

DIN EN 14731



ICS 93.020

**Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) –  
Baugrundverbesserung durch Tiefenrüttelverfahren;  
Deutsche Fassung EN 14731:2005**

Execution of special geotechnical works –  
Ground treatment by deep vibration;  
German version EN 14731:2005

Exécution de travaux géotechniques spéciaux –  
Amélioration des massifs de sol par vibration;  
Version allemande EN 14731:2005

Gesamtumfang 28 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## **Nationales Vorwort**

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ (Sekretariat: AFNOR, Frankreich; Vorsitz: DIN, Deutschland) in der Arbeitsgruppe WG 12 „Tiefenrüttelverfahren“ unter schwedischer Federführung ohne deutsche Beteiligung erstellt. Im DIN existiert kein entsprechender Spiegelausschuss, der die Erarbeitung dieser Norm fachlich begleitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ICS 93.020

Deutsche Fassung

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten  
(Spezialtiefbau) —  
Baugrundverbesserung durch Tiefenrüttelverfahren

Execution of special geotechnical works —  
Ground treatment by deep vibration

Exécution de travaux géotechniques spéciaux —  
Amélioration des massifs de sol par vibration

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. August 2005 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/ CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

# Inhalt

	Seite
Vorwort .....	4
1 Anwendungsbereich .....	5
2 Normative Verweisungen .....	5
3 Begriffe .....	6
4 Angaben, die zur Ausführung der Arbeit erforderlich sind .....	7
4.1 Allgemeines .....	7
4.2 Spezielle Betrachtungen hinsichtlich der Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln .....	8
5 Geotechnische Untersuchung .....	8
5.1 Allgemeines .....	8
5.2 Spezifische Aspekte hinsichtlich der Tiefenrüttelverdichtung .....	8
5.3 Spezifische Aspekte hinsichtlich Rüttelsteinsäulen .....	9
6 Baustoffe und Bauprodukte .....	9
6.1 Allgemeines .....	9
6.2 Baustoffe für die Tiefenrüttelverdichtung .....	9
6.3 Baustoffe für Rüttelsteinsäulen .....	10
7 Bemessungsbezogene Überlegungen .....	10
7.1 Allgemeines .....	10
7.2 Auswahl des Baugrundverbesserungsverfahrens .....	11
7.3 Bemessungsnachweis .....	11
7.4 Umfang und Entwurf der Baugrundverbesserung .....	12
7.5 Baugrundverbesserungsreihenfolge .....	12
8 Durchführung .....	13
8.1 Allgemeines .....	13
8.2 Vorbereitung der Baustelle .....	13
8.3 Abstecken .....	13
8.4 Baugrundverbesserung .....	13
9 Überwachung, Prüfung und Kontrolle .....	14
9.1 Überwachung und Kontrolle .....	14
9.2 Prüfung .....	15
10 Aufzeichnungen .....	17
10.1 Aufzeichnungen im Zusammenhang mit der Durchführung der Baugrundverbesserung .....	17
10.2 Aufzeichnungen bei Beendigung der Baugrundverbesserung .....	17
11 Besondere Anforderungen .....	18
11.1 Allgemeines .....	18
11.2 Sicherheit .....	18
11.3 Umweltschutz .....	18
11.4 Einfluss auf benachbarte Bauwerke .....	18
Anhang A (informativ) Tiefenrüttelverdichtung .....	19
Anhang B (informativ) Einbau von Rüttelsteinsäulen .....	22
B.1 Allgemeines .....	22
B.2 Trockenverfahren mit Höhenzuführung .....	22
B.3 Nassverfahren .....	23
B.4 Trockenverfahren mit Tiefenzuführung .....	24
Literaturhinweise .....	26

**Bilder**

<b>Bild A.1 — Tiefenrüttler.....</b>	<b>20</b>
<b>Bild A.2 — Rüttelflügel (Vibro-Wing) .....</b>	<b>20</b>
<b>Bild B.1 — Trockenverfahren mit Höhenzuführung.....</b>	<b>23</b>
<b>Bild B.2 — Nassverfahren.....</b>	<b>24</b>
<b>Bild B.3 — Trockenverfahren mit Tiefenzuführung .....</b>	<b>25</b>

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN 14731:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2006 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Planung, Ausführung, Prüfung und Kontrolle der Baugrundverbesserung durch das Tiefenrüttelverfahren, die mit Hilfe von Tiefenrüttlern und Verdichtungssonden ausgeführt wird.

Die vorliegende Europäische Norm deckt die folgenden Arten der Baugrundverbesserung ab:

- Tiefenrüttelverdichtung (Rütteldruckverdichtung/Rüttelstopfverdichtung) zur Verdichtung des anstehenden Baugrunds;
- Rüttelsteinsäulen zur Bildung einer festen Verbundbodenstruktur durch die Einbringung von körnigem Baustoff, das ebenfalls verdichtet wird. Üblicherweise besitzen Rüttelsteinsäulen einen Durchmesser von größer als 0,6 m und kleiner als 1,2 m.

Diese Europäische Norm gilt für die folgenden Baugrundverbesserungsverfahren:

- Verfahren, bei denen Tiefenrüttler, die oszillierende, horizontale Vibrationen erzeugende Gewichte enthalten, in den Baugrund eingeführt werden;
- Verfahren, bei denen unter Anwendung eines an der Baugrundoberfläche verbleibenden und in den meisten Fällen vertikal oszillierenden Rüttlers Verdichtungssonden in den Baugrund eingeführt werden.

Die Baugrundverbesserungsverfahren sind in den Anhängen A und B beschrieben.

