind grundsätzlich zwei konstruktive Umsetzungen möglich:

- Multi-Mode-TBM mit modularem Grundaufbau: Der Wechsel des Vortriebsverfahrens im Tunnel wird durch umfangreichere Modifikationen einzelner Baugruppen erreicht.



- Multi-Mode-TBM mit Parallelinstallation der Komponenten für mehrere Verfahrensarten: Der Wechsel des Vortriebsmodus ist mit geringerem Arbeits- und Zeitaufwand möglich, setzt aber ein erheblich komplexeres Maschinenkonzept voraus.

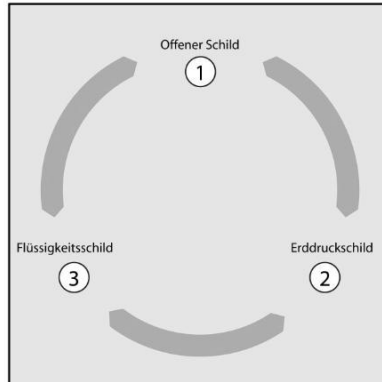


Bild 1: Die drei grundsätzlichen Maschinentypen [I].

### 5.3 Wechsel zwischen offenem Einfachschild und geschlossenem Erddruckschild (●↔●)

Erddruckschilde mit im Sohlbereich angeordneter Förderschnecke können neben dem herkömmlichen geschlossenen EPB-Modus auch im offenen Modus gefahren werden. In beiden Fällen übernimmt die Förderschnecke den Materialaustrag aus der Abbaukammer und im geschlossenen Betrieb zusätzlich die Aufgabe des Druckabbaus. Insbesondere bei abrasiven Böden wirkt sich diese Notwendigkeit nachteilig aus, in der Abbaukammer auch nur eine Teilfüllung zur Speisung der Förderschnecke sicherstellen zu müssen. Ebenso erreicht ein massiver Schneckenförderer zur Abförderung von trockenem Haufwerk nicht die Effektivität alternativer Fördermethoden. Andererseits besteht ein wesentlicher Vorteil des Schneckenförderers darin, dass der Abwurfschieber der Förderschnecke jederzeit schnell geschlossen werden kann. Die Abbaukammer kann beispielsweise im Fall eines plötzlichen Wassereintruchs oder

einer Ortsbrustinstabilität sicher und zuverlässig vom atmosphärischen Tunnelbereich isoliert werden.

Um die oben beschriebenen Nachteile zu vermeiden, kann ein rückziehbarer Materialaufgabetrichter (Muckring) mit Förderband im Zentrum installiert werden. Hierbei sind zwei wesentliche Herausforderungen zu beachten.

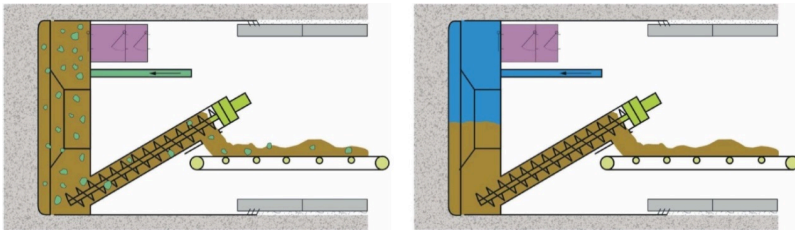


Bild 2: Erddruckschild in geschlossenem Modus (links) und im Druckluftmodus (rechts) [I].

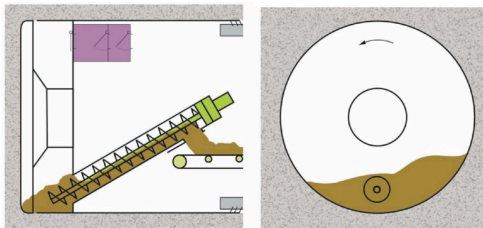


Bild 3: Erddruckschild in offenem Modus mit teilgefüllter Abbaukammer [I].

Der Erddruckbetrieb setzt die Drehdurchführung im Zentrum zwingend voraus, um die Konditionierungsmedien in das sich drehende Schneidrad einleiten zu können. Dies bedingt Kompromisse oder verursacht beträchtlichen Umbauaufwand bei der Umstellung auf einen Förderbandaustrag.

Für den zentralen Förderbandaustrag werden Schüttkanäle zur Materialführung an der Schneidradrückseite benötigt. Sie beeinträchtigen den geschlossenen Erddruckbetrieb und können deshalb nicht permanent installiert bleiben. Ein- und Ausbau verursachen entsprechend höheren Aufwand.

Für den Vortrieb des Katzenbergtunnels (Eisenbahn, Deutschland) waren zwei EPB-Schilde ( $\varnothing$  11,12 m) sowohl im offenen als auch im geschlosse-

nen Modus im Einsatz [1]. Der Baugrund entlang der 8,9 km langen Doppelröhren-Trasse war im Wesentlichen als weiches Festgestein moderater Abrasivität prognostiziert. Die Portalzonen mit geringer Überdeckung im Lockergestein sowie einzelne mögliche Störzonen entlang der Trasse waren im geschlossenen Modus zu durchfahren. Aufgrund des erwarteten beherrschbaren Verschleißverhaltens und der Unsicherheit bezüglich der Häufigkeit der Störzonen wurde ein Maschinenkonzept vorgesehen, das den Förderschneckenaustrag für die geschlossene als auch für die offene Betriebsart vorsah.

Das entwickelte und eingesetzte Maschinenkonzept erwies sich als leistungsfähige Lösung für das Projekt Katzenbergtunnel. Beide Maschinen wurden sowohl im offenen als auch im geschlossenen Modus betrieben, ohne dass längere Stillstände bzw. Umbauzeiten beim Wechsel der Betriebsart notwendig wurden. Einem erwarteten höheren Sekundärverschleiß an der Schneidradstruktur wurde Rechnung getragen, indem ein verstärkter Verschleißschutz aufgetragen wurde sowie eine Schneidradrevision auf etwa halber Strecke beim Durchfahren eines späteren Lüftungsbauwerks eingeplant wurde. Nach nur rund 22 Monaten erreichten beide EPB-Schilde das Zielportal.



Bild 4: Zwei EPB-Schilde nach dem Durchstich für den Katzenbergtunnel [II].

Eine gänzlich unterschiedliche Situation stellte sich beim maschinellen Vortrieb des Tunnel de Saverne (Eisenbahn, Frankreich) westlich von

Straßburg dar [2]. Die beiden 3,8 km langen parallelen Tunnelröhren verlaufen durch weichen bis mittelharten Sandstein hoher Abrasivität. Zumindest eine der beiden Portalzonen musste in geschlossenem Modus mit aktiver Ortsbruststützung aufgefahren werden. Des Weiteren war auf etwa halber Strecke eine Lockergesteinszone prognostiziert, die ebenfalls eine geschlossene Betriebsweise vorsah.

Das Maschinenkonzept für den EPB-Schild (Ø 10,01 m) integrierte einen rückziehbaren zentralen Förderbandtrichter und ein Förderband für den offenen Betrieb sowie eine teleskopierbare Förderschnecke im Sohlbereich für den geschlossenen Betrieb. Beide fest installierten Materialaustragsysteme übergaben das Abbaumaterial direkt hinter dem Ringbaubereich auf ein gemeinsames Nachläuferband.

Für den Wechsel von geschlossener auf offene Betriebsart mussten die Zufuhrleitungen für Konditionierungsmittel im Zentrum demontiert werden. Nur so konnte der Förderbandtrichter mit dem Austragband in seine vordere Arbeitsposition verschoben werden. An der Schneidradrückseite wurden Materialleitkanäle für den Materialtransport von den außen liegenden Räumen zum zentralen Aufgabetrichter installiert. Die speziell angepasste Ausführung dieser Materialleitkanäle erlaubte es, die Förderschnecke im Sohlbereich auch in zurückgezogener Position eingeschränkt arbeitsfähig zu halten.

Beim Auffahren der ersten Tunnelröhre wurde nach der Durchörterung der anfänglichen Lockergesteinsstrecke die Betriebsart vom geschlossenen zum offenen Modus gewechselt. Mit dem projektspezifischen Maschinenkonzept sowie einer hochleistungsfähigen Baustellenlogistik wurde die Systemumstellung in weniger als einer Woche erfolgreich durchgeführt – jeweils einmal beim Vortrieb der ersten Röhre und einmal in der parallelen zweiten Röhre. Der Durchstich der ersten Tunnelröhre erfolgte im Juni 2012 und im Februar 2013 der Durchstich der zweiten Röhre.

Die unterschiedlichen Materialaustragsysteme für den offenen und den geschlossenen Modus bewährten sich in dem hoch abrasiven Baugrund als leistungsfähiges Konzept. Auch die im offenen Modus immer noch einge-

schränkt einsetzbare Förderschnecke im Sohlbereich erwies sich als vorteilhaft. Sie diente sowohl der vollständigen Sohlreinigung in der Abbaukammer als auch dem Durchfahren kurzer Zonen mit gebräuchlicher Ortsbrust im offenen Modus.

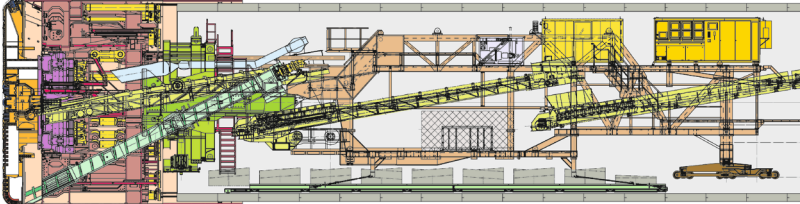


Bild 5: Multi-Mode-Maschine für den Tunnel de Saverne [1].

#### 5.4 Wechsel zwischen geschlossenem Flüssigkeitsschild und offenem Einfachschild (① ↔ ③)

Multi-Mode-TBM mit offenem und flüssigkeitsgestütztem Modus wurden bereits vielfach erfolgreich in Projekten eingesetzt. Vor allem für Tunneltrassen mit längeren Anteilen von Lockergesteinsstrecken unterhalb des Grundwasserspiegels als auch trockenen Festgesteinsstrecken ist dieses Maschinenkonzept passend. Die größte Herausforderung beim Wechsel des Vortriebsmodus besteht in der unterschiedlichen Materialförderung. Beim flüssigkeitsgestützten Schild ist ein Förderkreislauf installiert; auch im Fall einer standfesten Ortsbrust und einem Druckluft- oder gar atmosphärischem Spülbetrieb mit teilgefüllter Abbaukammer würde der Materialaustrag noch immer auf einem hydraulischen Förderkreis beruhen. Ein trockener Materialaustrag im offenen Modus ist nur mit einem Förderband möglich. Für die Realisierung dieser Kombination müssen daher beide Fördersysteme auf der TBM und dem Nachläufer installiert werden.

Der Einbau eines zentral angeordneten Förderbands mit rückziehbarem Förderbandtrichter als zweites, trockenes Materialaustragsystem ist ohne wesentliche Kompromisse für das Abbausystem realisierbar. Gleiches gilt für das Schneidrad selbst mit zusätzlichen, zum Zentrum hin gerichteten Materialleitkanälen für den offenen Betrieb. Sie stellen keine wesentliche Beeinträchtigung für den geschlossenen, flüssigkeitsgestützten Betrieb dar

und können daher fest eingebaut bleiben. Ein Steinbrecher vor dem Saugstutzen für den Betrieb als Flüssigkeitsschild beeinträchtigt wiederum die Wechsel auf den offenen Modus nicht.

Ein herausragender und bedeutender technischer und wirtschaftlicher Vorteil ergibt sich, indem der Betriebsartenwechsel als integrales Konzept ausgeführt werden kann. Der Wechsel der Vortriebsmodi kann dann abhängig vom betriebenen Aufwand für das Vorhalten zweier Materialtransportsysteme auf der Maschine, im Tunnel und über Tage innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden. Im offenen Modus kann die Abbaukammer innerhalb von rund zwei bis vier Stunden sicher zum hinteren Tunnelbereich hin abgeschlossen werden, indem der Förderbandtrichter und das Förderband zurückgezogen werden. Je nach betrieblicher Verfügbarkeit des Förderkreislaufs, der Druckluftversorgung und der übertägigen Separationsanlage kann der Vortrieb im geschlossenen Modus als Flüssigkeitsschild nach wenigen Schichten wieder aufgenommen werden.

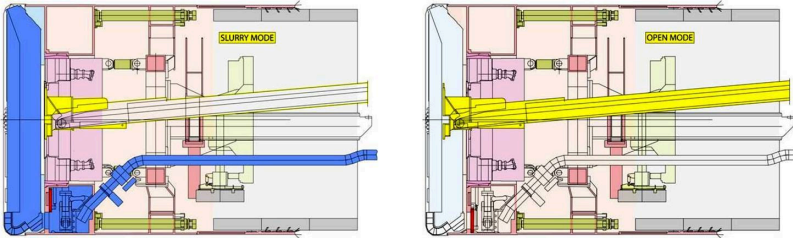


Bild 6: Integrales Maschinenkonzept für den Wechsel von Flüssigkeitsschild (links) zu offenem Einzelschild (rechts) [1].

