

# Probekapitel

*Spezialtiefbau – Kompendium Verfahrenstechnik und Geräteauswahl*

Herausgeber: Liebherr Nenzig GmbH

ISBN: 978-3-433-02904-6

---



## S P E Z I A L T I E F B A U

K O M P E N D I U M

V E R F A H R E N S T E C H N I K U N D G E R Ä T E A U S W A H L

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

**LIEBHERR**  
**BV**

---

Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21, 10245 Berlin  
Deutschland  
[www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

# Einleitung

## Wie benutze ich das Kompendium?

## Verfahren und Arbeitsgerät

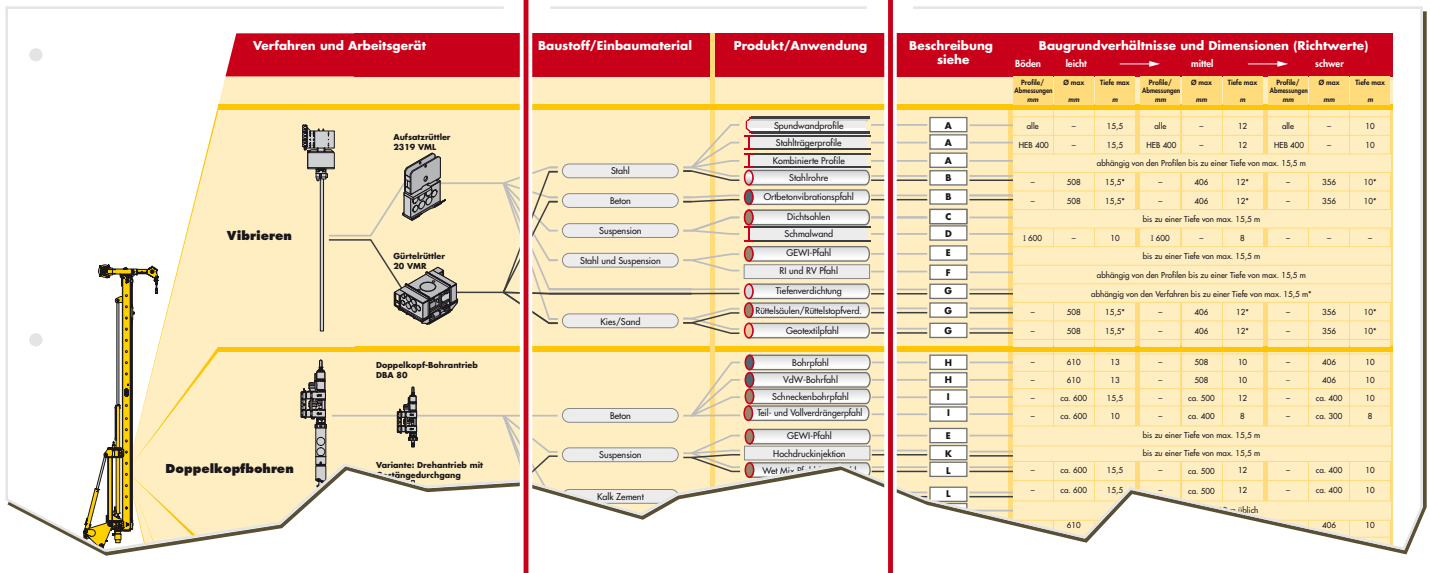
mit welchem Verfahren und  
Arbeitsgerät kann

[illegible]

welches Produkt mit  
welchem Baustoff/  
Einbaumaterial

## Baugrundrichtlinien, Dimensionen, Tiefen (Richtwerte)

bei welchen Baugrundbedingungen, mit welchen Abmessungen bis zu welcher Tiefe hergestellt werden



### 3 Verfahren und Arbeitsgerät

welches Verfahren mit  
welchem Arbeitsgerät  
geeignet (erforderlich)

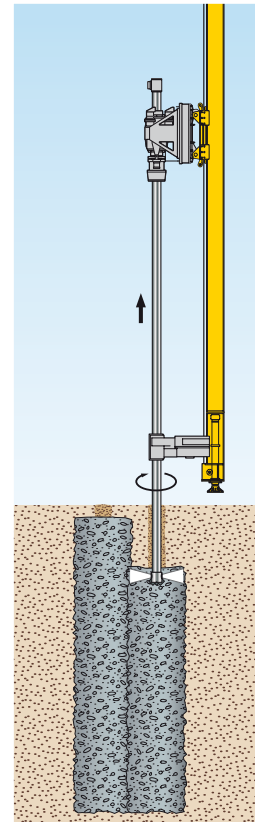
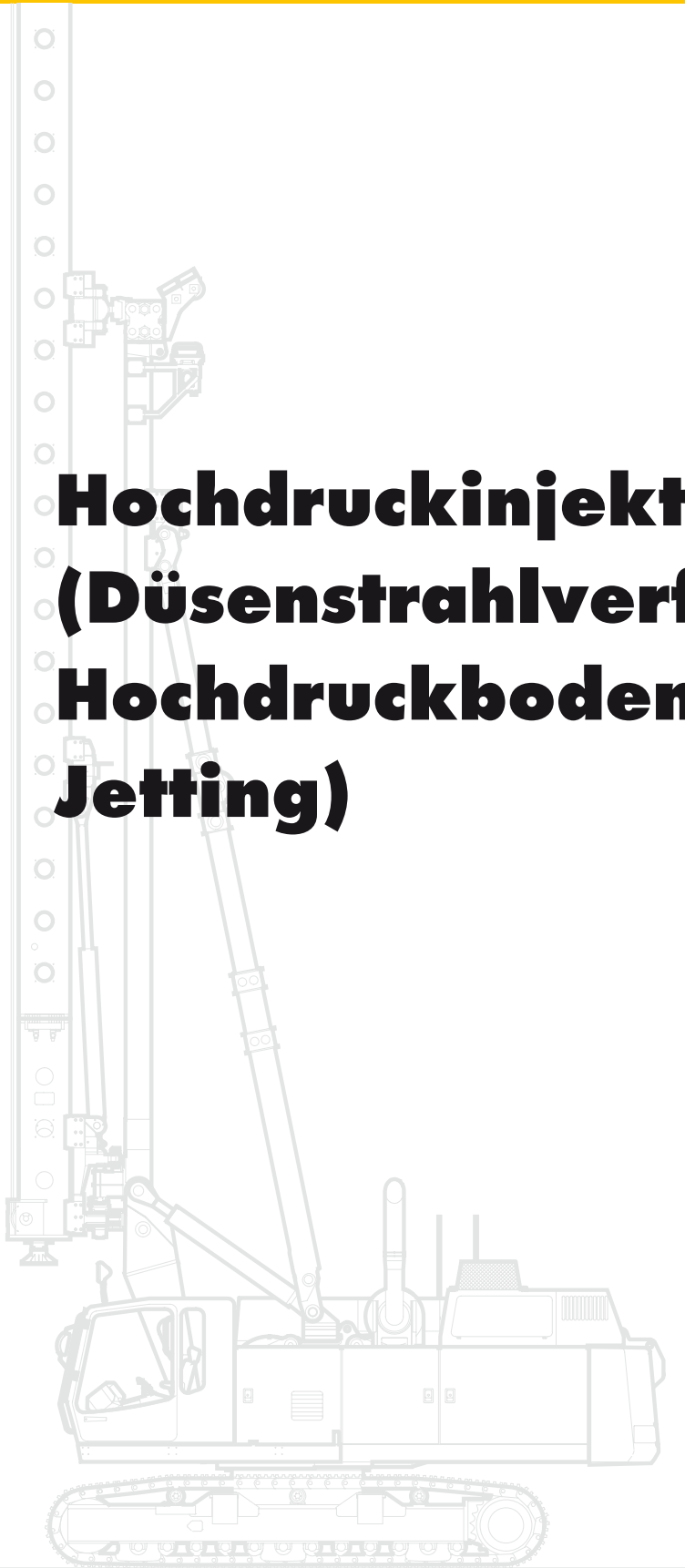
2	Baustoff/ Einbaumaterial Produkt/ Anwendung
---	------------------------------------------------------