Nicht in der vorliegenden Europäischen Norm enthalten sind u. a. die folgenden Baugrundverbesserungsverfahren:

- Verfahren, bei denen mit Hilfe einer Verrohrung, die durch eine Schlagvorrichtung oder einem am Kopf der Verrohrung angebrachten Rüttler niedergebracht wird, Sand- oder Steinsäulen eingebaut werden;
- Verfahren, bei denen — entweder durch Hinzufügen von Zement zu körnigem Baustoff oder durch die Verwendung von Beton oder einem anderen Bindemittel — sehr feste Säulen gebildet werden;
- Verfahren der dynamischen Verdichtung und sonstige Verfahren, bei denen die Baugrundoberfläche auf irgendeine Art verbessert wird;
- Sprengverdichtung.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 791, *Bohrgeräte — Sicherheit*

EN 996, *Rammausrüstung — Sicherheitsanforderungen*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1997-1:2004, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

prEN 1997-2, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Laborversuche für die geotechnische Bemessung*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

Zusätzliche Beschreibungen einiger Baugrundverbesserungsverfahren sind in den Anhängen A und B aufgeführt.

**3.1 Tiefenrüttelverdichtung**  
Art der Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln, wobei der Hauptzweck in der Verdichtung des Baugrunds besteht. Die Baugrundverbesserung ist auf viele nichtbindige Böden anwendbar und führt üblicherweise zu erhöhter Festigkeit und Steifigkeit, verminderter Durchlässigkeit und verminderter Anfälligkeit gegen Verflüssigung.

**3.2 Rüttelsteinsäulen<sup>1)</sup>**  
Art der Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln, bei der ein Tiefenrüttler angewendet wird, um von der maximalen Eindringtiefe bis zur Baugrundoberfläche durchgehende Steinsäulen und damit eine Steinsäulen-/Baugrund-Struktur zu bilden, die im Vergleich zum Baugrund im unverbesserten Zustand eine erhöhte Festigkeit und Steifigkeit aufweist. Die Baugrundverbesserung ist auf ein breites Baugrundspektrum anwendbar, und in nicht kohäsiven Böden kann damit auch eine gewisse Verdichtung erreicht werden. In Anhang B sind drei Einbauverfahren beschrieben, das Trockenverfahren mit Höhenzuführung, das Nassverfahren und das Trockenverfahren mit Tiefenzuführung.

**3.3 Rüttelwerkzeug**  
Ausrüstungsgegenstand, der in den Baugrund eingeführt wird, um in der Tiefe eine Vibration zu erzeugen; üblicherweise ein Tiefenrüttler, der oszillierende Gewichte oder eine Verdichtungssonde enthält, die unter Anwendung eines an der Baugrundoberfläche verbleibenden Höhenrüttlers in den Baugrund eingeführt werden/wird

**3.4 Tiefenrüttler**  
Grundbestandteil der Baugrundverbesserungsausrüstung, der beim Einbau von Rüttelsteinsäulen und bei der Vibroverdichtung angewendet wird, mit Hilfe eines um seine Längsachse rotierenden exzentrischen Gewichts horizontal vibriert und in den Baugrund eindringt. Das Eindringen in den Baugrund kann durch Luft- oder Wasserspülung erleichtert werden.

**3.5 Höhenrüttler**  
Rüttler, der über der Baugrundoberfläche bleibt

**3.6 Verdichtungssonde**  
Werkzeug zur Tiefenrüttelverdichtung, das in den Baugrund eingeführt wird, um Vibrationen von einem an der Baugrundoberfläche verbleibenden Höhenrüttler zu übertragen; Flügel sowie Entwässerung oder Wasserspülung können vorgesehen sein, um den Verdichtungsprozess zu erleichtern

**3.7 Tiefenvibroverdichtung**  
Verfahrensweise, bei der ein Tiefenrüttler angewendet wird, um — mit oder ohne Bildung von Steinsäulen — nichtbindige Böden zu verdichten

---

1) Im Englischen auch als vibro stone columns bezeichnet.



**3.8****Trockenverfahren mit Höhenzuführung**

Verfahren des Einbaus von Rüttelsteinsäulen, bei dem der durch den Tiefenrüttler gebildete Absenktrichter offen bleibt und festgelegte körnige Baustoffe direkt von oben in den Absenktrichter gegeben und durch den Rüttler stufenweise verdichtet wird (das Verfahren wird in Anhang B beschrieben)

**3.9****Nassverfahren**

Verfahren des Einbaus von Rüttelsteinsäulen, bei dem Wasser weiche Baustoffe fortspült, den Absenktrichter stabilisiert und festgelegte körnige Baustoffe an die Spitze des Tiefenrüttlers gelangen lässt, wo es verdichtet wird (das Verfahren wird in Anhang B beschrieben)

**3.10****Trockenverfahren mit Tiefenzuführung**

Verfahren des Einbaus von Rüttelsteinsäulen, bei dem festgelegte körnige Baustoffe über ein mit dem Rüttler verbundenes Zuführungsrohr direkt an die Spitze des Rüttlers geleitet wird, wobei der Rüttler während des Einbaus der Säule im Baugrund verbleibt, um die Stabilität des Absenktrichters aufrechtzuerhalten (das Verfahren wird in Anhang B beschrieben)

**4 Angaben, die zur Ausführung der Arbeit erforderlich sind****4.1 Allgemeines**

**4.1.1** Vor der Ausführung der Arbeit sind alle erforderlichen Angaben bereitzustellen

**4.1.2** Diese Angaben sollten Folgendes umfassen:

- a) sämtliche rechtlichen und gesetzlichen Einschränkungen;
- b) die Anordnung der Hauptrasterlinien oder Bezugspunkte für die Absteckung;
- c) die Bedingungen im Hinblick auf Bauwerke, Straßen und Versorgungsleitungen in der Nähe der Baustelle;
- d) ein geeignetes Qualitätssicherungssystem, einschließlich Überwachung, Kontrolle und Prüfung.