1989 wurde das System erstmals beim Grauholztunnel in der Schweiz erfolgreich eingesetzt [3] und anschließend bei den Projekten Thalwil und Önzberg, beide ebenfalls in der Schweiz.

Weitere erfolgreiche Projekterferenzen sind der Finnetunnel in Deutschland sowie der Weinbergtunnel in der Schweiz (Zürich) [4]. Eine Multi-Mode-TBM für offenen Einzelschildvortrieb und geschlossenen flüssigkeitsgestützten Vortrieb konnte das Projekt Hallandsås (Schweden, Eisenbahn) erfolgreich beenden. Aufgrund des prognostizierten hohen Berg-

wasserdrucks wurde die Maschine für Hallandsås auf einen maximalen Betriebsdruck von 13 Bar im geschlossenen Modus ausgelegt [5].

Das Wassertunnelprojekt Lake Mead Intake N° 3 (Las Vegas, USA) zeichnet sich dadurch aus, dass auf der Tunneltrasse Störzonen mit extrem hohen Wasserdrücken vorhergesagt wurden. Entsprechend weist das Maschinenkonzept der derzeit eingesetzten Multi-Mode-TBM für offenen Betrieb und geschlossenen flüssigkeitsgestützten Betrieb zwei Besonderheiten auf [6]. Zum einen ist sie auf Stützdrücke bis 17 Bar ausgelegt. Zum anderen ist sie anstelle eines Förderbandes für den Materialaustrag im offenen Betrieb – mit einer rückziehbaren zentralen Förderschnecke – ausgerüstet. Die Förderschnecke gewährleistet, dass alleine durch das Schließen des Abwurfschiebers innerhalb weniger Augenblicke die Abbaukammer sicher verschlossen werden kann. Diese Maschinenkonzeption dient dazu, eine zwingende Forderung nach einer Systemverschießbarkeit innerhalb weniger Sekunden bei diesem komplexen Projekt umzusetzen.

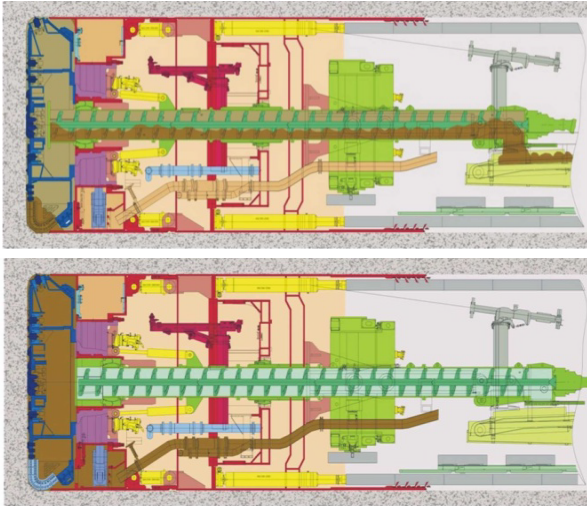


Bild 7: Maschine für den Lake Mead Intake Tunnel N° 3, im offenen Modus mit zentraler Förderschnecke (oben) und im geschlossenen Modus mit aktivem Förderkreis [1].

## 5.5 Wechsel zwischen geschlossenem Flüssigkeitschild und Erddruckschild (② ↔ ③)

Sowohl Flüssigkeitschilde als auch Erddruckschilde werden unter einem gesteuerten Stützdruck mit gefüllter Abbaukammer betrieben. Die beiden Betriebsmodi unterscheiden sich hinsichtlich der Eigenschaften des Materials in der Abbaukammer (Viskosität, Scherfestigkeit oder Dichte) sowie hinsichtlich des Prinzips der Stützdrucksteuerung. Bei der Konzeption einer Multi-Mode-TBM für erddruckgestützten und flüssigkeitsgestützten Vortrieb müssen bei der Ausgestaltung der Abbaukammer oder des Schneidrads keine grundlegenden Unterschiede berücksichtigt werden.

Der wesentliche Unterschied, der in der Multi-Mode-Maschinenkonzeption umgesetzt werden muss, besteht beim Materialtransport aus der Abbaukammer und im Tunnel. Das Konzept der Flüssigkeitsstützung sieht einen geschlossenen, druckbeaufschlagten hydraulischen Förderkreis mit übertägiger Separationsanlage vor. Bei einem Erddruckschild ist ein Schneckenförderer für einen kontrollierten Materialaustrag aus der Abbaukammer verantwortlich und im Tunnel ein offenes Transportsystem



mit Schutterzügen oder Förderbändern. Ein weiterer zentraler Unterschied zwischen den Maschinentypen betrifft die Art der Stützdrucksteuerung. Beim Erddruckschild erfolgt die Stützdrucksteuerung vorwiegend über die Beeinflussung der Parameter Vortriebsgeschwindigkeit und Materialaustragvolumen bzw. Förderschneckendrehzahl. Beim Flüssigkeitsschild hingegen erfolgt die Regulierung des Stützdrucks mittels eines automatisch geregelten Druckluftpolsters in der Druckkammer hinter der Tauchwand.

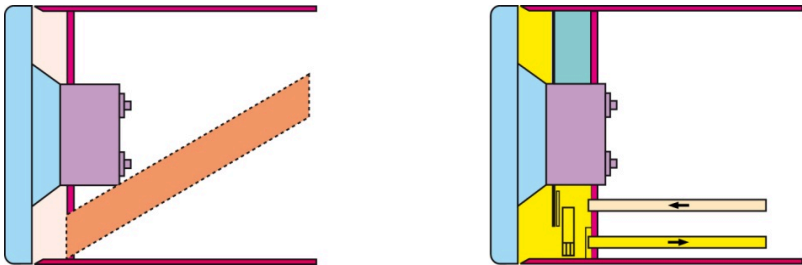


Bild 8: Systemskizze zur Stützdruckregulierung beim Erddruckschild (links) und beim Flüssigkeitsschild mit Tauchwand und einem dahinter liegenden Druckluftpolster (rechts) [1].

Bei Maschinen mit Durchmessern über acht Meter können mit nur geringen Beeinträchtigungen beide Materialaustragsysteme parallel im Sohlbereich der Abbaukammer installiert werden. Sobald allerdings die Baugrundverhältnisse den Einsatz eines vor dem Saugstutzen angeordneten Steinbrechers im flüssigkeitsgestützten Modus erforderlich machen, entsteht bei einem Betriebsartwechsel ein erheblicher mechanischer Mehraufwand – verbunden mit einem manuellen Eingriff bzw. notwendigen Druckluftarbeiten. Diese sind insbesondere bei Maschinendurchmessern unterhalb von acht Metern aufgrund beengter Platzverhältnisse lediglich eingeschränkt möglich.

Umbaubare Maschinen mittleren und kleineren Durchmessers wurden aus diesen Gründen bislang auf der Basis eines modularen Konzepts realisiert. Dies bietet die Möglichkeit, den Austausch einzelner Maschinenbaugruppen oder Funktionseinheiten in einem Zwischenschacht entlang der Trasse vorzunehmen. Ein modulares Umbaukonzept für einen Betriebs-

artwechsel im Tunnel wurde bis heute nicht realisiert. Es würde absehbar Arbeiten unter atmosphärischem Druck in der Abbaukammer erfordern und einen entsprechend hohen technischen und logistischen Aufwand verursachen.

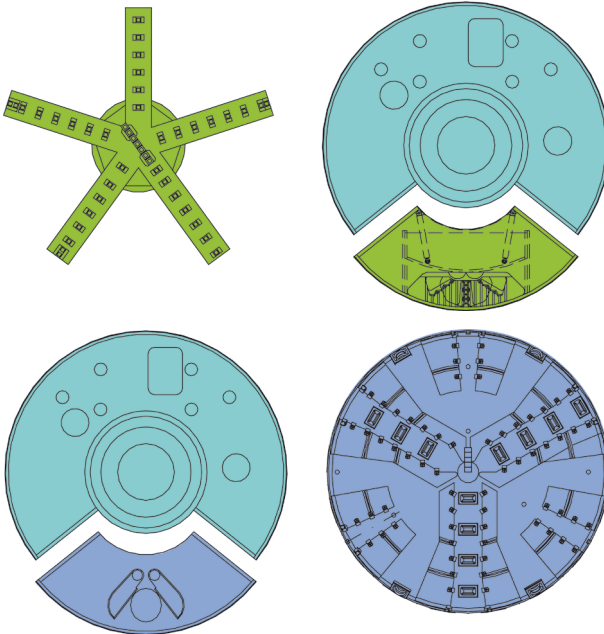


Bild 9: Modulares Maschinenkonzept für einen Wechsel zwischen Flüssigkeitsschild (oben) und Erddruckschild (unten) durch den Austausch einzelner Module [1].

Um den hohen Aufwand für ein Maschinenkonzept zu rechtfertigen, das den vollständigen Wechsel von flüssigkeitsgestütztem zu erddruckgestütztem Betrieb ermöglicht, müssen spezielle Projektvoraussetzungen gegeben sein. Beim Projekt SOCATOP in Paris [7] war dies beispielsweise der Fall. Bei einer Gesamtlänge von zehn Kilometern verlief die Trasse zu rund 60 % durch Böden, die optimal geeignet für erddruck- oder druckluftgestützten Betrieb waren. Zu 40 % verlief sie in Böden, die optimal für den Einsatz einer flüssigkeitsgestützten Maschine war. Das Vortriebs- und Maschinenkonzept berücksichtigte darüber hinaus, dass die jeweiligen Formationen in längeren zusammenhängenden Trassenabschnitten auf-

traten. Insgesamt bestätigte der erfolgreiche Abschluss der Maschinenvortriebe den hohen technischen und logistischen Aufwand im Projekt SOCATOP, der durch das Maschinenkonzept der Multi-Mode-TBM verursacht wird.

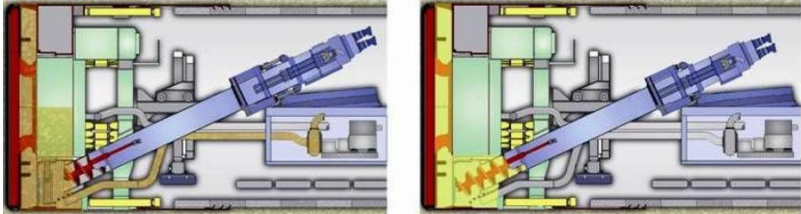


Bild 10: Maschine für das Projekt SOCATOP im flüssigkeitsgestützten (links) und im erddruckgestützten Modus (rechts) [I].

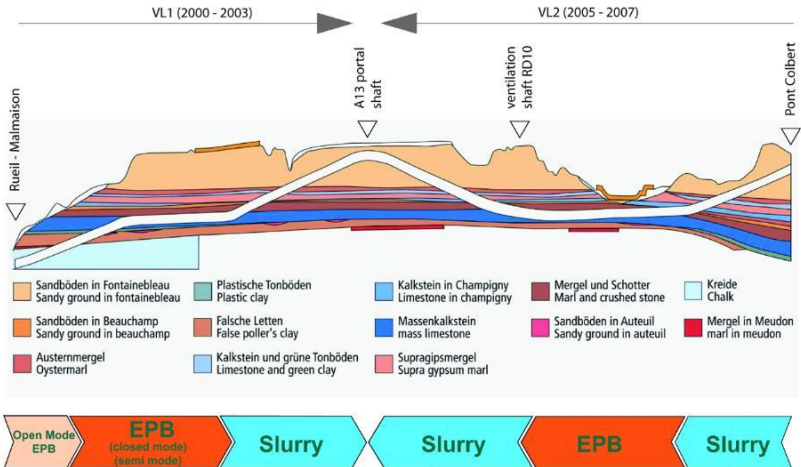


Bild 11: Überblick über den Trassenverlauf und die jeweils eingesetzten Betriebsarten auf den Abschnitten VL1 und VL2 des Projekts SOCATOP [I].

### 5.6 Das Variable-Density-Konzept

Angeichts der Tatsache, dass ein Wechsel von flüssigkeitsgestützter Betriebsart zu erddruckgestützter Betriebsart sich in der praktischen Umsetzung als eine aufwändige Aufgabe erweist, entwickelte Herrenknecht ein neuartiges Maschinenkonzept. Es vereinigt die generischen Vorteile jedes der beiden Systeme in einem Maschinentyp. Die Zielvorgabe dabei war,

den Vortriebsmodus anpassen zu können, ohne mechanische Modifikationen oder Umbauarbeiten in der Abbaukammer an der Maschine selbst oder im Nachlaufbereich vornehmen zu müssen.