für welches Produkt mit  
welchem Baustoff/  
Einbaumaterial

## 1 Baugrundrichtlinien, Dimensionen, Tiefen (Richtwerte)

für welche Abmessungen bei welcher Tiefe und bei welchen Baugrundbedingungen ist zur Herstellung

# **Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)**



# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

## 1 Allgemeines

Unter der Bezeichnung **Hochdruckinjektion** wird im Spezialtiefbau das Verfahren bezeichnet, bei dem der anstehende Boden mit einem Bindemittel, meist einer Zementsuspension, unter hohem Druck vermischt wird, wobei die Bodenstruktur vollkommen zerstört wird. Auf diese Weise entsteht ein verfestigter Körper aus Bodenmaterial und Bindemittel. Die Vermischung erfolgt je nach Bodenbeschaffenheit mit geringer bis fast vollständiger Verdrängung des ursprünglich vorhandenen Bodens.

Dieses Verfahren ist auch unter der Bezeichnung **Bodenvermörtelung im Düsenstrahlverfahren** bekannt, was korrekter ist, weil hier nicht wie bei den herkömmlichen Injektionsverfahren im Spezial-

tiefbau die vorhandenen Poren und Hohlräume des Baugrundes durch ein Injektionsmittel gefüllt werden. In Österreich wird das Verfahren **Hochdruckbodenvermörtelung (HDBV)** genannt.

Die international gebräuchliche englische Bezeichnung ist **Jet-Grouting** oder **Jetting**.

Für dieses Verfahren gibt es noch viele andere firmenspezifische Bezeichnungen, am zutreffendsten ist dabei die Firmenbezeichnung „**Soilcrete**“, Bodenbeton.

Die Anwendung dieses Verfahrens wird in der DIN-EN-12716 unter der Bezeichnung **Düsenstrahlverfahren** geregelt.

## 2 Herstellung, Anwendungen

### 2.1 Herstellmethode

Die Herstellung eines verfestigten Bodenkörpers im Düsenstrahlverfahren erfolgt in folgenden Phasen:

- Im Drehbohrverfahren wird mit Wasserspülung ein Spezialbohrgestänge niedergebracht, das an einem Raupenbohrgerät mit Bohrmast oder an einem Bagger mit Mäkler geführt wird.
- Nach dem Erreichen der Endtiefe erfolgt der Beginn des Düsens. Mit Pumpendrücken bis 600 bar wird eine Zementsuspension durch das Bohrgestänge eingepumpt. Diese tritt aus den am unteren Ende des Bohrgestänges angeordneten Düsen als Düsenstrahl aus.