**4.1.3** Die Angaben hinsichtlich der Bedingungen an der Baustelle müssen, sofern zutreffend, Folgendes umfassen:

- a) Geometrie der Baustelle, einschließlich Grenzbedingungen, Topographie, Zugangsbedingungen, Hänge, und Beschränkungen hinsichtlich der Bauhöhe;
- b) bestehende unterirdische Bauwerke, Versorgungsleitungen, bekannte Kontamination und archäologisch bedingte Beschränkungen;
- c) umweltbezogene Beschränkungen, einschließlich Lärm, Vibration, Verdrängung, Verunreinigung und Auswirkungen jahreszeitlich bedingter Wetterschwankungen, wozu auch gefrorene Oberflächenschichten gehören;
- d) zukünftige oder laufende Maßnahmen wie beispielsweise Entwässerung, Tunnelbau, Tiefbaggern und Anheben der Geländehöhe auf der Baustelle.

**4.1.4** Weitere erforderliche Angaben sind in den Abschnitten 5, 6, 7 und 8 beschrieben.

## **4.2 Spezielle Betrachtungen hinsichtlich der Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln**

Die Angaben, die im Zusammenhang mit den praktischen Aspekten der Baugrundverbesserung gefordert sind, müssen Folgendes umfassen:

- besondere Ziele im Hinblick auf die Projektbemessung, die mit Hilfe der Baugrundverbesserung erfüllt werden sollen;
- Anforderungen an Wasserzufuhr und Schlammdeponierung für das Nassverfahren des Einbaus von Rüttelsteinsäulen.

## **5 Geotechnische Untersuchung**

### **5.1 Allgemeines**

**5.1.1** Die geotechnische Untersuchung muss in Übereinstimmung mit EN 1997-1, prEN 1997-2 sowie der Projektbemessung erfolgen.

**5.1.2** Der Umfang der geotechnischen Untersuchung und die Untersuchungstiefen müssen ausreichend sein, um die charakteristischen Baugrundbedingungen und die Topographie der Baustelle zu bestimmen und um sämtliche Baugrundformationen, Schichten, weiteren geologischen Merkmale und Grundwasserspiegel, die die Ausführung der Arbeiten beeinflussen, zu identifizieren und zu lokalisieren.

**5.1.3** Sämtliche bei der Untersuchung der Baustelle gewonnenen Informationen sind entsprechend den Anforderungen von Abschnitt 4 zur Verfügung zu stellen.

**5.1.4** Einige Füllungen können heterogen sein, und für eine repräsentative geotechnische Beschreibung kann eine Untersuchung in Probegruben erforderlich sein.

**5.1.5** Hindernisse, harte Schichten sowie Kies und Gesteinsblöcke im Baugrund, die das Einführen des Rüttelwerkzeuges beeinflussen oder verhindern würden, sollten identifiziert werden.

**5.1.6** Das Vorliegen von Baugrundbedingungen, die die Ausführung der Baugrundverbesserung beeinträchtigen würden, ist festzustellen; diese Bedingungen schließen Folgendes ein:

- harte Schichten;
- störanfällige Böden;
- Böden mit einem Potential zur Nachsetzung bei Benetzung;
- Böden mit einem Verflüssigungspotential;
- Füllungen, die sich zum Zeitpunkt der Arbeiten aufgrund ihrer Eigenmasse absetzen.

**5.1.7** Sämtliche Kontaminationen und Verunreinigungen im Baugrund oder im Grundwasser sollten identifiziert werden.

### **5.2 Spezifische Aspekte hinsichtlich der Tiefenrüttelverdichtung**

**5.2.1** Besondere Berücksichtigung müssen die Menge der behandelbaren nichtbindigen Böden und die Anordnung sowie die Ausdehnung jeglicher Schichten finden, die die Wirksamkeit des Baugrundverbesserungsverfahrens einschränken oder verringern; hierzu zählen u. a. Ton, Schluff und organische Schichten sowie Schichten, die die Entwässerung verhindern.

**5.2.2** Sofern Ton, Schluff oder organische Böden vorhanden sind, können einige oder sämtliche der in 5.3 aufgeführten Eigenschaften gefordert sein.

**5.2.3** Folgende geotechnische Eigenschaften des nichtbindigen Bodens können hinsichtlich der Bemessung und Ausführung der Baugrundverbesserung durch Tiefenrüttelverdichtung von Bedeutung sein:

- Korngrößenverteilung und Feinkornanteil;
- in-situ-Lagerungsdichte (relative Dichte);
- Durchlässigkeit;
- Brechbarkeit der Körner;
- durch Zementierung, Saugwirkung oder Kohäsion verursachte Haftung zwischen den Körnern.

### **5.3 Spezifische Aspekte hinsichtlich Rüttelsteinsäulen**

**5.3.1** Besondere Berücksichtigung sollte die Bestimmung der physikalischen und geotechnischen Eigenschaften finden, die für die Bemessung und Ausführung der Baugrundverbesserung durch Rüttelsteinsäulen erforderlich sind, zum Beispiel die folgenden:

- Verdichtbarkeit;
- Konsistenzgrenzen nach Atterberg;
- nichtentwässerte Scherfestigkeit;
- Empfindlichkeit.

**5.3.2** Bestimmte Baugrundbedingungen erfordern besondere Berücksichtigung; dies schließt Folgendes ein:

- Anordnung und Menge an Torf und organischem Boden;
- Vorhandensein von biologisch abbaubaren Füllungen einschließlich Haushaltsabfall.

## **6 Baustoffe und Bauprodukte**

### **6.1 Allgemeines**

Bei Baustoffen, die auf die Baustelle geliefert werden, kann es sich um natürlicherweise vorkommende Sande und Kiese, gebrochenen Fels oder Rückgewinnungsstoffe wie gebrochene Ziegel oder gebrochenen Beton handeln. Die Qualitätskontrollprüfung ist in 9.2.4 beschrieben.

### **6.2 Baustoffe für die Tiefenrüttelverdichtung**

**6.2.1** Während der Tiefenrüttelverdichtung können Baustoffe hinzugefügt werden. Hierbei kann es sich um das natürliche, an der Baustelle verdichtete körnige Baustoffe oder um angelieferte Baustoffe handeln.