Dieser hochflexible Maschinentyp liegt mit der Herrenknecht „Variable-Density-Maschine“ vor, die sowohl in der klassischen flüssigkeitsgestützten Betriebsart unter Einsatz eines Druckluftpolsters zur Stützdrucksteuerung als auch in der klassischen erddruckgestützten Betriebsart unter Verwendung der Austragsvolumenkontrolle zur Stützdrucksteuerung betrieben werden kann. Der Übergang von der einen in die andere Betriebsart kann fließend, das heißt unter voller Beibehaltung einer sicheren Stützdruckkontrolle erfolgen. Die Notwendigkeit eines Kammereinstiegs entfällt. Ein längerer Betrieb in einem Zwischenstatus mit höherer Kammerdichte (high density mode), die zu hoch für einen reinen Flüssigbetrieb ist, aber zu gering für einen Erddruckbetrieb, ist ebenfalls möglich.

Zur Funktionsweise der Maschine: Sowohl im erddruck- als auch im flüssigkeitsgestützten Modus wird der Abraum über einen Schneckenförderer aus der unter Druck stehenden Abbaukammer entnommen. Die Regelung des Stützdrucks erfolgt je nach Modus über Schneckendrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit oder über ein automatisch geregeltes Druckluftpolster. Kommunizierende Röhren ersetzen die fehlende Tauchwandöffnung. Im EPB-Modus wird der Abraum von der Schnecke auf ein Förderband abgeworfen. Im Flüssigkeitsmodus wird die TBM dank einer zusätzlichen Slurryfier-Box am Ende der Schnecke mit hydraulischem Förderkreislauf gefahren. Im Flüssigkeitsmodus kann entweder eine normale Bentonitsuspension oder alternativ eine Suspension mit hoher Dichte genutzt werden. Das erweitert den Einsatzbereich der Variable-Density-TBM zusätzlich und macht die Maschine zu einer universellen Lösung für Lockergestein-Vortriebe aller Art.

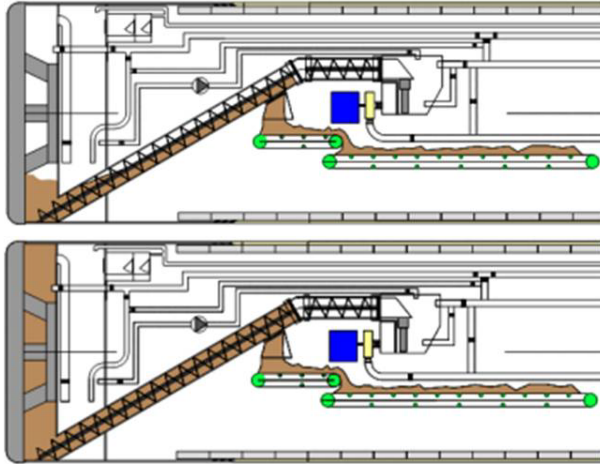


Bild 12: Variable-Density-Maschine im offenen Betrieb (oben) und im erddruckgestützten Betrieb (unten) [I].

Voll ausgerüstet benötigt eine Variable-Density-Maschine zwei Abraumtransportsysteme im Tunnel: einen hydraulischen Förderkreislauf für die flüssigkeitgestützte Betriebsart und eine Wagenförderung oder ein Tunnelband für die erddruckgestützte Betriebsart. Allerdings kann auch je nach Projektgegebenheiten aus ökonomischen Gründen eines der beiden Fördersysteme als Hauptsystem mit voller Leistungsfähigkeit und das andere als Nebensystem mit verminderter Kapazität ausgelegt sein.

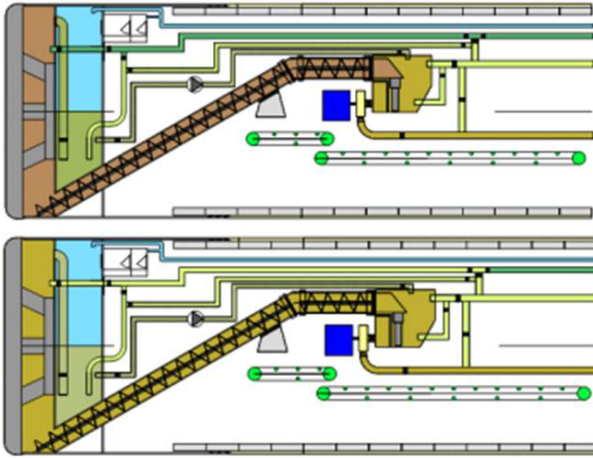


Bild 13: Variable-Density-Maschine im High-Density-Betrieb (oben) und im flüssigkeitsgestützten Betrieb (unten) [1].

Der Materialaustrag aus der Abbaukammer erfolgt bei einer Variable-Density-Maschine in beiden Betriebsarten mittels einer Förderschnecke. Die Doppelschneckenanordnung mit einem Absperrschieber zwischen der vorderen Förderschnecke 1 und der hinteren Förderschnecke 2 verfügt am hinteren Ende der Schnecke 1 über einen Abwurfschieber zur Übergabe des Abraums auf ein Förderband im erddruckgestützten Betrieb. Im flüssigkeitsgestützten Betrieb ist dieser Abwurfschieber geschlossen und der Absperrschieber zwischen der vorderen und der hinteren Förderschnecke geöffnet. Hier wird der Abraum in einen geschlossenen Spülkasten (Slurryfier-Box) am Ende der Förderschnecke 2 abgeworfen. In diesem Spülkasten kann vor dem Saugstutzen ein konventioneller Zangenbrecher angeordnet werden. Er zerkleinert Korngrößen, die die Schneckenförderer passieren können, die aber zu groß sind für den Förderkreis. Nach dem Schließen des Absperrschiebers zwischen den beiden Schnecken kann der Spülkasten bzw. Brecherraum beispielsweise für Wartungsarbeiten auch unter atmosphärischen Bedingungen betreten werden.

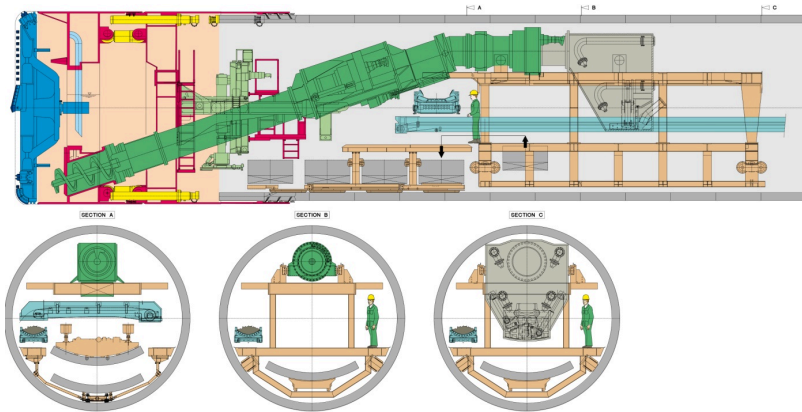


Bild 14: Schematische Darstellung einer komplett ausgestatteten Variable-Density-Maschine [I].

Sowohl in der flüssigkeitsgestützten als auch in der High-Density-Betriebsart stellt der Abraumtransport mittels Förderschnecken eine Kombination aus mechanischer und hydraulischer Förderung dar. Die im Flüssigkeitsbetrieb zur Stützdrucksteuerung notwendige Druckluft wird im Frontschild zwischen zwei Druckwänden beaufschlagt. Die bei klassischen Flüssigkeitsschilden integrierte Tauchwandöffnung im Sohlbereich ist hier nicht vorgesehen. Stattdessen wird die Verbindung zwischen der Druckkammer und der Abbaukammer über kommunizierende Röhren zwischen den Kammern hergestellt. Diese Technik entspricht dem Konzept des abgeschotteten Sohlsegments, das bereits bei reinen Flüssigkeitsschilden erfolgreich eingesetzt wurde. Im Erddruckbetrieb kann das Füllvolumen der Druckkammer auch als vorgespanntes Bentonitreservoir zur automatischen Nachspeisung in die Abbaukammer bei irregulären Stützdruckschwankungen verwendet werden.

Da das System nicht wie bei reinen Flüssigkeitsschilden über einen Brecher in der Abbaukammer verfügt, muss die Korngröße durch einen geeigneten Werkzeugbesatz und Korngrößenbegrenzungen am Schneidrad begrenzt werden. Die Korngröße des Materials, das hinter das Schneidrad gelangt, muss der Förderkapazität des eingesetzten Schneckenförderers entsprechen. Eine Vielzahl erfolgreicher EPB-Projekte belegt, dass auch

Grobkornvorkommen beim Einsatz eines Schneckenförderers von mindestens 700 mm Durchmesser ohne betriebliche Einschränkungen sicher beherrscht werden können.

In Abhängigkeit von den Projektanforderungen sind auch vereinfachte oder spezifisch angepasste Ausführungen der Variable-Density-Maschine möglich. Beispielsweise kann der große Spülkasten am Ende der hinteren Förderschnecke durch eine kleinere Variante mit Walzenbrecher ersetzt werden – wie derzeit beim Projekt OARS in Columbus in den USA. Ebenso ist eine Lösung mit nur einer Förderschnecke und einer Walzenbrecher-Spülkasten-Kombination an der Abwurföffnung möglich. Die Einzelschneckenversion benötigt allerdings einen etwas erhöhten Umbauaufwand in diesem Bereich, wenn die Betriebsart gewechselt wird. Die Walzenbrecher-Spülkasten-Kombination muss hierfür in eine Parkstellung verschoben werden, bevor das Förderband für den Erddruckbetrieb in Arbeitsposition gebracht werden kann. Eine solche Konfiguration hat sich beim Projekt Port of Miami Tunnel eindeutig bewährt. Sie ist derzeit auch bei den Maschinen für das Klang-Valley-MRT-Projekt in Kuala Lumpur (Malaysia) im Einsatz.

## **5.7 Zusammenfassung**

Anspruchsvolle, stark wechselhafte Baugrundbedingungen – insbesondere hinsichtlich der Stützdruckverhältnisse oder Fördereigenschaften des Abraums innerhalb einzelner Tunneltrassen erfordern neue, innovative Vortriebstechniken. Die in den vergangenen Jahren ständig erweiterten Einsatzbereiche der klassischen Einfach-, EPB- und Mixschilder genügen unter bestimmten Projektbedingungen nicht mehr den Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsanforderungen. Multi-Mode-TBM von Herrenknecht erfüllen diese hohen Anforderungen dank ihres flexibel ausgelegten Maschinenkonzeptes. Sie kommen zum Einsatz, wo herkömmliche Schilde an ihre technischen und wirtschaftlichen Grenzen stoßen. Neben der Weiterentwicklung der umbaubaren Schilde stellt das Konzept der Variable-Density-Maschine den entscheidenden Innovationsschritt dar, da es die Flexibilität und Sicherheit im Tunnel deutlich erhöht und dem Anspruch



einer im Lockergestein universell einsetzbaren Vortriebsmaschine sehr nahe kommt.

## **Bildnachweis**

[I] Alle Abbildungen © Herrenknecht AG.

[II] Alle Aufnahmen © Herrenknecht AG.

## **Literatur**

- [1] Maidl, B. Herrenknecht, M. Maidl, U. Wehrmeyer, G. Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb. 2. Auflage Ernst & Sohn, Berlin 2011.
- [2] Cuccaroni, A.; Veyron, P.; Lacroix, A.; Russo, M.: Eastern European High Speed Rail Line: Stretch 47 and Saverne Tunnel. AFTES Conference, Lyon 2011.
- [3] Steiner, W.; Becker, C.: Grauholz Tunnel in Switzerland: Large Mixed-Face Slurry Shield. RETC Conference, Seattle 1991.
- [4] Rieker, K.: Construction of Long Tunnels Using Mixshields in Slurry and Hard-Rock Mode – Finnetunnel. ITA Conference, Vancouver 2010.
- [5] Burger, W.; Dudouit, F.: The Hallandsås Dual Mode TBM. RETC Conference, Las Vegas 2009.
- [6] McDonald, J.; Burger, W.: Lake Mead Intake Tunnel No. 3. Tunnel 4/2009.
- [7] Toris, J.L.: A86-West Ring Road – a bi-mode TBM. ITA Conference, Prag 2007.

## **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Gerhard Wehrmeyer  
Herrenknecht AG  
Bereichsleiter PM 11  
Business Unit Traffic Tunnelling  
Schlehenweg 2  
D-77963 Schwanau-Allmannsweier

Tel.: +49 (0) 78 24 - 302 45 80

Fax: +49 (0) 78 24 - 302 43 50

E-Mail: [wehrmeyer.gerhard@herrenknecht.de](mailto:wehrmeyer.gerhard@herrenknecht.de)  
[www.herrenknecht.de](http://www.herrenknecht.de)



Naji Al-Arja

## **6 Zuverlässiger Hochwasserschutz mit Stahlspundwänden – Innovationen der Spundwandpresstechnik**

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen des Vortrages werden die Möglichkeiten eines erschütterungsfreien und lärmarmen hydraulischen Einpressens näher erläutert. Es wird auf die Selbstschreitende Spundwandpresse (Silent Piler) und deren Vorteile wie einer umweltschonenden, sicheren, wirtschaftlichen und schnellen Arbeitsweise eingegangen. Der Entwicklungsstand bei den selbstschreitenden Pressen bis zu den neuesten Maschinen, dem ECO700S und ECO1400S, wird dargelegt. Das Bohr-Press-System (Crush Piler) zum Einbringen von Spundbohlen im harten Boden wird vorgestellt. Des Weiteren wird auf die Gyro-Einpressmethode eingegangen, bei der Stahlrohre in sehr harte Böden, sowie Mauerwerk und Beton, eingebracht werden.