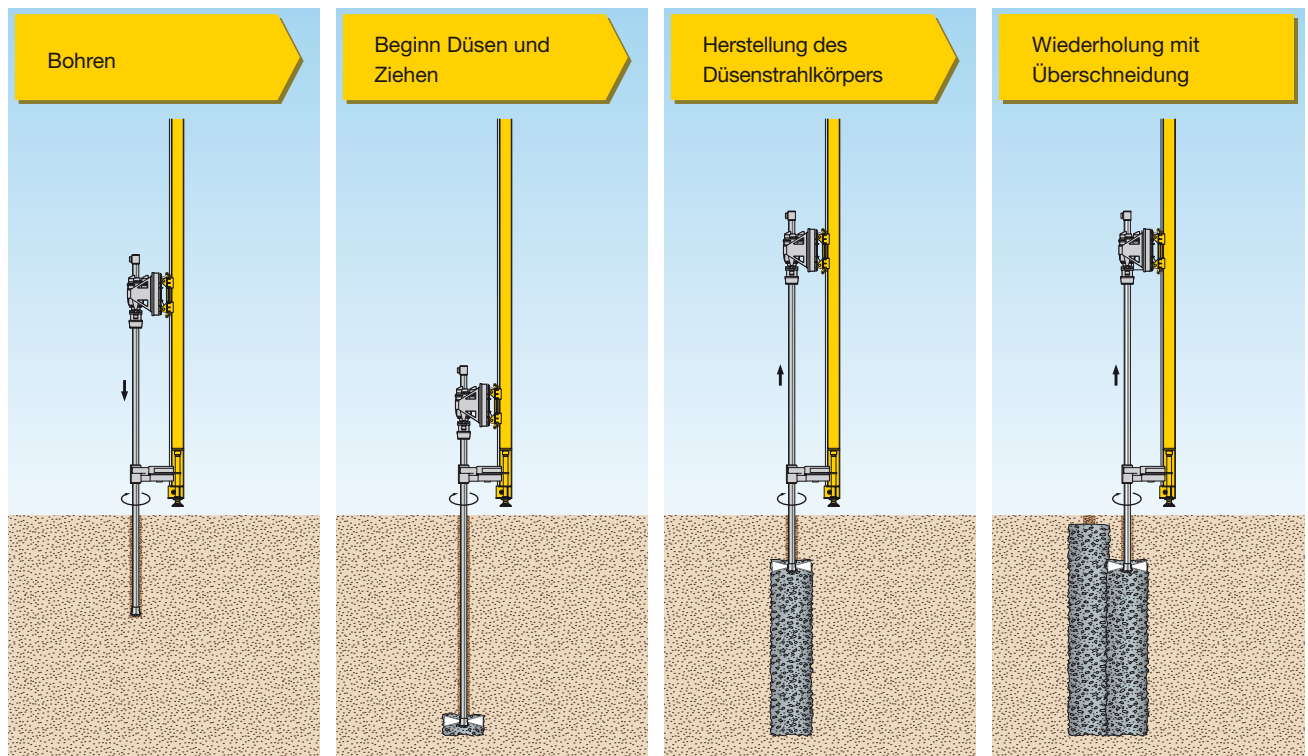
#### Düsenstock



# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

- Bei gleichzeitigem drehendem Zurückziehen des Bohrgestänges erfolgt das Vermischen der vorhandenen Bodenkörner mit der Zementsuspension. Dabei wird die Bodenstruktur vollkommen zerstört. Infolge der Rotation und der Aufwärtsbewegung des Bohrgestänges entsteht so im Wirkungsbereich des Düsenstrahles ein zylindrischer vermörtelter Bodenkörper. Der Düsvorgang wird bis auf die geplante Höhe ausgeführt. Das gelöste Bodenmaterial wird ganz oder teilweise zusammen mit der überschüssigen Zementsuspension im Bohrlochringraum an die Oberfläche gespült. Dort muss es aufgenommen und schadlos beseitigt werden.
- Abhängig vom anstehenden Boden lassen sich durch entsprechende Wahl des Pumpendruckes, der Düsenausbildung, der Drehgeschwindigkeit und der Ziehgeschwindigkeit die Form und die Größe des vermörtelten Bodenkörpers einstellen. Bei gleichmäßiger Drehung entsteht auf diese Weise eine verfestigte Bodensäule, durch oszillierendes Drehen des Bohrgestänges kann auch ein Verfestigungskörper in der Form eines Fächers oder einer Lamelle gebildet werden.
- Durch Wiederholung des Vorganges und Aneinanderreihung oder Überschneidung der so entstandenen Verfestigungskörper können nahezu beliebige, den jeweiligen Anforderungen entsprechende Verfestigungskörper hergestellt werden. Die Überschneidungen können „frisch in frisch“ oder auch „frisch gegen fest“ ausgeführt werden.

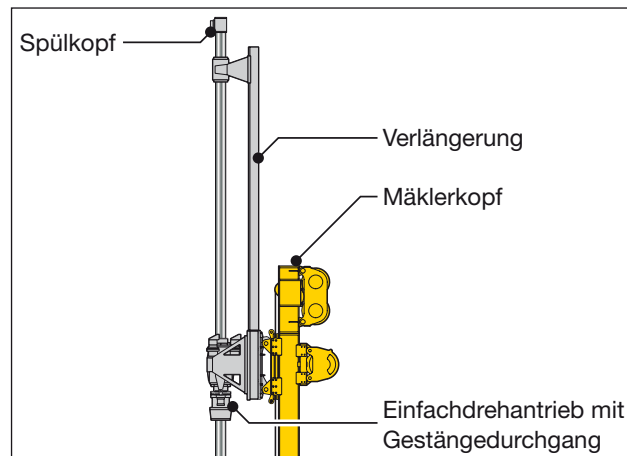
## Herstellungsphasen





# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

Anstelle des Doppelkopf-Bohrantriebes kann auch ein Einfachdrehantrieb mit Gestängedurchgang eingesetzt werden. Zusätzlich ist am Drehantrieb eine Verlängerung möglich, an der das obere Ende des Gestänges mit dem Spülkopf geführt wird. Damit können Bohrtiefen erreicht werden, die wesentlich größer sind als die Mäklerlänge.



## 2.2 Verfahrensvarianten

Es werden folgende Verfahrensvarianten ausgeführt:

### - Das **Einfachverfahren**:

Ein Hochdruckstrahl aus Zementsuspension schneidet den Boden auf und durchmischt ihn mit der Zementsuspension. Der Suspensionsstrahl dient dabei gleichzeitig zum Schneiden und Vermörteln des anstehenden Bodens.

### - Das **Zweifachverfahren Suspension-Luft**:

Mit einem doppelten Bohrgestänge werden über eine Spezialdüse Zementsuspension und Druckluft getrennt eingebracht. Der zum Schneiden und Vermörteln des anstehenden Bodens mit Hochdruck eingesetzte Suspensionsstrahl wird zusätzlich über eine Ringdüse mit Druckluft ummantelt. Dadurch erhöht sich die Schneidkraft und damit auch die Reichweite des Suspensionsstrahles. Ferner wird dabei das Rückspülvermögen verbessert.