**6.2.2** Die hinzugefügten Baustoffe müssen ausreichend hart und chemisch inert sein, um während des Baugrundverbesserungsverfahrens und der darauf folgenden Lebensdauer unter den vorhersehbaren Baugrund- und Grundwasserbedingungen stabil zu bleiben.

### 6.3 Baustoffe für Rüttelsteinsäulen

Die für die Bildung von Steinsäulen verwendeten Baustoffe müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

- sie müssen ausreichend hart und chemisch inert sein, um während des Einbaus der Säule und der darauf folgenden Lebensdauer unter den vorhersehbaren Baugrund- und Grundwasserbedingungen stabil zu bleiben;
- sie müssen für die Verdichtung eine geeignete Korngrößenverteilung aufweisen, so dass sie eine dichte Säule bilden, die vollständig in den umgebenden Baugrund eingepresst ist und den sonstigen bestehenden Anforderungen, wie z. B. denen die an die Entwässerung, entsprechen;
- sie müssen mit der angewendeten Einrichtung kompatibel sein und innerhalb von Zuführungssystemen mit Tiefenzuführung und Durchlaufzuführung frei fließen, ohne dass Gewölbewirkung auftritt, die diese Systeme blockieren könnte.

Korngrößen, die mit den verschiedenen Verfahren üblicherweise verwendet werden, sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Verfahren	Korngrößen mm
Trockenverfahren mit Höhenzuführung	40 bis 75
Nassverfahren	25 bis 75
Trockenverfahren mit Tiefenzuführung	8 bis 50

## 7 Bemessungsbezogene Überlegungen

### 7.1 Allgemeines

**7.1.1** Die Bemessung der Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln muss EN 1990, EN 1997-1 und prEN 1997-2 entsprechen.

**7.1.2** Die Angaben zu den Baugrundbedingungen sind zu beurteilen, um die Eignung des Baugrunds für die Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln zu bestimmen.

**7.1.3** Bei der Bemessung der Baugrundverbesserung muss Folgendes definiert werden:

- technisches Ziel der Baugrundverbesserung (z. B. erhöhte Tragfähigkeit, verminderte Setzung, vermindertes Verflüssigungspotential, vermindertes Potential zum Nachsetzen bei Benetzung oder verminderte Durchlässigkeit);
- erforderliche geotechnische Eigenschaften des zu verbessernden Baugrunds (z. B. Scherfestigkeit, Steifigkeit oder Durchlässigkeit);
- Kriterien, anhand derer die Tiefe, die Abstände und der Umfang der Baugrundverbesserung entschieden werden;
- Zielgebrauchstauglichkeit und Art der Beurteilung der Baugrundverbesserung in Form von messbaren Kenngrößen;
- wo Aushebungen im Anschluss an die Baugrundverbesserung erfolgen, kann es, falls notwendig, ratsam sein, erneut zu verdichten.

**7.1.4** Aufgrund der Baugrundart sind selbst nach der Baugrundverbesserung Schwankungen zu erwarten; dies sollte berücksichtigt werden.

**7.1.5** Horizontale Hebungen oder Setzungen, die während der Baugrundverbesserung auftreten, sollten vorausgesehen und bei der Bemessung berücksichtigt werden. Sofern während der Tiefenrüttelverdichtung kein Füllstoff hinzu gegeben wird, ist das Auftreten einer bedeutenden Oberflächensetzung zu erwarten, die einzuschätzen ist.

**7.1.6** Geplante Veränderungen der Geländehöhe nach der Baugrundverbesserung sind zu beurteilen, und die Auswirkungen, die dies auf die Baugrundverbesserung haben kann, müssen bewertet werden.

**7.1.7** Einige Tiefenrüttelverfahren erfordern große Mengen an Wasser. Die Auswirkungen, die das Pumpen von Wasser in den Baugrund auf das Baugrundverbesserungsvolumen und den umgebenden Baugrund hat, sofern solche Auswirkungen gegeben sind, müssen bei der Bemessung berücksichtigt werden.

**7.1.8** Die Möglichkeit negativer Auswirkungen, die sich aus den Baugrundbewegungen, dem Porenwasserdruck oder den durch die Baugrundverbesserung verursachten Vibrationen ergeben, auf vorhandene benachbarte Gründungssysteme, Gebäude und Versorgungsleitungen, Erdbauarbeiten, Hänge, Rückhaltekonstruktionen und eingegrabene Bauwerke sind bei der Bemessung zu berücksichtigen.

**7.1.9** In Fällen, in denen negative Auswirkungen auf benachbarte Gebäude und die benachbarte Infrastruktur gegeben sind, sollte eine Voruntersuchung der Bedingungen wie in 11.4 beschrieben ausgeführt werden.

**7.1.10** Sofern Steinsäulen als Dränagen dienen sollen, sollten angemessene Vorkehrungen für eine Oberflächenentwässerung getroffen werden. Falls der vorhandene Oberflächenboden nicht angemessen ist, sollte ein Oberflächenentwässerungsteppich vorgesehen werden. Dabei sollten die Entwässerungseigenschaften der Arbeitsbühne berücksichtigt werden.

**7.1.11** Sofern die Tiefenrüttelverdichtung nicht für die Verdichtung der Oberflächenschicht vorgesehen ist, sollten Walzen oder Rammern zur Verdichtung dieser Schicht angewendet werden. Alternativ kann die Verdichtung von einer Höhe oberhalb der endgültigen Gründungshöhe aus durchgeführt werden.

## **7.2 Auswahl des Baugrundverbesserungsverfahrens**

**7.2.1** Mit dem für die Durchführung der Baugrundverbesserung ausgewählten Verfahren muss es möglich sein, die Bemessungsanforderungen zu erfüllen. Beschreibungen der Baugrundverbesserungsverfahren sind in den Anhängen A und B angegeben.