### **6.1 Einleitung – Allgemeines**

Die selbstschreitende Spundwandpresse (Silent Piler) wurde entwickelt, um den Einbau von Stahlspundbohlen dort zu ermöglichen, wo ihre Verwendung durch den entstehenden Lärm und die Erschütterungen bei Einsatz konventioneller Ramm- oder Vibrationstechnik generell von vornherein ausgeschlossen wäre.

Der Giken Silent Piler ist eine selbstschreitende Spundwandpresse, die als das zuverlässigste, modernste und umweltfreundlichste Einpressverfahren von Spundwänden gilt. Beim Pressen mit dem Silent Piler wird, im Gegensatz zum Rammen oder Vibrieren, lediglich statischer Druck erschütterungsfrei auf die Bohlen ausgeübt, so dass keinerlei Umweltschäden durch Lärm und Erschütterungen an benachbarten Gebäuden oder am vorhandenen Baugrund entsteht und die Lebensqualität der Umwelt kaum beein-

trächtig wird. Mit dem System des Giken Silent Piler können jegliche U- und Z-Bohlen sowie Rohre eingepresst und gezogen werden.

## 6.2 Prinzip des Einpressens

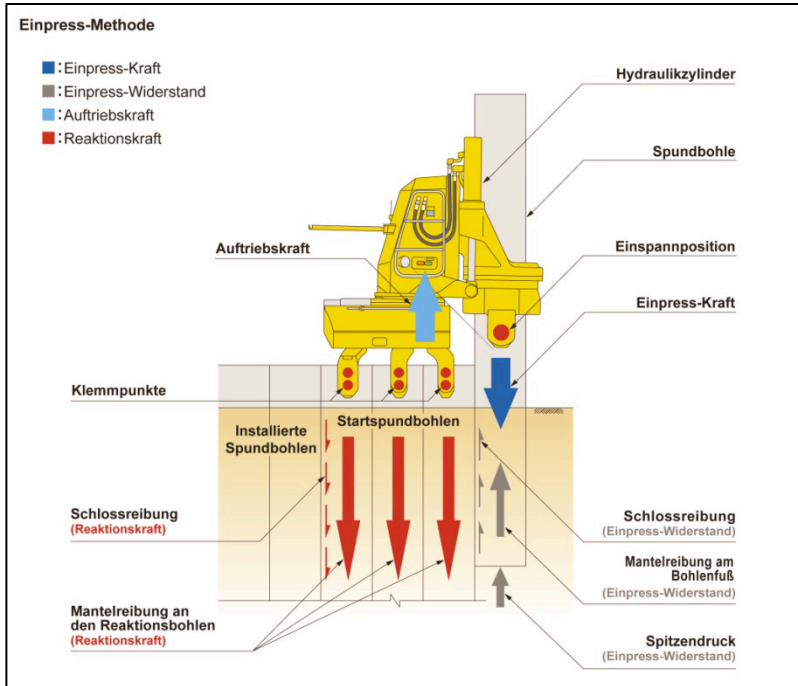


Bild 1: Einpressmethode [1].

Konventionell werden Spundbohlen in den Boden eingeschlagen oder einvibriert. Zwangsweise entstehen dabei durch die erforderliche Schlag- oder Schwingenergie, Schwingungen und ein erheblicher Lärm. Als Antwort auf dieses Problem hat Giken den Silent Piler, ein auf Reaktionskräfte basierendes Einpressgerät entwickelt, mit dem Spundbohlen umweltschonend eingepresst werden können. Das Einpress-Prinzip beruht darauf, dass die Reaktionskräfte bereits installierter Spundbohlen (Reaktionsbohlen) ausgenutzt werden, um nachfolgende Spundbohlen einzupresen. Der Silent Piler sitzt dabei auf den bereits installierten Spundbohlen und be-

wegt sich selbstständig zur nächsten Einpressposition. Technische Angaben zur Einpress-Methode sind nachfolgend dargestellt.

Der Silent Piler greift also die bereits installierten Spundbohlen mit einer hydraulischen Klemmbacke. Die nächste Spundbohle wird vom Presskopf am richtigen Einpresspunkt hydraulisch gegriffen und dann mit einer von den Hydraulikzylindern erzeugten statischen Kraft in den Boden gepresst. Beim Einpressen einer Spundbohle entsteht ein aus der Mantelreibung, dem Spitzendruck und der Schlossreibung zusammengesetzter Einpresswiderstand. Dadurch, dass die vom Silent Piler an den bereits installierten Spundbohlen erzeugte Reaktionskraft größer als die Auftriebskraft und die Einpresskraft größer als der Einpresswiderstand ist, kann der Piler die Spundbohle auf exakt erforderliche Tiefe einpressen.

### 6.3 Selbstschreitende Spundwandpressen (Silent Piler)

In den folgenden Schritten wird das Selbstschreitverfahren des Silent Piler gezeigt:

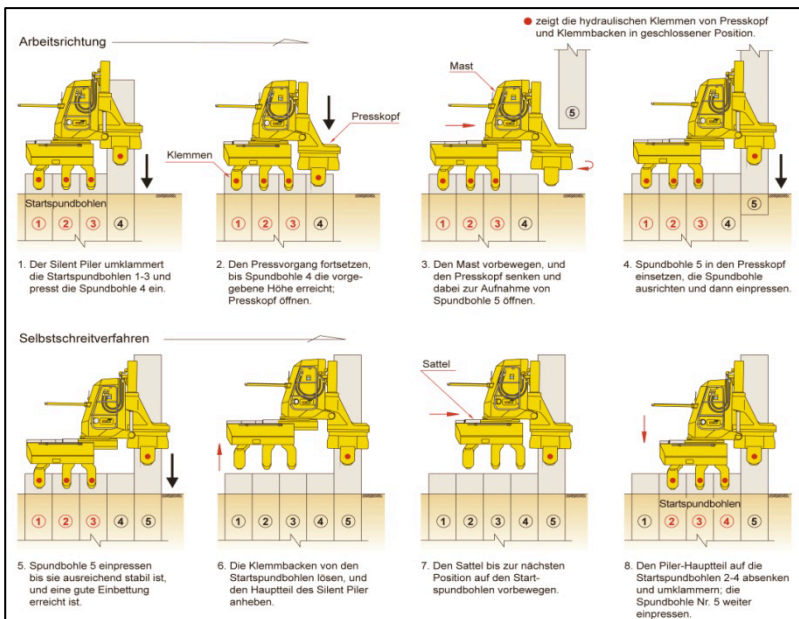


Bild 2: Das Selbstschreiten des Silent Piler [1].

## **6.4 Einpresshilfen**

### **6.4.1 Spülhilfe**

Beim Einpressen von Spundwänden entsteht am Bohlenfuß sozusagen ein Druckpilz. Sowohl an der Bohlenoberfläche als auch in den Bohlenschlössern kann sich Boden festsetzen. Während die Spundbohle tiefer gepresst wird, kann durch diese beiden Faktoren ein enormer Widerstand entstehen. Durch den erhöhten Widerstand ist eine größere Einpresskraft erforderlich, die zur Verformung der Spundbohle und zu einem Produktivitätsverlust führen kann.

Durch unter Hochdruck eingestrahktes Wasser wird der Druckpilz durch eine örtliche Lockerung körniger Böden und Aufweichungen bindiger Böden reduziert. Gleichzeitig wird die Oberfläche der Spundbohle sowie die Innenfläche der Führungshalterung durch das Wasser befeuchtet, so dass die Reibung reduziert und die Tendenz zur Pfropfenbildung verringert wird. Somit bleibt die Produktivität erhalten, ohne dass die Spundbohle beschädigt wird.

Da Wassermenge und -druck je nach Bedarf eingestellt werden können und das Wasser nur an den erforderlichen Stellen eingebracht wird, entstehen keine großen Hohlbereiche. Die Bodenparameter kehren schnell in ihren ursprünglichen Zustand zurück. Was aus der Tatsache zu erkennen ist, dass für das Einpressen der nachfolgenden Spundbohlen eine ausreichende Reaktionskraft vorhanden ist.



Bild 3: Silent Piler und Jet Reel [I].

#### 6.4.2 Bohr-Press-System (Crush Piler)

Sind Steine und Geröll im Boden vorhanden, kann das Einpressen von Spundbohlen dadurch erschwert oder sogar unmöglich gemacht werden. Durch das integrierte Bohrverfahren ist es möglich auch in schwer pressbare Böden zu arbeiten. Hierzu wird der Silent Piler mit einem integrierten Bohrgerät ausgerüstet. Während der Bohrer den Boden am Bohlenfuß zum kollabieren bringt, wird die Bohle eingepresst.

Das sonst bei schwierigen Bodenverhältnissen übliche Vorbohren kann entfallen. Damit werden Zeit und Kosten gespart. Mögliche Fehlerquellen beim Vorbohren werden ausgeschaltet und Planänderungen können bis zur Ausführung der Pressung berücksichtigt werden.

Die Vorbohrungen müssen nicht unbedingt mit einem Durchmesser größer als die Spundbohle ausgeführt werden. Durch das gleichzeitige Bohren

und Pressen genügt normalerweise ein Durchmesser, der kleiner ist als die Spundbohle. Dadurch muss weniger Erdreich entfernt und wieder aufgefüllt werden als beim Vorbohren.

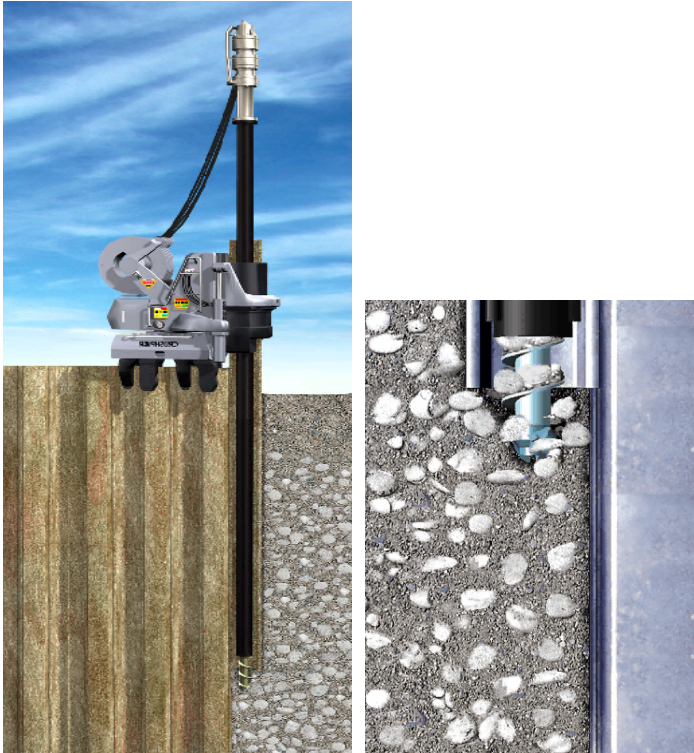


Bild 4 und 5 Bohr-Press-System und vorseilendes Bohren und Bohlenfuß [I].

## 6.5 G.R.B.-System

Durch Ausnutzung des Reaktionsprinzips können sämtliche für das Einpressen von Spundbohlen erforderlichen Geräte oben auf der Spundwand eingesetzt werden, ohne dass temporäre Arbeitsplattformen erforderlich werden. Spezialgeräte wurden konstruiert, entwickelt und in das integrierte GRB-System systematisiert, so dass der gesamte Einpressbetrieb bequem auch über Wasser, an Dammbahängen und entlang sehr engeengter Baustellen ausgeführt werden kann, wo normale Rammanlagen oder



Kräne keinen Zugang haben. Dadurch, dass keine temporären Arbeitsplattformen und Arbeiten erforderlich sind, entfallen die hohen Kosten hierfür und die für die Ausführung des Projektes erforderliche Zeit wird verkürzt. Besonders bei Wasserbaustellen erfordern umfangreiche Bauhilfsmaßnahmen manchmal mehr Aufwand und Zeit als die eigentliche Baumaßnahme selbst. Die Methode von Giken mit dem G.R.B.-System trägt dazu bei, solche Probleme zu lösen. Grundlage für diese Methode ist der Silent Piler, der auf der Spundwand selbständig schreiten kann und die Spundbohlen kontinuierlich einpresst. Der G.R.B.-Kran schreitet ebenfalls selbständig und folgt dem Silent Piler auf der bereits erstellten Spundwand. Er dient dazu, dem Silent Piler die Spundbohlen anzureichen. Die einzubauenden Spundbohlen werden mittels eines speziellen Transportsystems auf der Spundwand herangefahren. Ein zusätzlicher Vorteil des G.R.B.-Systems besteht darin, dass der Verkehr auf beiden Seiten der Spundwand während der Bauarbeiten nicht beeinträchtigt wird.