### - Das **Zweifachverfahren Suspension-Wasser**:

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine grundsätzlich andere Verfahrensweise. Die Schneidarbeit wird nicht mit der Zementsuspension geleistet sondern mit einem Hochdruckwasserstrahl. Mit einem doppelten Bohrgestänge werden über zwei räumlich voneinander getrennte Düsen unter Hochdruck Wasser und nachlaufend im gleichen Arbeitsgang mit Niederdruck eine Zementsuspension eingebracht.

### - Das **Dreifachverfahren**:

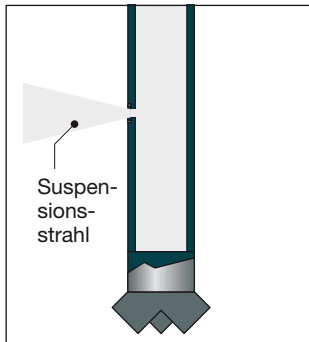
Dieses Verfahren stellt eine Steigerung des vorgenannten Verfahrens dar. Dabei wird der Hochdruckwasserstrahl zur Erhöhung des Wirkungsgrades über eine Ringdüse druckluftummantelt. Hierzu wird ein Dreifach-Bohrgestänge eingesetzt.



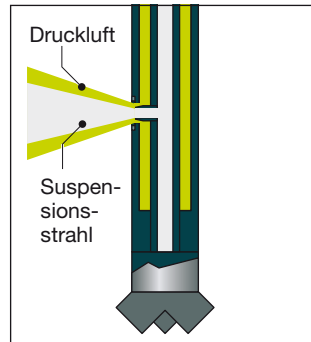
Die Auswahl des geeigneten Verfahrens richtet sich nach den geologischen Gegebenheiten und der geometrischen Zielsetzung. Jedes dieser Verfahren hat seine bevorzugten Anwendungsgebiete, wobei die genaue Kenntnis der Bauaufgabe, der Randbedingungen (Boden) und der Anforderungen (Beanspruchung, geforderte Festigkeit) maßgeblich ist.

# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

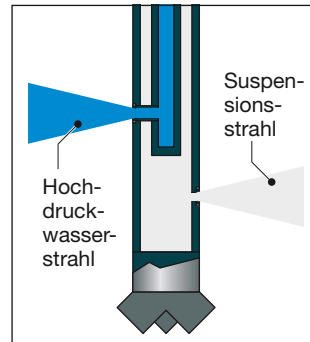
**Einfachverfahren**



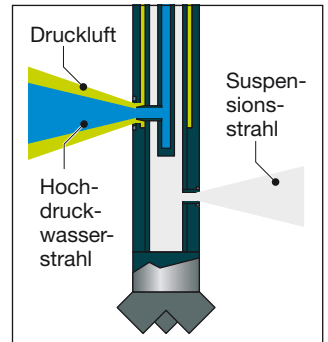
**Zweifachverfahren  
Suspension-Luft**



**Zweifachverfahren  
Suspension-Wasser**



**Dreifachverfahren**



## 2.3 Anwendungen

Aufgrund seiner vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten hat dieses Verfahren seit seiner ersten Ausführung vor fast drei Jahrzehnten eine sehr große Verbreitung gefunden.

Die Bodenvermörtelung im Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion) hat einen weit gefächerten Anwendungsbereich. Durch die Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Verfestigungskörper wird sie bei Unterfangungen, Baugrubenwänden, Gründungsverstärkungen, Neugründungen, Bodenverbesserungen, Tiefergründungen, Dichtsohlen, vertikalen Dichtwänden, zum Schließen von Fugen und Lücken bei Verbauwänden (z.B. bei kreuzenden Leitungen, zwischen Pfählen, bei Spundwänden, als Lückenschluss) eingesetzt.

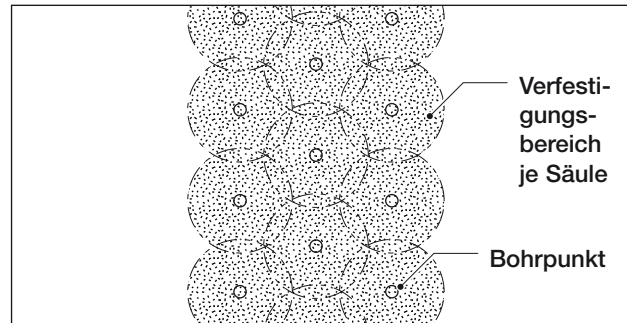
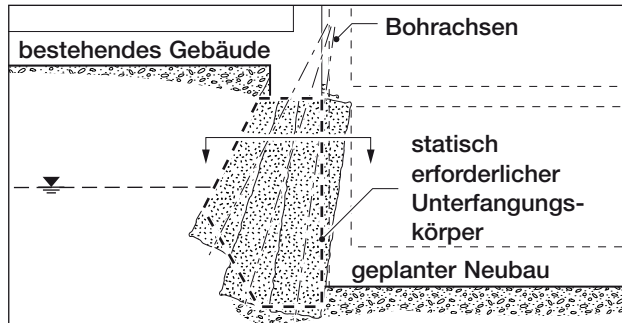
**Mehrfach verankerte Unterfangungswand**



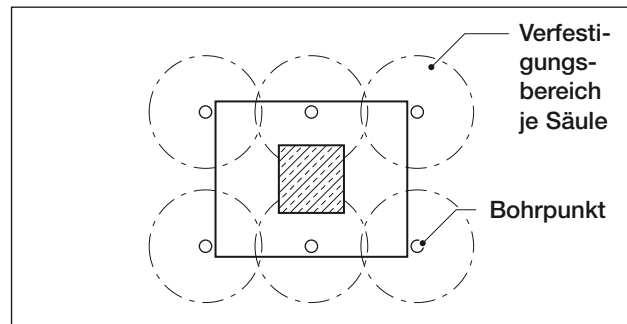
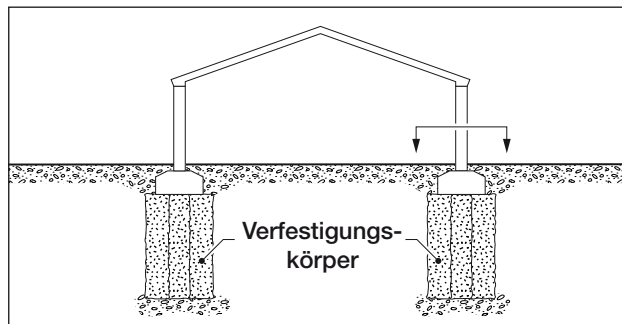
# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