**7.2.2** Sofern nur begrenzte Erfahrungen mit der Anwendung des Baugrundverbesserungsverfahrens auf die an der Baustelle anstehenden Baugrundarten vorliegen, ist es ratsam, Vorversuche durchzuführen, um die Durchführbarkeit des Baugrundverbesserungsverfahrens nachzuweisen oder um die Bemessung der Baugrundverbesserung zu optimieren.

**7.2.3** Das Trockenverfahren mit Höhenzuführung darf nur angewendet werden, wenn der durch den Tiefenrüttler gebildete Absenktrichter offen bleibt. Unter anderen Bedingungen sind entweder ein Trockenverfahren mit Tiefenzuführung oder ein Nassverfahren anzuwenden.

## **7.3 Bemessungsnachweis**

**7.3.1** Es wird empfohlen, nachzuweisen, dass die Ziele der Baugrundverbesserung erreicht wurden.

**7.3.2** Vor Beginn der Baugrundverbesserung sollten geeignete Mittel identifiziert werden, mit denen in Form der Ergebnisse festgelegter Prüfungen nachgewiesen werden kann, dass die geforderten Ziele der Baugrundverbesserung erreicht wurden.

**7.3.3** Geeignete Prüfverfahren sind in 9.2 beschrieben.

**7.3.4** Die Art und die Häufigkeit der den Anforderungen an die Qualitätskontrolle und die Gebrauchstauglichkeit der Baugrundverbesserung entsprechenden Prüfungen sind festzulegen. Die Durchführung und die Interpretation der geotechnischen Laborversuche und Felduntersuchungen müssen den Anforderungen der prEN 1997-2 entsprechen.

**7.3.5** Auch wenn sie notwendig sind, reichen die Prüfungen möglicherweise nicht aus, um die Angemessenheit der Baugrundverbesserung nachzuweisen; eine geeignete Überwachung und Kontrolle sowie geeignete Aufzeichnungen sind erforderlich. Häufig ist eine Sichtprüfung geeignet, und die Bemessung ist üblicherweise erst vollständig, wenn Erfahrungen mit der Baustelle vorliegen.

## **7.4 Umfang und Entwurf der Baugrundverbesserung**

**7.4.1** Der Bemessungsentwurf muss die Menge und die Anordnung der Baugrundverbesserungspunkte sowie die Ober- und Untergrenzen der Baugrundverbesserung umfassen.

**7.4.2** Jeder Baugrundverbesserungspunkt muss mit einer Bezugsnummer gekennzeichnet werden, und seine Anordnung auf dem Bauplan muss auf feststehende Bezugspunkte oder -linien bezogen sein.

**7.4.3** Natürliche und künstliche Hindernisse sind sehr verbreitet, die Möglichkeit ihres Vorliegens ist bei der Bemessung zu berücksichtigen.

**7.4.4** Üblicherweise ist eine horizontale Abweichung von der Plananordnung von bis zu 150 mm annehmbar.

**7.4.5** Es kann erforderlich sein, die Baugrundverbesserung über den Bereich der Gründung eines Bauwerks hinaus auszudehnen, das auf dem verbesserten Baugrund errichtet werden soll. Dies trifft beispielsweise zu, wenn eines der Hauptziele der Baugrundverbesserung in der Verminderung der Anfälligkeit gegen Verflüssigung bei Auftreten eines Erdbebens besteht.

**7.4.6** Für die Unterstützung der Gründung muss die Baugrundverbesserungstiefe wie folgt bestimmt werden:

- bei der Baugrundverbesserung bis zur vollständigen Tiefe muss der Tiefenrüttler oder die Verdichtungssonde bis zu einer bei der Baustellenuntersuchung festgestellten kompetenten Schicht durchdringen;
- bei der Baugrundverbesserung bis zur teilweisen Tiefe muss die Baugrundverbesserungstiefe ausreichen, um den Baugrund, der mit dem jeweiligen Gründungssystem belastet ist, bis zu einer größeren Tiefe zu verbessern, so dass die Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Kriterien für die Gesamtsetzungen und Setzungsunterschiede erfüllt werden. Das Potential für unterhalb der Baugrundverbesserungstiefe auftretende Bewegungen ist zu beurteilen.

## **7.5 Baugrundverbesserungsreihenfolge**

Die Reihenfolge, in der die Baugrundverbesserung an den einzelnen Baugrundverbesserungspunkten ausgeführt werden sollte, und die grundsätzliche Richtung des Voranschreitens über große Flächen sollten mit Bezug auf die Wirksamkeit der Baugrundverbesserung und das Vorhandensein von benachbarten, eingegrabenen oder oberirdischen Bauwerken und Versorgungsleitungen in der Bemessungsphase berücksichtigt werden.

## 8 Durchführung

### 8.1 Allgemeines

Die Arbeit ist in Übereinstimmung mit schriftlich niedergelegten Verfahren auszuführen. Das Baugrundverbesserungsverfahren und die angewendete Ausrüstung müssen geeignet sein, um die Baugrundverbesserungstiefe sowie die Bemessungsziele unter den vorliegenden Baugrundbedingungen zu erreichen. Gleichzeitig auf der Baustelle stattfindende Maßnahmen und sämtliche für die ordnungsgemäße Ausführung der Baugrundverbesserung erforderlichen Bewegungen der Ausrüstung sind zu berücksichtigen. Die Arbeit muss von angemessen ausgebildetem und erfahrenem Personal durchgeführt werden.

### 8.2 Vorbereitung der Baustelle

**8.2.1** Die Baustelle muss so vorbereitet werden, dass alle Tätigkeiten sicher und wirksam ausgeführt werden können. Vor Beginn der Baugrundverbesserung müssen Ver- und Entsorgungsleitungen im Baugrund und über der Erde identifiziert und vor Ort eindeutig gekennzeichnet oder umgesetzt werden.

**8.2.2** Vor Beginn der Baugrundverbesserung müssen sämtliche nahe der Baugrundoberfläche liegenden natürlichen oder künstlichen Hindernisse identifiziert und entfernt werden, wobei die entstehenden Hohlräume mit festgelegten körnigen Baustoffen aufgefüllt werden; alternativ dazu kann der Entwurf der Baugrundverbesserung entsprechend den Hindernissen verändert werden.