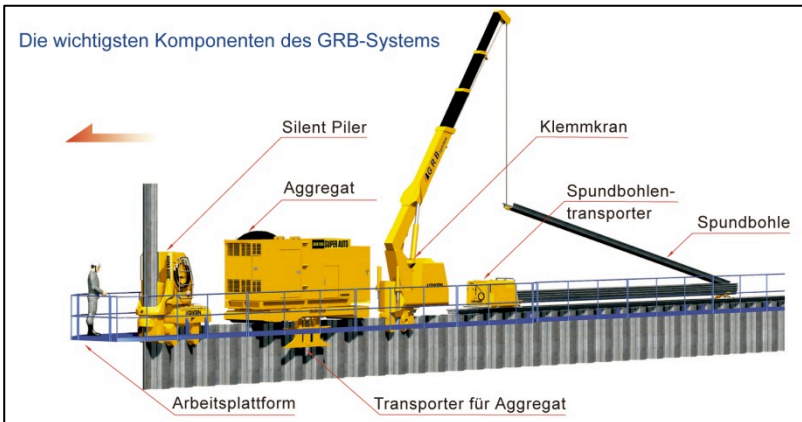


Bild 6: GRB-System [I].

## 6.6 Die neuesten Giken Spundwandpressen (ECO700S und ECO1400S) für Einzel- und Doppelbohlen

### 6.6.1 Vorstellung der neuen Presse

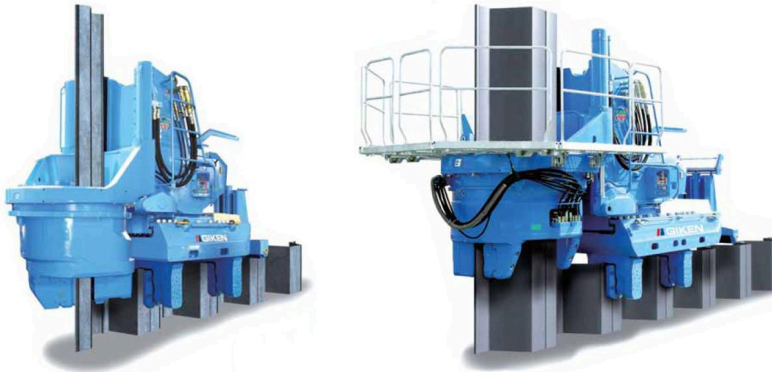


Bild 7 und 8: ECO700S (links) und ECO1400S (rechts) [I].

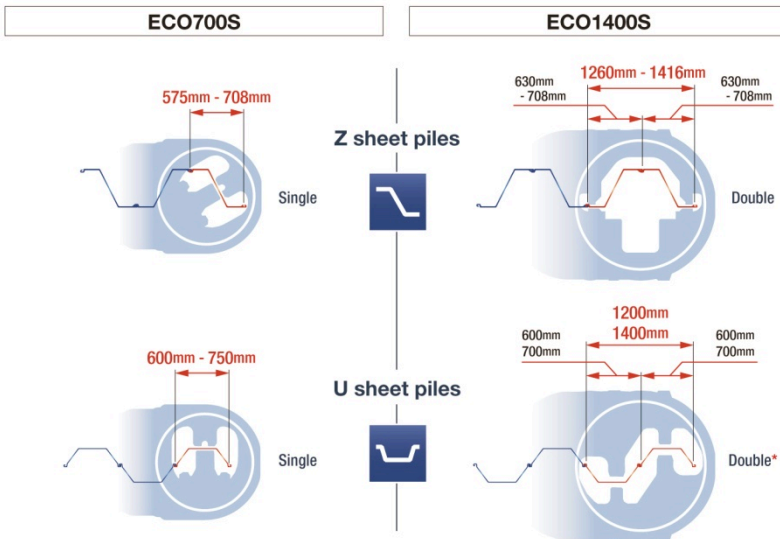


Bild 9: Einpressbare Spundwandprofile [I].

Der ECO700S ist konstruiert worden, um Einzel-Z-Profile bis 708 mm Breite und Einzel-U-Bohlen bis 750 mm Breite einzupressen.

Der ECO1400S ist konstruiert worden, um Doppel-Z-Profile mit einer Gesamtbreite bis 1416 mm sowie Doppel-U-Profile mit einer Gesamtbreite von 1200 mm und 1400 mm einzupressen.

### 6.6.2 Doppel-U-Pressen

Die Doppel-U-Pressen (ECO1400S) wurde erfolgreich auf mehreren Baustellen eingesetzt.



Bild 10: ECO1400S als Doppel-U-Pressen [II].



Bild 11: Einbringen von Doppel-U-Profilen [II].

## **6.7 Einsatz Giken-Pressstechnik bei verschiedenen Hochwasserschutz-Projekten**

Das Bohr-Press-System (Crush Piler) wurde bei folgenden Bauvorhaben erfolgreich eingesetzt:

### **6.7.1 BV: Hochwasserschutz Zwethau, Abschnitt Z11.2**

Bei diesem Projekt musste ein Deich saniert werden, um den Hochwasserschutz weiter gewährleisten zu können. Mitten im Damm wurden Doppel-Z-Bohlen mit einer Länge von 7,00 bis 10,00 m eingebracht.



Bild 12: Bohr-Press-System (Crush Piler) im Einsatz an der Elbe [II].



Bild 13: Einbringen von Doppel-Z-Bohlen durch Einpressen mit integriertem Vorbohren [II].

### 6.7.2 BV: Hochwasserschutz Bad Dübén

Bei diesem Bauvorhaben wurde ein Deich instandgesetzt. Es wurden Doppel-Z-Profile in Längen von 9,50 m bis 12,80 m eingespresst.



Bild 14: Bohr-Press-System (Crush Piler) im Einsatz an der Mulde [II].

### 6.7.3 BV: Hochwasserschutz Köln-Rodenkirchen, PFA 4

Im Rahmen dieses Projektes wurde der Hochwasserschutz entlang der Uferstraße (rheinseitig) bis 11,30 m Kölner Pegel erhöht. Es wurden dabei sowohl Doppel-Z als auch Einzel-Z-Profile in Längen von 6,00 m bis 10,00 m mit dem Crush Piler eingebracht.



Bild 15: Crush Piler im Einsatz am Rhein [II].



Bild 16: Einbringen von Doppel-Z-Bohlen mit Crush Piler [II].



Bild 17: Eingespresste Doppel-Z-Profile [II].

## Bildnachweis

[I] Alle Abbildungen © Giken Europe BV.

[II] Alle Aufnahmen © Giken Europe BV.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. Naji Al-Arja  
Giken Europe BV  
Niederlassungsleiter  
Bühringstr. 12  
D-13086 Berlin

Tel.: +49(0)30- 47 02 33 80

Fax: +49(0)30- 4702 33 82

E-Mail: [naji@giken.de](mailto:naji@giken.de)

[www.giken.com](http://www.giken.com)



Fabian Kirsch, Kurt-M. Borchert

## **7 Genehmigungs- und Zulassungsvoraussetzungen von Bodenmischsäulen**

### **7.1 Einleitung**

Vorliegender Beitrag behandelt die technischen und genehmigungsrechtlichen Belange beim Einsatz von sogenannten Bodenmischsäulen zur Verbesserung der Baugrundeigenschaften bzw. zur Herstellung eines lastabtragenden Elementes im Untergrund.

Aus vorangegangener Erläuterung wird schon ersichtlich, dass Bodenmischsäulen einerseits zur kompakten Verbesserung des in situ anstehenden Baugrundes (auch bezeichnet als Massenstabilisierung) Verwendung finden können. Dabei werden die Säulen mit Überschnitt angeordnet, so dass im Ergebnis ein Bodenzementkörper entsteht. Seine Eigenschaften sind dann so auszulegen, dass die geplanten Gründungslasten – beispielsweise von Verkehrswegedämmen oder auch Gebäudegründungen – sicher abgeleitet werden können.

Eine andere Ausführungsform stellt die Herstellung zylindrischer Bodenmischkörper – dann die eigentliche Bodenmischsäule – dar. Diese Säule stellt als Festigkeit entwickelndes Tragglied ein Bauteil bzw. eine Bauart im Sinne der Landesbauordnungen dar. Entsprechend muss die Planung, Bemessung und Ausführung entweder Gegenstand technischer Baubestimmungen (bauaufsichtlich eingeführte Normen), allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall sein.

Im weiteren Beitrag werden Bodenmischsäulen im engeren Sinne auch als Stabilisierungssäulen bezeichnet, die unter Verwendung eines mechanischen Rührwerkzeuges, welches um eine vertikale Achse rotiert, ein nasses oder trockenes, Festigkeit entwickelndes Zugabematerial mit dem anstehenden Boden vermischen.

Dies stellt gegenüber den in den aktuell in Arbeit befindlichen Empfehlungen des Arbeitskreises 2.8 „*Stabilisierungssäulen*“ der DGGT [1] für „*Bodenmischsäulen*“ eine zusätzliche Konkretisierung dar. In genanntem Merkblatt, welches derzeit in erster Entwurfsfassung noch unveröffentlicht vorliegt, werden neben den mit mechanischem Einmischen herzustellenden Körpern auch Düsenstrahl- oder Verfahren vergleichbar dem Fräsmischinjektionsverfahren behandelt.

Grundlegende Anforderungen an die geotechnische Bemessung und Ausführung sind im Normenhandbuch EC 7-1 (DIN EN 1997, Teil 1: 2009-09, DIN EN 1997-1/NA: 2010-12 in Verbindung mit DIN 1054: 2010-12) zusammengefasst. Hinweise zur Verwendung von Bodenmischverfahren finden sich auch in den Richtlinien der DB AG (RiL 836) sowie in den Merkblättern der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Die für die Herstellung von Bodenmischsäulen relevante Anwendungsnorm ist die DIN EN 14679:2005-07: *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - tiefreichende Bodenstabilisierung*, die in Deutschland allerdings nicht bauaufsichtlich eingeführt ist. Wichtige Aspekte zur inneren Standsicherheit von Bodenmischsäulen werden in DIN 4093: *Bemessung von verfestigten Bodenkörpern – Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren* erläutert. Einen sehr guten Überblick über die zur Verfügung stehenden Technologien und die relevanten Ausführungsparameter stellt Topolnicki in [2] vor. Weitere Erläuterungen und Anwendungshinweise werden auch von Sondermann und Kirsch in [3] gegeben.

Nachfolgende Tabelle 1 liefert eine Einordnung der Bodenmischsäulen in den Kanon der Baugrundverbesserungsmaßnahmen nach [3]. Hiernach können die Bodenmischsäulen dem dort genannten Einmischverfahren (MIP-Verfahren) zugeordnet werden.

Austauschen	Verdichten		Bewehren		
Bodenaustausch	statische Methoden	dynamische Methoden	mit verdrängender Wirkung (Umgebungsverdichtung)	ohne verdrängende Wirkung	
Bodenaushub				mechanisches Einbringen	hydraulisches Einbringen
	Vorbelastung	Vibrationsverdichtung	Rüttelstopfverdichtung	MIP-Verfahren	Düsenstrahlverfahren
	Vorbelastung mit Konsolidierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiefenrüttler</li> <li>• Aufsatzrüttler</li> </ul>	Rüttelstopfvermörtelung	FMI-Verfahren	
	Verdichtungsinjektion	Stoßverdichtung	Sandverdichtungs-pfähle	Injektionen	
	Grundwasserbeeinflussung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallplatte</li> <li>• Sprengung</li> <li>• Luft-Impuls-Verfahren</li> </ul>	Kalk/Zement-Stabilisierungssäulen	Vereisung	
			Verdichtungs-injektion		

Tabelle 1: Methoden der Baugrundverbesserung nach [3].

Im Ergebnis des Einmischverfahrens wird durch mechanisches Einbringen ohne verdrängende Wirkung eine Bewehrung des anstehenden Bodens erzeugt. Wenn der Lastabtrag über Säulen bzw. Säulengruppen dergestalt planerisch vorgesehen ist, dass die überwiegend vertikalen Beanspruchungen durch den großen Steifigkeitsunterschied zwischen der Bodenmischsäule und dem umgebenden Boden in die Säule eingeleitet und beispielsweise durch Aktivierung eines Säulenfußwiderstandes in tieferliegende tragfähige Schichten eingeleitet werden, so sind neben den üblichen qualitätssichernden Kriterien besondere Voraussetzungen für diesen Einsatz zu erfüllen, die im vorliegenden Beitrag näher erläutert werden soll.