## Beispiele (Schnitt- und Grundrißdarstellung)

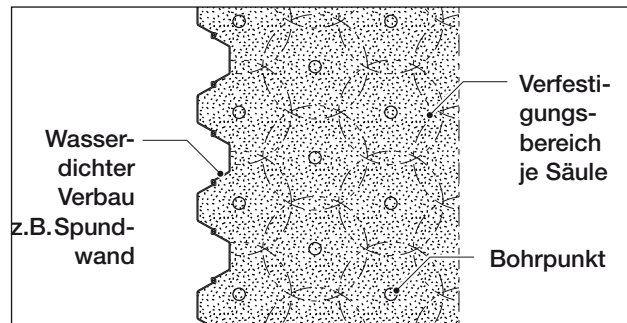
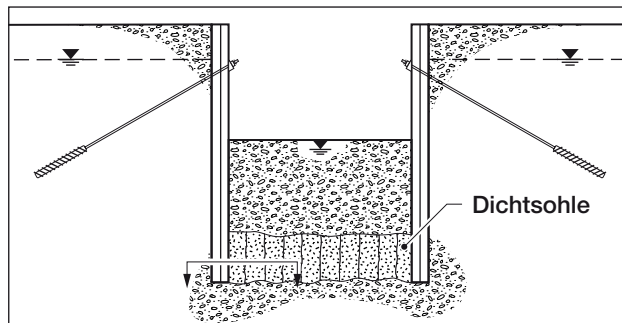
### Unterfangung (Verfestigungskörper aus überschnittenen Säulen)



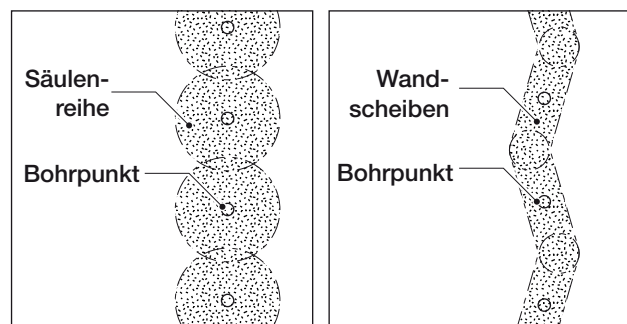
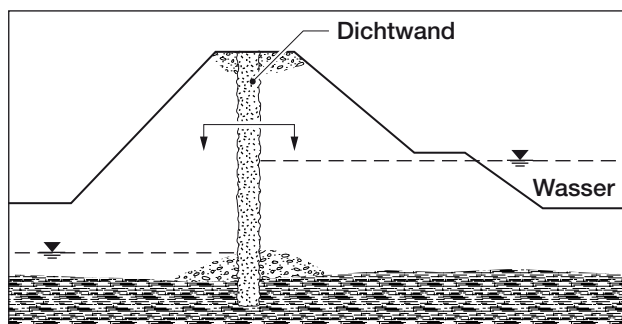
### Gründungsverstärkung, Tiefergründung



### Dichtsohle (Bodenscheiben aus Einzelelementen)



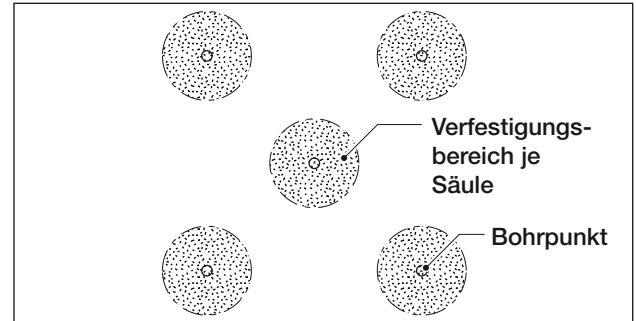
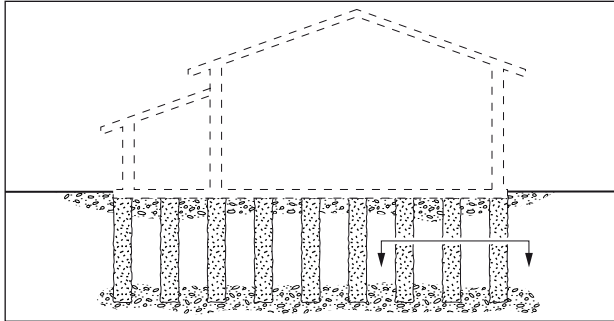
### Dichtwand (Säulenreihe oder Wandscheiben)





# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

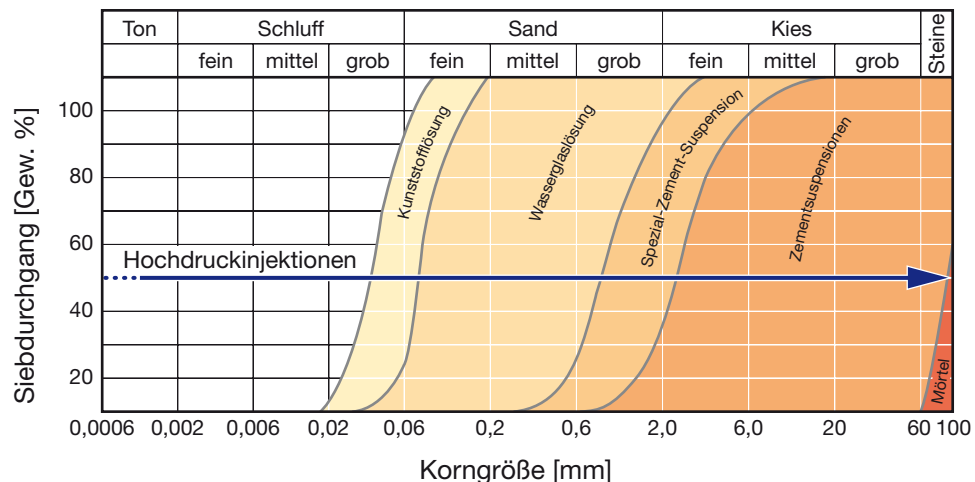
## Bodenverbesserung (aufgelöste Säulen)



Das Düsenstrahlverfahren ist sowohl in groben als auch in feinkörnigen Böden anwendbar. Auch das Aufschneiden von leichtem Sandstein, z.B. zur Abdichtung von Klüften, ist möglich. Die bei den her-

kömmlichen Bodenverfestigungsverfahren (Bodeninjektionen) durch die Bodenkorngröße vorgegeben Grenzen der Verwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Injektionsmittel entfallen.