**8.2.3** Arbeitsbühnen müssen auf eine Weise geplant, vorbereitet und gewartet werden, die für die sichere Bewegung und Betätigung der Baugrundverbesserungsausrüstung geeignet ist. Das für die Arbeitsbühnen verwendete Material muss für die Bedingungen des Baugrunds geeignet sein, auf den die Bühne gestellt werden soll, und darf das Eindringen des Rüttelwerkzeuges in den Baugrund nicht verhindern.

**8.2.4** Besondere Überlegungen sind bei Arbeiten über Wasser erforderlich.

### 8.3 Abstecken

Sämtliche Baugrundverbesserungspunkte müssen innerhalb der festgelegten zulässigen Abweichungen abgesteckt werden. Die Höhe der Arbeitsbühne in Bezug auf die festgelegte oberste und unterste Baugrundverbesserungshöhe muss geprüft werden.

### 8.4 Baugrundverbesserung

#### 8.4.1 Allgemeines

**8.4.1.1** Die Baugrundverbesserung muss durch Eindringen eines Rüttelwerkzeuges in den Baugrund durchgeführt werden. Das geeignete Einbauverfahren ist unter ausreichender Berücksichtigung der Baugrund- und Grundwasserbedingungen nach 7.2 zu bestimmen.

**8.4.1.2** Unter bestimmten Umständen kann es erforderlich sein, Vorbohrungen oder Voraushebungen durchzuführen.

**8.4.1.3** Sofern unter der Baugrundoberfläche unvorhergesehene Hindernisse vorgefunden werden, muss bestimmt werden, ob diese entfernt werden oder ob die Baugrundverbesserungspunkte umgesetzt oder angepasst werden sollen. Wird entschieden, das Hindernis zu entfernen, muss der entstehende Hohlraum mit für die Verdichtung geeigneten körnigen Baustoffen verfüllt werden.

#### 8.4.2 Tiefenrüttelverdichtung

Die Tiefenverdichtung wird erreicht, indem ein Tiefenrüttler oder eine Verdichtungssonde in den Baugrund eindringt. Das Eindringen und das Rückziehen können mit Wasser- oder Luftdruck unterstützt werden. Das Baugrundverbesserungsverfahren kann mit oder ohne Hinzufügen von körnigem Zugabestoff von der Baugrundoberfläche aus durchgeführt werden. Die Tiefenrüttelverdichtung ist in Anhang A beschrieben.

### **8.4.3 Rüttelsteinsäulen**

**8.4.3.1** Durchgängige Säulen müssen von der maximal geforderten Eindringtiefe bis mindestens zur obersten Bemessungshöhe reichen. Eine Rüttelstopfsäule wird hergestellt, indem nacheinander einzelne Mengen an festgelegten körnigen Baustoffen in den Absenktrichter gegeben und mit einer bestimmten Energiemenge verdichtet werden.

**8.4.3.2** Aus den drei in Anhang B beschriebenen Hauptverfahren zum Einbau von Rüttelsteinsäulen sollte das geeignetste Baugrundverbesserungsverfahren ausgewählt werden, d. h. das Trockenverfahren mit Höhenzuführung, das Nassverfahren oder das Trockenverfahren mit Tiefenzuführung.

**8.4.3.3** Wird das Trockenverfahren mit Tiefenzuführung angewendet, darf der Tiefenrüttler während des Einbaus der Säulen nicht aus dem Baugrund entfernt werden.

**8.4.3.4** Wird das Nassverfahren angewendet, ist die geforderte Wassermenge sehr erheblich, und die Wasserzufuhr muss bestimmt werden. Der Schlamm muss entsprechend den örtlichen Bestimmungen deponiert werden. Wird Schlamm in Absetzbecken deponiert, muss das abgesetzte Material nach Beendigung der Baugrundverbesserung rückverfüllt und an der Baustelle ein festgelegter Zustand wieder hergestellt werden.

**8.4.3.5** Beim Nassverfahren muss der Tiefenrüttler während des Einbaus der Säulen im Absenktrichter verbleiben.

**8.4.3.6** Steinsäulen müssen so senkrecht wie möglich errichtet werden. Der Tiefenrüttler darf während des Einbaus der Säulen um nicht mehr als 5 % von der Vertikalen abweichen.

## **9 Überwachung, Prüfung und Kontrolle**

### **9.1 Überwachung und Kontrolle**

#### **9.1.1 Allgemeines**

**9.1.1.1** Für die Überwachung und Kontrolle muss ein geeignetes Qualitätskontrollverfahren entwickelt werden. Die Überwachung der Baugrundverbesserung muss von angemessen ausgebildeten und erfahrenen Personen durchgeführt werden und in Übereinstimmung mit EN 1997-1:2004, Abschnitt 4 erfolgen.

**9.1.1.2** Am Ort der Baugrundverbesserung sollte ein Überwachungsplan vorhanden sein. Dieser muss mindestens Folgendes enthalten:

- schriftlich niedergelegte Verfahren, die eine Auflistung der kritischen Kontrollkenngrößen enthalten;
- Baustellen- und Baugrundbedingungen sowie wesentliche Abweichungen von der Bemessungsgrundlage;
- sämtliche Hindernisse im Baugrund, die das Eindringen des Rüttelwerkzeuges in den Baugrund be- oder verhindern.

**9.1.1.3** Die Auswirkungen, die jegliche bei Auftreten unvorhergesehener Bedingungen oder Verfügbarwerden neuer Informationen über die Baugrundbedingungen vorgenommenen Änderungen der festgelegten Baugrundverbesserungsverfahren auf die Bemessung haben, sind zu bewerten; vor Durchführung der Änderungen muss Einigkeit hinsichtlich der Maßnahmen erzielt werden.