## 7.2 Tiefeneinmischverfahren nach europäischer Normung

Die eingangs erwähnte DIN EN 14679 stellt die grundlegenden Erfordernisse sowie die Entwurfskriterien für den Einsatz von Bodenmischsäulen als tiefreichende Bodenstabilisierung zusammen. Dabei wird die tiefreichende Bodenstabilisierung als Verfahren der Anmischung des in situ anstehenden Baugrundes durch rotierende mechanische Mischwerkzeuge definiert. Eine vorhandene horizontale Stützung durch den umgebenden Boden wird durch die Herstellung nicht aufgelöst. Weiter wird eine Abgrenzung zu den oberflächlichen Stabilisierungsverfahren dergestalt vor-

genommen, dass die Behandlung des Bodens bis in eine Tiefe von mehr als 3 m vorgenommen wird.

Zur Herstellung der tiefreichenden Bodenstabilisierung existiert eine fast unbegrenzte Breite unterschiedlichster Mischwerkzeuge und Technologien. Nachfolgend sollen wesentlich die Verfahren behandelt werden, bei denen Werkzeuge mit einer sogenannten einaxialen Rotation (vgl. Bild A.1 der DIN 14679) eingesetzt werden. Durch entsprechende Überschneidungsbeträge lassen sich auch mit säulenartigen Körpern beliebige Geometrien zur Massenstabilisierung ausführen. Für die Einordnung der Verfahren soll nachfolgend kein wesentlicher Unterschied zwischen dem Nass- und Trockeneinmischverfahren vorgenommen werden, obwohl die Vermengung des anstehenden Bodens mit Bindemittel in trockener Form, das beispielsweise mit Hilfe von Druckluft in den Boden eingebracht und mit dem anstehenden Boden vermengt wird, bzw. das Einpressen einer Bindemittelsuspension mit einer ebensolchen Vermengung im Hinblick auf die zu verwendenden Werkstoffe und Verfahrensparameter durchaus zu erheblich unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Details zu den Mischungsverhältnissen und einzusetzenden Bindemittelgemischen können beispielsweise der Unterlage [2] entnommen werden.

Im Hinblick auf die Werkzeuge unterscheiden sich Nass- und Trockenmischverfahren beispielsweise in der Anzahl der Mischwellen oder auch der Möglichkeit des Einsatzes durchgehender Bohrschnecken zum Einmischen des dann in der Regel flüssigen Suspensionsgemisches. Insbesondere in Bezug auf die im Rahmen der Herstellung aufzuzeichnenden Verfahrensparameter und die Inhalte der zwingend vor Ausführung einer tiefreichenden Bodenstabilisierung zu erstellenden Verfahrensbeschreibung gibt die DIN EN 14679 wertvolle Hinweise. Vor allem wird die wesentliche Verfahrensgröße der sogenannten Flügelumdrehungszahl (auch Blade Rotation Number) hervorgehoben, die neben dem eigentlichen volumetrischen Gehalt des Zugabematerials wesentlich die Qualität und Homogenität sowie daraus resultierend die Festigkeit des Bodenmischkörpers bestimmt. Die Flügelumdrehungszahl ergibt sich als Produkt der Anzahl der Mischflügel des Werkzeuges und der Umdrehungsgeschwin-

digkeit der Welle in Verbindung mit der zugehörigen Ziehrate. Die Flügelumdrehungszahl nimmt dabei üblicherweise Werte größer 350 an.

### 7.3 Technische und planerische Anforderungen

Für die Planung von Bodenmischsäulen sind aussagefähige Baugrunduntersuchungen gemäß EC 7.2 in Verbindung mit DIN 4020 erforderlich. Dabei sind insbesondere nachfolgende Parameter als charakteristische Kenngrößen schichtbezogen und in Homogenbereichen zusammengefasst zu ermitteln:

$\gamma/\gamma'$	Wichte – Wichte unter Auftrieb
$\varphi'$	Reibungswinkel im dränierten Zustand
$c'$	Kohäsion im dränierten Zustand
$c_u$	Kohäsion im undränierten Zustand

Darüber hinaus sind Details zur Kornverteilung und ggf. Abrasivität des Baugrundes erforderlich. Vor allem ist der Anteil organischer Bestandteile zu spezifizieren, da dieser die Erhärtung des Bodenbindemittelgemisches maßgeblich beeinflussen kann. Auch sind die chemischen Eigenschaften und der Angriffsgrad des Grundwassers sowie des Baugrundes anzugeben. Im Baugrund befindliche Hindernisse aus Bauwerksresten oder Auffüllungen oder Steinlagen und Findlinge sind für die Verfahren hinderlich und entsprechend zu beschreiben. Zu den ebenfalls relevanten physikalischen Eigenschaften zählen der natürliche Wassergehalt, die Mineralogie sowie die Konsistenzgrenzen und Lagerungsdichten. Letztlich sind auch die Durchlässigkeit und die Verformungseigenschaften relevant.

Neben den oben angegebenen Baugrundeigenschaften ist auch auf eventuell vorhandene quellfähige Böden oder das Vorhandensein von Hohlräumen und Klüften sowie auf das Druckniveau des anstehenden Grundwassers (Grundwasserschwankungsbreiten und artesische Drücke) hinzuweisen.

Da die Eigenschaften des Bodenbindemittelgemisches nur in ungefährer Größenordnung auf der Basis des vor Ort anstehenden Bodens abge-

schätzt werden können, kommt der vorlaufenden und baubegleitenden Durchführung von Labor- und Feldversuchen eine besondere Bedeutung zu.

Nachfolgendes Bild 1 ist der DIN 14679 [4] nachempfunden und zeigt sehr anschaulich das Erfordernis von Anmischversuchen sowie vorlaufenden und baubegleitenden Feldversuchen zur Ermittlung des erforderlichen Zementgehaltes und der entsprechenden Homogenität der Stabilisierungskörper.

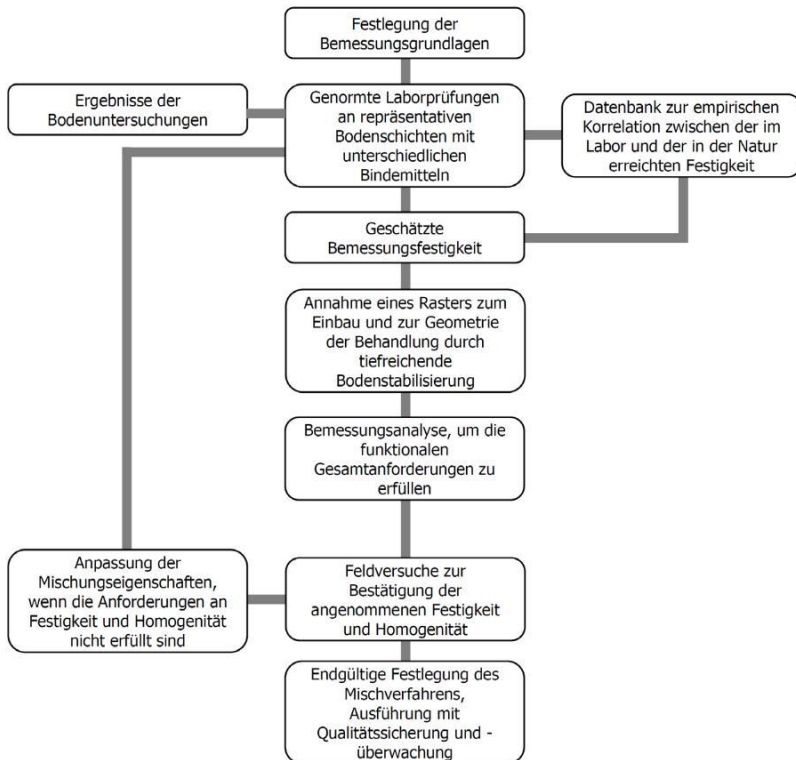


Bild 1: Iterativer Bemessungsprozess einschl. Laborversuchen, funktionaler Feldversuche mit Ausführungsplanung nach [4].

Besondere Bedeutung kommt den Versuchen zur Ermittlung der Bemessungsfestigkeit zu, da diese wesentliche Eingangsparameter für die zugehörige Planung darstellen. Die erreichbaren Festigkeiten können im Vor-

feld an repräsentativen Bodenproben mit entsprechend unterschiedlichem Bindemittelgehalt im einaxialen Druckversuch ermittelt werden. Die Auswertung von Versuchsergebnissen zur Ermittlung der Bemessungsfestigkeit erfolgt dabei entsprechend der Vorgaben in DIN 4093: *Bemessung von verfestigten Bodenkörpern – Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren*. Zusätzlich zu den Anmischproben im Vorfeld soll die Festigkeit baubegleitend durch Versuche an Kernproben der in situ hergestellten Bodenmischkörper vorgenommen werden. Die DIN EN 14679 sieht dabei die Entnahme von Kernproben aus den abgebundenen Bodenmischkörpern und die entsprechende Bodenvorbereitung vor. Alternativ kann gemäß DIN auch eine sogenannte Nassgreiferprobe entnommen werden. Dabei erfolgt die Probennahme durch entsprechendes Einführen eines Entnahmegärates (beispielsweise Hohlzylinder), in den die flüssige Probe eingefüllt und nach Verschluss die Probe an die Bodenoberfläche befördert wird.

Schließlich stellt die Säulenfreilegung die grundsätzlichste und durch die Möglichkeit der visuellen Begutachtung auch unmittelbarste Überprüfung der Qualität der Bodenmischsäulen dar.

Im Rahmen der Planung ist besonderes Augenmerk auf die Einleitung der Lasten in die Säulen (Erfordernis von Bettungspolstern) sowie auf die Nachweise der inneren Standsicherheit und der äußeren Tragfähigkeit gemäß DIN 1054 (Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS sowie Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS (Setzungs- und Verformungsnachweis)) zu legen. Üblicherweise können für die Nachweise der äußeren Standsicherheit Überlegungen bezüglich des maximal übertragbaren Säulenfußwiderstandes vorgenommen werden. Die Tragfähigkeits- und Verformungseigenschaften im Hinblick auf die äußere Standsicherheit müssen schlussendlich jedoch auf der Basis von Probelastungen auf dem Baufeld oder an vergleichbaren Baumaßnahmen abgesichert werden. Für die innere Standsicherheit ist ein Spannungsnachweis zu führen. Die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen sind entsprechend DIN 1054 anzusetzen. Der materialseitige Teilsicherheitsbeiwert

wird in DIN 4093 zu  $\gamma_m = 1,5$  (für BS-P und BS-T) festgelegt (vgl. auch [1]).

## **7.4 Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen**

Im Hinblick auf die Geometrien der mit Bodenmischsäulen zu erstellen den Verfestigungskörper gibt es kaum Restriktionen. So sind von Einzelsäulen und Säulengruppen bis hin zu Verfestigungskörpern als Massenstabilisierung auch Zwischengeometrien zu finden. Häufig finden wabenartig angeordnete Säulenreihen Verwendung, die insbesondere im Fall einer Verflüssigungsprävention zu guten Ergebnissen im Hinblick auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis geführt haben.

Neben dem vertikalen Lastabtrag werden Bodenmischsäulen auch zur Stabilisierung des Baugrundes unterhalb von Böschungen und Dämmen eingesetzt. Dabei kommt der Festigkeitsentwicklung und dem Lastabtrag eine besondere Bedeutung zu. In [5] hat Kivelö unterschiedlichste Bruchmechanismen von Bodenmischsäulen im Geländebruchnachweis untersucht. Eine Detaillierung dieses Nachweisformates ist beispielsweise in [6] zu finden. Im aktuellen Entwurf des Merkblattes des Arbeitskreises 2.8 wird den erreichbaren Verbesserungen im Geländebruchnachweis durch den Einsatz von Stabilisierungssäulen besonderes Augenmerk geschenkt. Hierzu sind in naher Zukunft weitere Erkenntnisse zu erwarten.

Ihre Grenzen finden die hier diskutierten Verfahren in Böden hoher Festigkeit und bei Vorhandensein von Steinen, Auffüllungsresten oder Findlingen, die die kontinuierliche Vermengung des anstehenden Bodens mit dem Bindemittelgemisch verhindern können. Weiterhin sollte bedacht werden, dass die Bodenmischsäulen im abgebundenen Zustand nicht in der Lage sind nennenswerte Zugspannungen zu übertragen. So sind exzentrische Belastungen auf ein Mindestmaß zu beschränken und Seitendrucke, beispielsweise aus Baustellenverkehr, zu vermeiden. Weiterhin können Hebungen des Baugrundes (quellfähige Böden oder verdrängende Verfahren im Umfeld) zu Säulenabrissen führen, die die Gebrauchstauglichkeit der Bodenmischsäulen im Endzustand beeinträchtigen. Mit zu-



nehmendem Anteil organischer Bestandteile sinken die erreichbaren Festigkeiten erheblich ab und die erforderliche Menge an Zugabematerial steigt, so dass es schließlich zu einer unwirtschaftlichen Lösung führen kann. Geringe pH-Werte und hohe organische Anteile stellen grundsätzlich ungünstige Randbedingungen für den Einsatz des Tiefeneinmischverfahrens dar.