## Injektionsverfahren im Vergleich



Auch bei Böden mit wechselnder Schichtung kann ein gewünschter Durchmesser der verfestigten Bodensäule eingehalten werden.

Mit den LRB Ramm- und Bohrgeräten von LIEBHERR lassen sich insbesondere Bodenvermörtelungen mit großer erforderlicher Bohrtiefe

wirtschaftlich ausführen. Einbringtiefen bis 30 m können mit dem Trägergerät LRB 255 problemlos erreicht werden. Besonders geeignet für die Herstellung einer tiefliegenden Dichtsohle ist das Trägergerät LRB 125 mit einer Nutzlänge von 15,00 m.

# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

3

Eigenschaften, Besonderheiten

Im Vergleich zu anderen Spezialtiefbautechniken wie z.B. den Bohr- oder Rammpfählen weist die Bodenvermörtelung im Düsenstrahlverfahren viele verfahrenstechnische Vorteile auf. Die hohe geometrische Flexibilität erlaubt eine optimale Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten, die Herstellung variabler Körperformen erleichtert die Anpassung an die jeweilige Bauaufgabe.

Durch die erschütterungs- und bewegungsarme Herstellung wird die vorhandene Bausubstanz geschont. Das Verfahren ermöglicht den kraftschlüssigen Einbau eines Verfestigungskörpers auch unter bestehenden Bauwerken.

Die erreichbare Festigkeit hängt von der Art und der Menge des Bindemittelanteiles sowie von den im Verfestigungskörper verbliebenen Bodenanteilen ab. Als Größenordnung können folgende einaxiale Druckfestigkeiten, gemessen an Probekörpern, angenommen werden:

Böden	einaxiale Druckfestigkeit (Bruchfestigkeit)
In Schluff und Ton	bis 5 N/mm <sup>2</sup>
Im Sand	bis 10 N/mm <sup>2</sup>
Im Kies	bis 20 N/mm <sup>2</sup>

Die Reichweite des Düsenstrahls und somit der erzielbare Durchmesser der verfestigten Bodensäule ist in erster Linie von der Bodenart abhängig, insbesondere von der Lagerungsdichte bzw. der Konsistenz. Bei geeigneter Wahl des Herstellungsverfahrens (siehe 2.2) und der Herstellungsparameter liegen die Säulendurchmesser in der Regel zwischen 0,6 m und 2,0 m bis maximal 3,0 m.

Die bei diesem Verfahren eingesetzten Baustoffe Zement und Wasser, gegebenenfalls Bentonit, sind natürlichen Ursprungs und damit umweltfreundlich. Sie werden damit den gestiegenen Anforderungen zum Schutz des Bodens und des Grundwassers gerecht.

Die Abdichtungswirkung wird ebenfalls von der Art und der Menge der eingebauten Stoffe und der verbliebenen Bodenanteile beeinflusst.

# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

## 4 Grenzen der Anwendung

Das Düsenstrahlverfahren ist in nahezu allen Bodenarten anwendbar. Die Anwendungsgrenzen ergeben sich fast ausschließlich aus der Größe (Länge, Breite, Höhe) der eingesetzten Geräte.

Bei Einsatz eines Drehantriebes mit Gestängedurchgang können auch Tiefen erreicht werden, die größer sind als die Länge des Mäklers.

Bei Antreffen von Hindernissen im Boden muss der Bohrvorgang im Regelfall abgebrochen und das Bohrgestänge erneut versetzt eingebracht werden. Bedingt durch den kleinen Durchmesser des Bohrohres tritt diese Gefahr nur bei großen Hindernissen auf.

In Böden mit hohem Anteil an organischen Bestandteilen, in rein organischen Böden und bei stark aggressivem Grundwasser können Probleme mit der erzielbaren Qualität des vermörtelten Bodens entstehen.

Die beim Düsen am Bohrlochmund austretende, mit Bodenmaterial vermengte überschüssige Zementsuspension kann je nach Bodenart und Verfahren das zwei- bis fünffache des theoretisch hergestellten Volumens des verfestigten Bodenkörpers betragen. Wegen der verwendeten umweltfreundlichen Materialien stellt die schadlose Beseitigung dieser Überschusssuspension zwar kein Entsorgungsproblem dar, häufig jedoch ein logistisches oder ein Kostenproblem.

# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

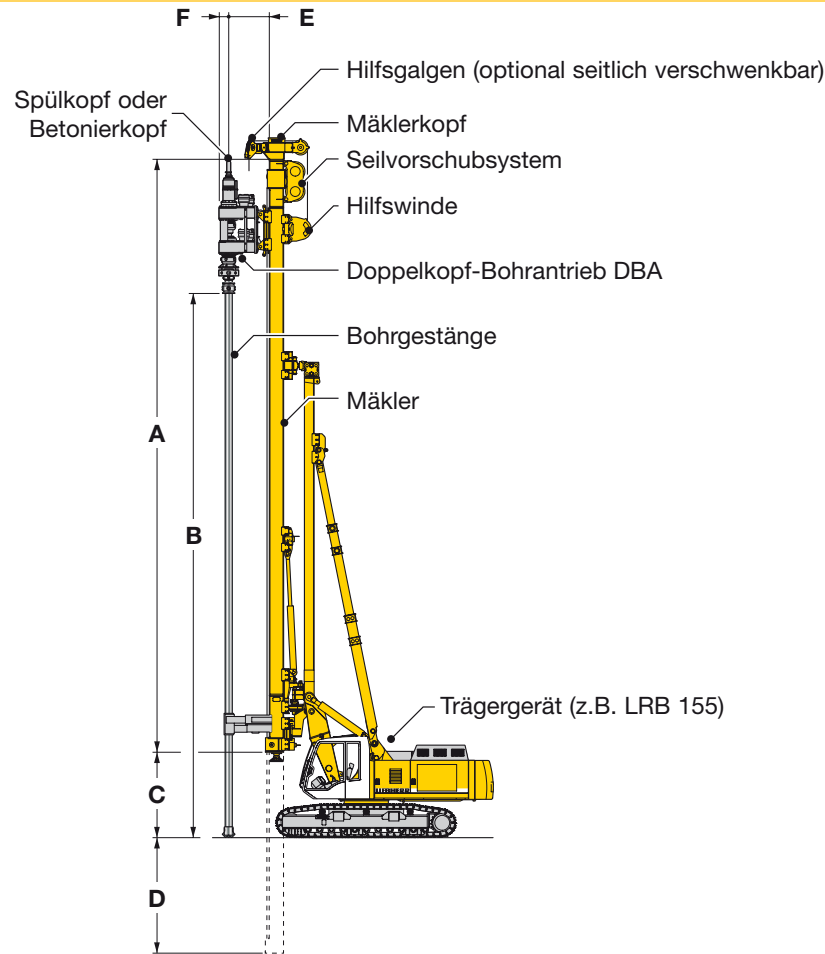
5

Gerätesystemskizze mit Ausrüstung

Das Einbringen der Bohrgestänge beim Düsenstrahlverfahren kann mit den Trägergeräten LRB 125, LRB 155 und LRB 255 ausgeführt werden.

5.1

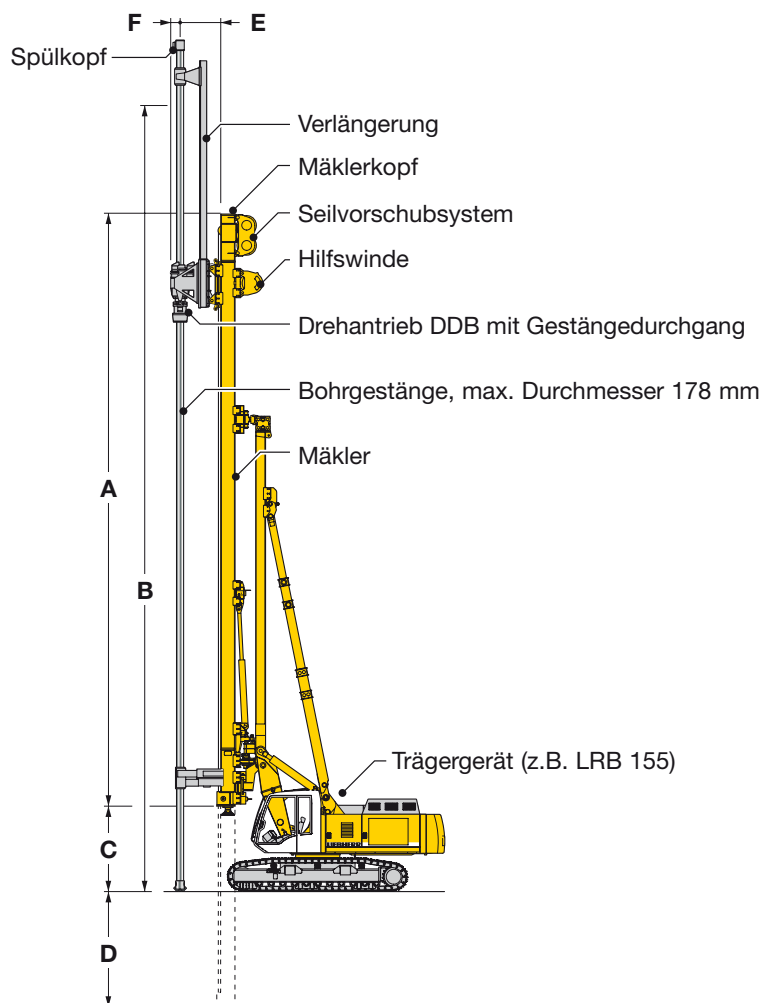
Ausrüstung Doppelkopf-Bohrantrieb



Maße bei Anwendung mit Doppelkopf-Bohrantrieb						
Gerät	Mäklerekopf (mm) A =	max. Nutzlänge (mm) B = ab Flur	Mäklerekohfenverstellung (mm) C = über Flur D = unter Flur		E = zu Vorderkante Mäklerekopf	F = zu Vorderkante DBA
LRB 125 mit DBA 80	12800	15500	max. 5000	Eine	790	225
LRB 155 mit DBA 200	18200 (21200) [24200]	18000 (21000) [24000]	max. 3000	Verstellung unter Flur ist möglich aber nicht üblich.	1250	300
LRB 255 mit DBA 250	21200 (24200) [27200] {30200}	21000 (24000) [27000] {30000}	max. 3000		1250	300

# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

## 5.2 Ausrüstung Drehantrieb mit Gestängedurchgang



### Maße bei Anwendung mit Drehantrieb mit Gestängedurchgang

Gerät	Mäklärlänge (mm) A =	max. Nutzlänge (mm) B = ab Flur	Mäklärhöhenverstellung (mm) C = über Flur	D = unter Flur	Abstand Bohrachse (mm) E = zu Vorderkante Mäklär	F = zu Vorderkante
LRB 125	12800	Variabel, über Mäklärkopf hinaus möglich	max. 5000	Eine	900	300
LRB 155	18200 (21200) [24200]		max. 3000	Verstellung unter Flur ist	900	300
LRB 255	21200 (24200) [27200] {30200}		max. 3000	möglich aber nicht üblich.	900	300



# Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)

## 6 Qualitätssicherung

Die Bodenvermörtelung im Düsenstrahlverfahren stellt mit das komplizierteste und anspruchvollste Verfahren im Spezialtiefbau dar. Ihre Ausführung erfordert ein hohes Maß an Spezialwissen und Erfahrung.