**9.1.1.4** Kritische Kontrollkenngrößen sind während des Baugrundverbesserungsverfahrens zu kontrollieren und aufzuzeichnen. Es ist eine Daueraufzeichnung anzuwenden. Die in Abschnitt 10 angegebenen Durchführungskenngrößen sind zu kontrollieren. Sofern negative Auswirkungen auf den umgebenden Baugrund festgestellt werden, muss eine geeignete Kontrolle in die schriftlich niedergelegten Verfahren aufgenommen werden.



### 9.1.2 Tiefenrüttelverdichtung

Zusätzlich zu den in 9.1.1 aufgeführten Kenngrößen sollten die folgenden Kenngrößen kontrolliert werden, da sie ein Mittel zur Beurteilung der Baugrundverbesserung darstellen und Informationen liefern, die zur Steuerung der Baugrundverbesserung verwendet werden können:

- sofern mit angelieferten Baustoffen verfüllt wird, die Menge dieser Baustoffe, dessen Herkunft, Typ und Korngröße;
- sofern nicht mit angelieferten Baustoffen verfüllt wird, die Setzung der Baugrundoberfläche.

### 9.1.3 Rüttelsteinsäulen

**9.1.3.1** Wesentliche Schwankungen im Verbrauch an körnigem Baustoff für Säulen derselben Länge sind festzustellen und die Auswirkungen dieser Schwankungen auf die Bemessung zu berücksichtigen.

**9.1.3.2** Jegliche Änderungen bei der Zuführung oder Spezifikation der Baustoffe sind festzustellen und die Auswirkungen dieser Änderungen auf die Bemessung zu berücksichtigen.

## 9.2 Prüfung

### 9.2.1 Allgemeines

**9.2.1.1** Der Hauptzweck der Prüfung besteht in der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der Baugrundverbesserung. Bei Steinsäulen werden zum Zweck der Qualitätskontrolle einige zusätzliche Prüfungen durchgeführt.

**9.2.1.2** Die Auswahl des Prüfverfahrens sollte durch das Ziel der Baugrundverbesserung beeinflusst werden.

**9.2.1.3** In einigen Fällen hat die Zeit, die zwischen Baugrundverbesserung und Prüfung vergeht, großen Einfluss auf das Prüfergebnis.

**9.2.1.4** Wann immer dies möglich ist, muss das Prüfverfahren unter Anwendung internationaler Bezugsprüfverfahren, wie z. B. der in der prEN 1997-2 angegebenen, festgelegt werden. Die zu kontrollierenden Kenngrößen, die Prüfpositionen, die Prüfhäufigkeit und die Annahmekriterien sind vor Ausführung der Prüfung festzulegen. Die Prüfung muss dem Umfang der Baugrundverbesserung, der Variabilität der Baugrundbedingungen, dem Gründungstyp, der Tiefe, bis zu der die Belastung der Gründung von Bedeutung ist, und sämtlichen weiteren relevanten Faktoren entsprechen.

**9.2.1.5** Die Anzahl und die Art der Prüfungen sowie deren Position und Tiefe sind aufzuzeichnen. Unterzeichnete Kopien dieser Aufzeichnungen und die Prüfergebnisse sind vertragsgemäß auszuhändigen.

### 9.2.2 Tiefenrüttelverdichtung

**9.2.2.1** Wenn Änderungen der Baugrundeigenschaften gemessen und direkt auf die in den Vertragsdokumenten festgelegten Kriterien oder auf Daten, die unter Anwendung derselben Verfahrensweise vor der gegenwärtigen Baugrundverbesserung gewonnen wurden, bezogen werden können, sollten für die Prüfung der Gebrauchstauglichkeit in-situ-Prüfungen angewendet werden.

**9.2.2.2** Eine oder mehrere der folgenden in-situ-Prüfungen können angewendet werden:

- Konusdurchdringungsprüfungen (CPT und CPTU), die ausgeführt werden, um eine Daueraufzeichnung des Eindringwiderstandes, des Reibungsverhältnisses und, bei der CPTU, des hervorgerufenen Porenwasserdruckes zu liefern;
- Dilatometerprüfungen (DMT), die ausgeführt werden, um die Verformungsmoduln und/oder Grenzwertdrücke zu bestimmen;
- dynamische Sondierung (DP), die ausgeführt wird, um eine Aufzeichnung des Eindringwiderstandes zu liefern;
- Pressiometerprüfungen (PMT), die ausgeführt werden, um die Verformungsmoduln zu bestimmen;
- Normdurchdringungsprüfungen (SPT), die ausgeführt werden, um den Eindringwiderstand zu bestimmen.

Die aus diesen in-situ-Prüfungen hergeleiteten Kenngrößen können empirisch mit den Kenngrößen korreliert werden, die das Masseverhalten steuern; ein Vergleich der vor der Baugrundverbesserung durchgeführten in-situ-Prüfungen mit den nach der Baugrundverbesserung durchgeführten widerspiegelt jedoch nicht notwendigerweise die tatsächliche Masseverbesserung des verbesserten Baugrunds.

**9.2.2.3** Sofern sie in einem geeigneten Maßstab und über einen angemessenen Zeitraum ausgeführt werden, können Lastversuche ein direktes Maß für die Kenngrößen liefern, die, wie in 9.2.3 beschrieben, das Masseverhalten steuern.

**9.2.2.4** Für bestimmte Anwendungen und Baugrundbedingungen können weitere Prüfarten geeignet sein; dies schließt geophysikalische Prüfungen, wie Messungen der Geschwindigkeit von seismischen Wellen, Probenahme und Laborversuche sowie Bohrlochdurchlässigkeitsprüfungen, ein.

### **9.2.3 Rüttelsteinsäulen**

**9.2.3.1** Werden Rüttelsteinsäulen in nichtbindige Böden eingebaut, können die in 9.2.2 aufgeführten Prüfungen anwendbar sein. Die zu kontrollierenden Kenngrößen, die Prüfpositionen, die Prüfhäufigkeit und die Annahmekriterien sind vor der Durchführung der Prüfungen festzulegen.