## **7.5 Anforderungen an die qualitätsgesicherte Ausführung**

Im Vorfeld der Ausführung ist eine detaillierte Verfahrensbeschreibung der Technologie zur Erzeugung der Bodenmischsäulen zu erstellen. Aufgrund der eingangs beschriebenen Vielfalt der vorhandenen Technologien muss die Verfahrensanweisung hier umfassende Informationen enthalten. Dabei sind neben den Zielen der Stabilisierungsmaßnahme und den entsprechenden Beschreibungen des anstehenden Bodens vor allem die Arbeitsvorgänge (Bohren, Ziehen und Mischen) sowie die Ausführungsreihenfolge, die verwendeten Mischwerkzeuge und die zugehörigen Toleranzen sowie sämtliche Parameter der Stabilisierung (Bindemittelart und Zusammensetzung, Bindemittelgehalt/Bindemittelfaktor, Volumenverhältnis, Wasserbindemittelverhältnis, Zusatzmittel, Füller etc.) anzugeben. Darüber hinaus ist ein QS-Plan zu erstellen, in dem die vorlaufenden und baubegleitenden Messungen und Aufzeichnungen im Hinblick auf die Art der Aufzeichnung und die Aufzeichnungsintensität festgelegt werden. Dazu zählen u. a.:

1. die relevanten Ausführungsparameter: Datum und Dauer der Ausführung, Säulenbezeichnung, Form der Mischwelle und des Werkzeugs, Abbohr- und Ziehrate (mm/Umdrehung) bzw. Geschwindigkeit (m/min), Umdrehgeschwindigkeit (Umdrehungen/Minute während des Abbohrens und Ziehens), Bindemittelart und -zusammensetzung, Wasser-/Bindemittelverhältnis, Ausführungstoleranzen (Vertikalität, Durchmesser, Ansatzpunkt), Reihenfolge und Zeitablauf, Ober- und Unterkante);
2. der Suspensionsverbrauch;

3. die Beschreibung und Pläne von Probefeldern inkl. der unterschiedlichen Herstellparameter;
4. die Probenentnahme aus Probesäulen mittels Kernbohrung oder Linerentnahme;
5. die Festigkeiten sind über Druckfestigkeitsprüfungen (Kerne - Probesäulen) gem. DIN 4093 zu bestimmen, ggf. sind Kriechversuche vorzusehen;
6. die Angabe, in welchen Tiefen die Rückstellproben zur Druckfestigkeitsprüfung entnommen werden;
7. produktionsbegleitende Kontrollprüfungen (Suspensionsdichte, Druckfestigkeiten, Suspensionsverbrauch);
8. die Beschreibung eines evtl. Kappvorganges und überlagernder Polsterschichten inkl. deren Einbaus.

## **7.6 Genehmigungsrechtliche Randbedingungen**

Wie eingangs erwähnt, stellt die Anordnung von Bodenmischsäulen als Einzelsäulen im Allgemeinen ein Tragglied gemäß der Landesbauordnung dar und bedarf daher einer Ausführung entsprechend einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder einer bauaufsichtlich eingeführten Norm. Sind diese nicht vorhanden, so muss im Allgemeinen eine Zustimmung im Einzelfall erwirkt werden. Lediglich beim Einsatz des Tiefeneinmischverfahrens als Baugrundverbesserung kann auf eine Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall in Ausnahmefällen verzichtet werden, wenn das Einzeltragglied nicht für den konzentrierten Lastabtrag herangezogen wird.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass für eine projektspezifische Zustimmung im Einzelfall und für das Erwirken einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vergleichbare Anforderungen gestellt werden. So sind vor allen Dingen die Anforderungen der DIN 14679 zu erfüllen. In Eignungsversuchen müssen die mit dem jeweils zum Einsatz vorgesehenen Mischwerkzeug erzielbaren Homogenisierungsgrade und in Abhängigkeit vom Zugabematerial die erzielbaren Festigkeiten detailliert unter-

sucht werden. Dabei müssen die Baugrundeigenschaften bekannt und die für die Verwendung vorgesehenen Bindemittelgemische qualitätsgesichert hergestellt und in entsprechenden Eignungsprüfungen untersucht sein. Die Eigenschaften der fertiggestellten Säule sind durch Probelastungen und Säulenfreilegungen nachzuweisen und Vorgaben zur qualitätsgesicherten Herstellung sind zu beschreiben. Durch baubegleitende Prüfung und kontinuierliche Aufzeichnungen sind die im Rahmen der Vorversuche zu ermittelnden Festigkeiten dann produktionsbegleitend zu überprüfen und zu bestätigen.

Sind all diese Randbedingungen erfüllt, so kann aus Sicht der Verfasser eine vorhabenbezogene Zustimmung im Einzelfall erwirkt werden. Durch exemplarische Nachweise in unterschiedlichen Baugrundverhältnissen kann bei entsprechender Dokumentationstiefe auch ein Antrag auf allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim Deutschen Institut für Bautechnik gestellt werden. Hierzu gibt es bereits Zulassungen vergleichbarer Verfahren (siehe auch [7]).

Grundsätzlich ist im Rahmen eines Zulassungsverfahrens anzustreben, die geplante Bandbreite der Bodeneigenschaften auch abzudecken, d.h. von grobkörnigen (Kies) bis hin zu stark bindigen (Ton) Böden Nachweise der oben beschriebenen Art zu erbringen. Wenn die erreichten Festigkeiten gering sind, müssen neben einaxialen Druckversuchen auch Kriechversuche zum Nachweis der Langzeitstabilität durchgeführt werden. Neben der Bandbreite des Baugrundes ist auch die anzustrebende Geometrie (Säulenlänge) in den Eignungsversuchen zur Zulassung nachzuweisen.

## **7.7 Ausführungsbeispiele**

### **7.7.1 Beispiel einer Baugrundverbesserung im Sand**

Auf einem innerstädtischen Grundstück in Oranienburg war der Neubau eines 5-geschossigen, nicht unterkellerten Mehrzweckgebäudes auf einer Grundrissfläche von ca. 46 x 12 m geplant.

Der unterhalb einer sandigen Auffüllung anstehende Sand liegt zunächst in einer lockeren bis im unteren Wertebereich mitteldichten Lagerung an.

Lokal liegen diese jedoch bis in Tiefen von ca. 5 m unter GOK in lockers-ter Lagerung an. Die Lagerungsdichteanomalien sind im Zusammenhang mit den rasterförmig durchgeführten Munitionsbohrungen im Rahmen der Kampfmittelfreigabe zu sehen. Entsprechend war eine Baugrundver-besserung mittels tiefer Bodenvermörtelung (TBV) und Rüttelstopfver-dichtung (RSV) vorgesehen.

Im Süden des Baufeldes wird der Neubau direkt an einer bestehenden Be-bauung errichtet. Um Setzungen und Verformungen der Nachbarbebau-ung zu vermeiden, wurde im direkt angrenzenden Bereich die tiefe Bodenvermörtelung (TBV) als verformungs- und erschütterungsarme Baugrundverbesserung angeordnet. Es wurden auf der Teilfläche von ca. 100 m<sup>2</sup> insgesamt 49 Stück Säulen mit einem Durchmesser  $\geq 60$  cm (vgl. Bild 2).



Bild 2: Freigelegter Säulenkopf [I].

Mit einer Rotation von ca. 50 U/min bzw. i. M. 100 U/m Säule und mehre-ren Abteuf- und Hebezyklen und konnten in den anstehenden Sanden Festigkeiten von i. M. 12,7 N/mm<sup>2</sup> (30 Tage Festigkeit) erreicht werden.

Die Ausführung erfolgte durch die Firma Keller Grundbau GmbH im Auftrag der Landkreises Oberhavel. Die Leistungen zum Baugrundgutachten, zur Planung sowie zur Überwachung der Baugrundverbesserungsarbeiten wurden durch GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH erbracht.

### 7.7.2 Beispiel einer Baugrundverbesserung im Sand/Schluff-Gemisch

Auf einem ca. 6.600 m<sup>2</sup> großen Grundstück in Berlin-Treptow war eine 5- bzw. 6-geschossige Wohnbebauung auf einer L-förmigen Grundrissfläche mit einem Untergeschoss, das als Tiefgarage genutzt werden soll, geplant.

In Teilbereichen mit anstehenden Baugrundsichten geringer Steifigkeit infolge einer geologischen Rinnenstruktur war eine Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfverdichtung (RSV) vorgesehen. Im Norden wird der Neubau mit einem Abstand von etwa 4 m neben einer bestehenden Bebauung errichtet. Um Setzungen und Verformungen der Nachbarbebauung zu vermeiden, wurde im direkt angrenzenden Bereich die Baugrundverbesserung als tiefe Bodenvermörtelung (TBV) angeordnet.

Es wurden auf der Teilfläche von ca. 300 m<sup>2</sup> insgesamt 309 Stück Säulen mit einem Durchmesser  $\geq 60$  cm und Längen zwischen 5 m und 7 m erstellt.



Bild 3: Herstellung der Bodenmischsäulen [I].

Mit einer Rotation von ca. 50 U/min bzw. i. M. 65 U/m Säule und mehreren Senk- und Hebevorgängen konnten in dem anstehenden Schluff-Sand-Gemischen Festigkeiten von i. M. 7 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden.

Die Ausführung erfolgte durch die Firma rsm Grundbau im Auftrag der Wohnungsbaugenossenschaft „Treptow Nord“ e. G. Die dazu notwendigen Leistungen zum Baugrundgutachten, zur Planung sowie zur Überwachung der Baugrundverbesserungsarbeiten wurden durch GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH erbracht.

## **Bildnachweis**

[1] Alle Aufnahmen © GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH.

## **Literatur**

- [1] Arbeitskreis 2.8 “Stabilisierungssäulen” der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Merkblatt für die Herstellung, Bemessung und Qualitätssicherung von Stabilisierungssäulen zur Untergrundverbesserung - Bodenmischsäulen (Entwurf 2013, unveröffentlicht).
- [2] Topolnicki, M. In-situ Soil Mixing. In: Kirsch, K. und Bell, A. (Eds). [2013]. Ground Improvement, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.
- [3] Sondermann, W. und Kirsch, K.: Baugrundverbesserung in Grundbautaschenbuch Teil 2 Kapitel 2.2 Ernst & Sohn, Berlin 2009.
- [4] DIN EN 14679, Ausgabedatum: 2005-07, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Tiefreichende Bodenstabilisierung; Deutsche Fassung EN 14679:2005
- [5] Kivelö, M.: Stabilization of embankments on soft soil with lime/cement columns, 1998.
- [6] Borchert, K.-M. und Kirsch: Bemessung der Erweiterung von Bestandsdämmen auf gering tragfähigem Untergrund mit Rüttelstopf- oder Betonsäulen, VSVI Seminar, Berlin 2008.
- [7] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung der Z-34.26-200: Bauer Spezialtiefbau GmbH: Mixed in Place (MIP).

## **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Fabian Kirsch, Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert

GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH

Darwinstr. 13

10589 Berlin

E-Mail: [kirsch@gudconsult.de](mailto:kirsch@gudconsult.de)

[www.gudconsult.de](http://www.gudconsult.de)





Guido Rautenberg

## 8 Baustrukturelle Entwicklung in Hong Kong und zukünftige Projekte in Asien

Mit dem Beitrag zum Thema „Baustrukturelle Entwicklung in Hong Kong und zukünftige Projekte in Asien“ soll der Blick auf eine etwas andere Dimension der Bautätigkeit gelenkt werden. Im Vergleich zu Europa kann man die Bauweisen auf einem definierbaren Niveau vergleichen. Das bedeutet, dass in Europa, orientiert am technischen Standard, eine optimale Lösung entwickelt werden kann. In Asien hingegen werden mit Hilfe der zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmittel anspruchsvolle Bauaufgaben verwirklicht.

Zur Veranschaulichung der Größe Chinas nachfolgend ein paar Randdaten:

<b>China</b>	
Fläche:	9.571.302 km <sup>2</sup>
Einwohnerzahl:	1.349.585.838 (Juli 2013)
Bevölkerungsdichte:	140 Einwohner je km <sup>2</sup>
Bevölkerungsentwicklung:	+ 0,47 % (2011) pro Jahr
<b>Bruttoinlandsprodukt:</b>	
Total (nominal)	8.250 Milliarden USD
Total (KKP)	12.382 Milliarden USD
BIP/Einwohner (nominal)	6.094 USD
BIP/Einwohner (KKP)	9.146 USD
<b>Deutschland</b>	
Fläche:	357.121 km <sup>2</sup>
Einwohnerzahl:	80.548.000 (Mai 2013)
Bevölkerungsdichte:	226 Einwohner je km <sup>2</sup>
Bevölkerungsentwicklung:	+ 0,9 % (2012) pro Jahr
<b>Bruttoinlandsprodukt:</b>	
Total (nominal)	3.577 Milliarden USD
Total (KKP)	3.099 Milliarden USD
BIP/Einwohner (nominal)	43.742 USD
BIP/Einwohner (KKP)	37.897 USD

Tabelle 1: China und Deutschland im Vergleich nach [1].