Die Qualitätssicherung darf sich nicht alleine auf die Bauausführung beschränken, sondern muss alle Aktivitäten, von der Planung über die Arbeitsvorbereitung, der eigentlichen Herstellung bis zur Überprüfung des hergestellten verfestigten Bodenkörpers einschließen.

Vor der eigentlichen Ausführung sind eingehende Bodenuntersuchungen erforderlich, Eignungsprüfungen durchzuführen, die Auswahl der Baustoffe und die Wahl der Verfahrensvariante vorzunehmen und erforderlichenfalls auch Probesäulen herzustellen. Die Festlegung der Produktionsparameter erfolgt nach den bestehenden Erfahrungen.

Während des gesamten Herstellvorganges einer Düsenstrahlsäule müssen die folgenden Produktionsparameter überwacht und durch Datenaufzeichnung erfasst werden:

- für das Bohren die Bohrtiefe, die Bohrgeschwindigkeit, der Spülungsdruck und die Spülungsmenge
- für das Düsen die Drehgeschwindigkeit, die Ziehgeschwindigkeit, die aktuelle Düstiefe, den Suspensionsdruck (Wasserdruck, Luftdruck) und die Suspensionsmenge (Wassermenge)
- die Zusammensetzung der Frischsuspension und der Rückflusssuspension (Materialkontrolle)

Ferner sind die plangemäße Lage und Neigung der Bohrungen zu kontrollieren. Bei tiefen Bohrungen (z.B. bei Dichtsohlen) und bei Dichtwandsäulen oder -lamellen ist die Überprüfung der erzielten Bohrgenauigkeit durch Inklinometermessungen im Bohrgestänge erforderlich.

Während und nach der Herstellung muss eine Kontrolle der Bewegungen bestehender Bauwerke vorgenommen werden (Höhenmessung).

Nach dem Herstellen des verfestigten Bodenkörpers ist dieser auf seine Sollabmessungen (Kontrollbohrungen) und auf seine Festigkeit (Probekörper) zu prüfen.



Liebherr-Werk Nenzing GmbH (Hrsg.)

# Spezialtiefbau

## Kompendium Verfahrenstechnik und Geräteauswahl

Der Spezialtiefbau hat besonders in den letzten Jahren bei den Verfahren und in der Gerätetechnik einen rasanten Aufschwung genommen. Der Erfindungsreichtum der Tiefbauingenieure, die Ergebnisse neuer wissenschaftlicher Forschungen und die fortschreitende maschinentechnische Weiter- und Neuentwicklung der Geräte haben diesen Vorgang beschleunigt. Die Anwendung der inzwischen sehr komplex gewordenen Techniken und die Wahl der dazu erforderlichen passenden Geräte verlangt immer speziellere Kenntnisse und praktische Erfahrung. So ist es heute sowohl für den Anwender als auch für den Hersteller von Spezialtiefbaugeräten sehr schwierig geworden, den generellen Überblick über den Stand der Technik auf diesem Gebiet zu behalten. Dieses Kompendium gibt eine umfassende Übersicht über die Verfahren und die Anwendungsgebiete im Spezialtiefbau. Es ist als Hilfe für Planung und Ausführung gedacht und soll Praktikern, Behörden,

Ingenieurbüros und Studenten helfen, ihr Wissen zu erweitern und abzurunden. In den einzelnen Kapiteln werden die Herstellertechniken und die Anwendungsmöglichkeiten mit den dazugehörigen erätekomponenten ausführlich beschrieben. Dabei wird im Detail auf die diesbezüglichen Besonderheiten der jeweiligen Verfahren und der Gerätetechnik eingegangen. Das vorliegende Kompendium Spezialtiefbau ist das Ergebnis intensiver Zusammenarbeit von Ingenieuren, Technikern, Praktikern, Geräteherstellern und Anwendern.  
(Ca. 380 Seiten, ca. 300 Abb., davon 300 in Farbe. Gebunden. Erschienen)

### Aus dem Inhalt:

Vibrieren  
Doppelkopfböhrn  
Vibrobohren  
Rammen  
Pressen  
Einvibrieren von Spundwandprofilen und Stahlträgern  
Ortbeton-Vibrationspfahl, Einvibrieren von Stahlrohren  
Dichtsohlen  
Schmalwand  
GEWI-Pfahl  
RV-Pfahl und RI-Pfahl  
Tiefenverdichtung, Rüttelsäulen, Rüttelstopfverdichtung,  
Geotextilpfahl  
Bohrpfahl im Doppelkopfböhrverfahren, VdW-Bohrpfahl

Schneckenbohrpfahl, Teil- und Vollverdrängungsbohrpfahl  
Hochdruckinjektion (Düsenstrahlverfahren,  
Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)  
Wet-Mix-Pfahl/MIP-Pfahl, Dry-Mix-Pfahl, CSV-Verfahren  
Brunnenbohrung  
Lockerungsbohrung  
Vollverdrängungs-Ortbetonpfahl, Stahlrohrpfahl im  
Vibrobohrverfahren  
Rammen von Stahlspundwandprofilen, Stahlträgerprofilen  
und Stahlrohren  
Rammen von Stahlbeton- und  
Spannbetonfertigrampfpfählen, Holzrammpfähle  
Einpressen von Spundwandprofilen im Pressverfahren



Link Online-Bestellung



per Fax bestellen +49(0)30 47031 240

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis
	978-3-433-02904-6	Spezialtiefbau	€ 129,-
	904574	Gesamtverzeichnis Verlag Ernst & Sohn	kostenlos
	2091	Zeitschrift Bautechnik (1 Probeheft)	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift:

☐ privat

☐ geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße/Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21  
10245 Berlin  
Deutschland  
www.ernst-und-sohn.de



Datum/Unterschrift

\*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 13.03.08 (homepage\_Leseprobe)