## **8.1 Bautechnische Entwicklungsplanung in China**

Der aktuelle 5-Jahres-Plan in China stellt ein breites Spektrum an Entwicklungsmöglichkeiten dar. In diesem Beitrag wird der Bereich der infrastrukturellen Entwicklung beschrieben. So kann festgehalten werden, dass der ÖPNV in China auf 26.000 km erweitert werden soll. Das bedeutet, dass ein geschätztes Investmentvolumen von ca. 832 Milliarden Euro freigesetzt werden wird.

In einem anderen infrastrukturellen Entwicklungsbereich sagt der Plan aus, dass das Streckennetz für Hochgeschwindigkeitszüge von ca. 3.700 km auf 16.000 km ausgebaut werden soll. Bei Hochgeschwindigkeit spricht man von einem Tempo von konstanten 250 bis 300 km/h. Diese Geschwindigkeit ist in Deutschland nur regional erreichbar.

Das Autobahnnetz soll auf 85.000 km bis 2035 erweitert sein. Es existieren bis zum Jahre 2010 ca. 55.000 km. Das bedeutet ein Investitionsvolumen von ca. 100 Milliarden Euro.

Da China bekanntlich in großem Umfang Exportgeschäfte betreibt, ist für die weltweite Anbindung ein gut ausgebautes Hafennetz existentiell notwendig. So soll von 2010 bis 2020 das Volumen verschiffter Containereinheiten von 120 Millionen TEU auf 200 Millionen TEU erhöht werden. Das Volumen von Massengütern soll im gleichen Zeitraum von 6 Milliarden Tonnen auf über 10 Milliarden Tonnen gesteigert werden.

Nicht nur Waren müssen transportiert werden. Auch die zivile Luftfahrt hat einen hohen Stellenwert gewonnen, um Verbindungsmöglichkeiten zwischen den Regionen zu schaffen. Die Anzahl der Flughäfen soll in einem Zeitraum von 2010 bis 2020 von 190 auf 244 erhöht werden. Es wird in diesem Bericht darauf verzichtet, auf die Bedeutung einzelner Regionen für den Chinesischen Wirtschaftsplan einzugehen.

Neben dem Ausbau des Schienennetzes, der Autobahnen sowie der Flug- und Seehäfen spielt der Transport auf dem Wasserweg im Binnenbereich ebenfalls eine große Rolle.

## 8.2 Eingesetztes Material

Der zu befriedigende Bedarf an Baumaterial demnach enorm. Neben den lokal produzierten Gütern besteht eine große Notwendigkeit für den Einsatz importierter Bauprodukte. Die Produktion von Spundwänden folgt am asiatischen Markt eigenen Regeln. Hier kommt hauptsächlich die 400 mm breite Bohle zum Einsatz. In der unten stehenden Übersicht in Tabelle 2 ist zu erkennen, dass dies die Limitierung der Produktion in Asien darstellt.

Sheet Piles Properties											
Type	Dimension			Per pile				Per 1 m of pile wall width			
	Effective width b	Effective height h	Thickness t	Sectional area	Moment of inertia	Section modulus	Unit mass	Sectional area	Moment of inertia	Section modulus	Unit mass
	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	kg/m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m	kg/m <sup>2</sup>
400 er Series											
Type II	400	100	10,5	61,18	1,240	152	48,0	153,0	8,740	874	120
Type III	400	125	13,0	76,42	2,220	223	60,0	191,0	16,800	1,340	150
Type III A	400	150	13,1	74,40	2,790	250	58,4	168,0	22,800	1,520	146
Type IV	400	170	15,5	96,99	4,670	362	76,1	242,5	38,600	2,270	190
500 er Series											
Type V L	500	200	24,3	133,80	7,900	520	105,0	276,6	63,000	3,150	210
Type VI L	500	225	27,6	153,00	11,400	680	120,0	306,0	86,000	3,820	240
600 er Series											
Type II W	600	130	10,3	78,70	2,110	203	61,8	131,2	13,000	1000	103
Type III W	600	180	13,4	103,90	5,220	376	81,6	173,2	32,400	1800	136
Type IV W	600	210	18,0	135,30	8,630	539	106,2	225,5	56,700	2,700	177

Tabelle 2: Übersicht Bohlentypen nach [2].

Das bedeutet, dass die Entwurfsplanung auf Basis dieser Produkte basiert. Die in westlichen Ländern produzierten Produkte bieten neben den technischen Vorteilen auch einen wirtschaftlichen Vorteil. Die Entwicklung einer Lösung für ein Bauvorhaben bietet dennoch eine Fülle an Hürden, die bewältigt werden müssen. Der Vorgang ist zwar im Grunde vergleichbar mit deutschen Standards. Es gibt jedoch regional unterschiedlich zu berücksichtigende Aspekte bei Einsatzmöglichkeiten und Genehmigungsvoraussetzungen.

Langjähriger Erfahrungsgewinn und die Überwindung verschiedener Hürden beim Einsatz von Spundwänden ermöglichte es der Thyssen Krupp Bautechnik GmbH den Eintritt am weltweit stärksten wachsenden Markt zu erzielen.

Der Einfluss von technologisch entwickelten Ländern ist demnach recht groß und in Asien gibt es inzwischen eine Normung, die auch durch die westlichen Standards geprägt ist.

Standards: JISA 5523/JISA 5528

Chemical Composition (%)

Standard	Material	C	Si	Mn	P	S	N	CEQ (%)
JISA 5523	SYW295	0.18Max	0.55Max	1.50Max	0.04Max	0.04Max	0.0060Max	0.44Max
	SYW390	0.18Max	0.55Max	1.50Max	0.04Max	0.04Max	0.0060Max	0.44Max
JISA 5528	SY295	-	-	-	0.04Max	0.04Max	-	-
	SY390	-	-	-	0.04Max	0.04Max	-	-

Mechanical Properties

Standard	Material	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Toughness
		(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)	[(0°C)(J)]
JISA 5523	SYW295	295Min	490Min	17Min	43Min
	SYW390	390Min	540Min	15Min	43Min
JISA 5528	SY295	295Min	490Min	17Min	-
	SY390	390Min	540Min	15Min	-

Standards: BG/T20933-2007

Chemical Composition (%)

Grade	C	Mn	Si	P	S	V	Nb	T	CEQ (%)
Q295bz	0.16	1.50	0.55	0.040	0.040	0.15	0.060	0.20	≤0.40
Q390bz	0.20	1.60	0.55	0.040	0.040	0.20	0.060	0.20	≤0.44
Q420bz	0.20	1.70	0.55	0.040	0.040	0.20	0.060	0.20	≤0.46

Mechanical Properties

Grade	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)
Q295bz	≤295	390-570	≤23
Q390bz	≤390	490-650	≤20
Q420bz	420	520-680	≤19

Tabelle 3: Asiatische Stahlgüten nach [3].

Neben Unterscheidungen in der Norm bezüglich der Materialeigenschaften sind die geometrischen Formen mit Unterstützung der ThyssenKrupp Bautechnik Regionalvertretung Asien in Hong Kong in die chinesische Spundwandnorm aufgenommen worden. Dies ist ein bislang einmaliger Vorgang. Durch diese Expertise werden der ThyssenKrupp Bautechnik Projektbearbeitungen sehr komplexer Natur ermöglicht.

### 8.3 Projekte in Hong Kong

Ein absolutes Megaprojekt ist die Verbindung von Hong Kong mit Macao. Hierfür wird eine ca. 37 km lange Brücke gebaut, die mit Mautstationen am Anfang und Ende versehen ist. Für die Mautstationen sind künstliche Inseln vorgesehen. Das Bauwerk ist in Tunnel und Brücke unterteilt. Die Fertigstellung soll im Jahre 2016 sein. Neben diesem Mammutprojekt wird

die urbane Entwicklung des ÖPNV, die verkehrliche Anbindung an das chinesische Festland und der Wohnungsbau stetig weiterentwickelt.

Da in Hong Kong das Bauen im Bestand derart interpretiert wird, dass alte Gebäude abgerissen und durch neue ersetzt werden, sind die Projektanforderungen ähnlich denen des klassischen Neubaus. Der Boden ist in einigen Regionen gut rammbar und in anderen Regionen steht recht früh Fels an. Somit wird häufig eine verfahrenstechnische Kombination notwendig, um tragfähige Gründungen herzustellen. Man kann mitunter das Einbringen und Ziehen von Gründungsrohren, die zur Schalung verwendet werden, mit unterschiedlichen Geräten gestalten.

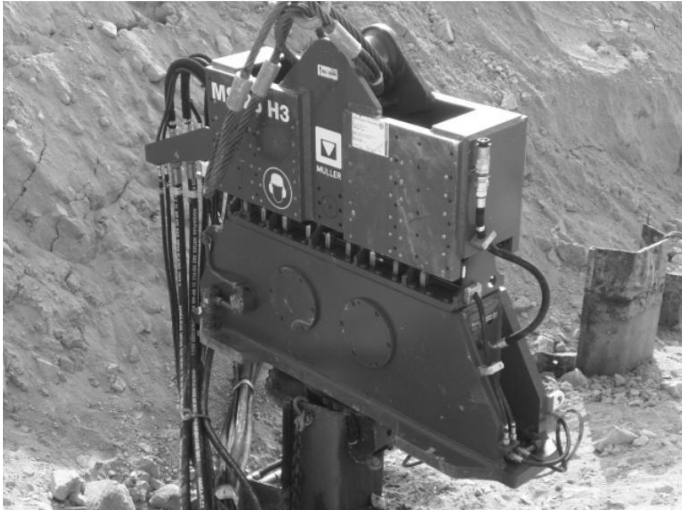
Das Einbringen mit einem „down the hole hammer“ wie z. B. montiert auf einer TKB 203 bis TKB 609. Das Rohr kann bspw. mit einem Müller Vibrator der ThyssenKrupp Tiefbautechnik gezogen werden.

Derzeit befinden sich diverse Gerätekombinationen in Hong Kong im Einsatz. Die ThyssenKrupp Bautechnik begleitet mit ihrem ingenieurtechnischem Know-How und im Mietgeschäft folgende Projekte:

- die Entwicklung des alten Flughafens Kai Tak in Hong Kong zur Umwandlung in ein Wohngebiet,
- den Ausbau der Infrastruktur im Rahmen einer Umgehungsstraße in Wanchai,
- den Rückbau von Spundwänden, die vor ca. 15 Jahren beim Neubau des Flughafens Hong Kong International Airport gesetzt wurden,
- den Einbau von Spundwänden im Rahmen der aktuellen Erweiterung des Hong Kong International Airport,
- das Ziehen von Rohren in zahlreichen Wohnvierteln.

Nachfolgende Bilder zeigen eindrucksvoll die Tätigkeiten in Hong Kong:







Bilder 1–6 [I].



## **Bildnachweis**

[1] Alle Aufnahmen © ThyssenKrupp Bautechnik GmbH.

## **Quellen**

[1] Wikipedia Online-Enzyklopädie, Wikimedia Foundation Inc. (Hg.) 2013,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/China>; <http://de.wikipedia.org/wiki/Deutschland> [letzter  
Zugriff am 04.12.2013].

[2] ThyssenKrupp Bautechnik GmbH.

[3] ThyssenKrupp Bautechnik GmbH nach Standards: JIS A 5525 und BG/T20933-2007.

## **Ansprechpartner**

Dipl.-Ing. Guido Rautenberg  
ThyssenKrupp Bautechnik GmbH  
Hong Kong Branch  
7/ F Sun Hung Kai Centre, 30 Harbour Road  
Hong Kong, China

E-Mail: [guido.rautenberg@thyssenkrupp.com](mailto:guido.rautenberg@thyssenkrupp.com)  
[www.thyssenkrupp.com](http://www.thyssenkrupp.com)

## **Kontakt**

### **TU Berlin**

Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb  
Sekt. TIB1-B6  
Gustav-Meyer-Allee 25  
Gebäude 13b, 4. OG  
D-13355 Berlin

Tel.: +49-(0)30-314-72330

Fax: +49-(0)30-314-72333

E-Mail: [baubetrieb@baubetrieb.tu-berlin.de](mailto:baubetrieb@baubetrieb.tu-berlin.de)  
[www.tu-berlin.de/bauwirtschaft](http://www.tu-berlin.de/bauwirtschaft)

### **ThyssenKrupp Bautechnik GmbH**

Niederlassung Berlin  
Zeppelinring 11 – 13  
D-15749 Mittenwalde

Tel.: +49-(0)3375-92 17 0

Fax.: +49-(0)3375-92 17 10

E-Mail: [bt-berlin@thyssenkrupp.com](mailto:bt-berlin@thyssenkrupp.com)  
[www.thyssenkrupp-bautechnik.com](http://www.thyssenkrupp-bautechnik.com)

### **InnovationsZentrum Bau Berlin Brandenburg e. V.**

an der Technischen Universität Berlin  
Gustav-Meyer-Allee 25  
Gebäude 13b TIB1-B6  
D-13355 Berlin

Tel.: +49-(0)30 - 314 279 24

Fax: +49-(0)30 - 314 723 33

Email: [info@izb-ev.de](mailto:info@izb-ev.de)  
[www.izb-ev.de](http://www.izb-ev.de)

ISBN 978-3-7983-2663-7