**9.2.3.2** Lastversuche in großem Maßstab schließen Lastversuche mit großen Platten und Bereichsprüfungen ein:

- Lastversuche mit großen Platten zum Zweck der Prüfung der Gebrauchstauglichkeit sollten durch Belastung einer steifen Platte oder eines vor Ort gegossenen steifen Betonblockes durchgeführt werden, die/der groß genug ist, eine oder mehrere der Säulen und den umgebenden Baugrund abzudecken;
- Bereichsprüfungen sollten durch Belastung einer großen Fläche des verbesserten Baugrunds durchgeführt werden, üblicherweise durch Errichten und Belasten einer Gründung im Maßstab 1 : 1 oder durch Aufbringung von Erdschüttungen zur Simulierung von über einen großen Bereich verbreiteten Belastungen.

Position, zu messende Kenngrößen, Belastungsverfahren, Schritte der Belastungserhöhung, Prüfdauer und Belastungs-/Wiederbelastungs-Zyklen sollten vor der Prüfung festgelegt werden.

**9.2.3.3** Lastplattenversuche für einzelne Säulen sollten unter Anwendung einer Platte durchgeführt werden, die konzentrisch auf einzelne Säulen gelegt und schrittweise höher belastet wird, wobei die Setzung der Platte an einem stabilen Bezugsbalken gemessen wird.

## 9.2.4 Baustoffe

**9.2.4.1** Die Härte des zur Bildung von Steinsäulen verwendeten körnigen Baustoffs sollte überprüft werden. Sofern dies erforderlich ist, sollten Prüfungen entsprechend den in der EN 1097 angegebenen Verfahren für Prüfungen der mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Gesteinskörnungen durchgeführt werden.

**9.2.4.2** Sofern es erforderlich ist, sollte die Korngrößenverteilung des körnigen Baustoffs nach prEN 1997-2 bestimmt werden.

## 10 Aufzeichnungen

### 10.1 Aufzeichnungen im Zusammenhang mit der Durchführung der Baugrundverbesserung

Es sind tägliche Aufzeichnungen zum Baugrundverbesserungsverfahren zu erstellen, die am Ort der Baugrundverbesserung zur Verfügung stehen müssen. Diese Aufzeichnungen müssen Folgendes enthalten:

- Bezugsnummer und Position der Baugrundverbesserungspunkte;
- Datum und Zeitpunkt der Arbeit an jedem Baugrundverbesserungspunkt;
- Wetterbedingungen;
- Baugrundverbesserungsverfahren, Bezug auf Ausrüstung und Personal;
- Eindringtiefe an jedem Standort;
- Zeit bis zum Erreichen der maximalen Tiefe und Einzelheiten zu Zeiten und Tiefen während des Rückziehens;
- bei Tiefenrüttlern Energieverbrauch des Rüttlers während des Eindringens und während der Verdichtung des körnigen Baustoffs oder des nichtbindigen Bodens;
- Hindernisse und Verzögerungen;
- jegliche auftretenden unvorhergesehenen Bedingungen;
- Vorhandensein von Hebungen oder Setzungen der Baugrundoberfläche;
- werden Steinsäulen eingebaut, die für jede Säule verwendete Menge;
- bei Nassverfahren oder Verfahren mit Tiefenzuführung sämtliche Fälle, in denen der Tiefenrüttler während des Einbaus der Säule aus dem Baugrund entfernt werden musste.

### 10.2 Aufzeichnungen bei Beendigung der Baugrundverbesserung

In den Baustellen-Abschlussaufzeichnungen muss Folgendes enthalten sein:

- die Ausführungsposition und -tiefe für jeden Baugrundverbesserungspunkt, wobei alle Abweichungen aufzuzeichnen sind, die über die festgelegten zulässigen Abweichungen hinausgehen;
- besondere Richtlinien im Zusammenhang mit der Bemessung und Ausführung, die für den nachfolgenden Einsatz des verbesserten Baugrunds relevant sind;
- werden Steinsäulen eingebaut, die Quelle, den Typ und die Qualität des körnigen Baustoffs.

## 11 Besondere Anforderungen

### 11.1 Allgemeines

Es werden nur diejenigen Aspekte der Baustellensicherheit und des Umweltschutzes betrachtet, die für die Baugrundverbesserung durch Tiefenrütteln spezifisch sind. Sämtliche zutreffenden europäischen und nationalen Normen, Spezifikationen und gesetzlichen Anforderungen im Hinblick auf Sicherheit und Umweltschutz sind zu beachten.

### 11.2 Sicherheit

**11.2.1** Die Baugrundverbesserung muss auf sichere Weise ausgeführt werden; dies schließt die Übereinstimmung mit der EN 791 zur Sicherheit von Bohrgeräten und/oder mit der EN 996 zur Sicherheit der Rammausrüstung.

**11.2.2** Die Durchführung des Baugrundverbesserungsverfahrens schließt das Arbeiten des Personals mit schwerer Ausrüstung ein, wobei auch Gegenstände vom Ausleger eines Krans herabgelassen werden; daher sind sichere Arbeitsverfahren anzuwenden.

**11.2.3** Sofern beim Baugrundverbesserungsverfahren das Risiko der Verflüssigung besteht, müssen die Standfestigkeit der Grundmaschinen sowie die Gesamtfestigkeit der Baustelle besonders beachtet werden; dies gilt insbesondere bei Arbeiten in der Nähe von Hängen oder Aushüben.

### 11.3 Umweltschutz

Lärm, Staub, Vibrationen und die Ableitung des Abwassers können Störungen und/oder Schädigungen der Umwelt verursachen. Sofern erforderlich, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um solche negativen Auswirkungen einzuschränken oder zu vermeiden. Wird während der Baugrundverbesserung Wasser in den Baugrund eingebracht, müssen sämtliche Anforderungen der gesetzgebenden Behörden eindeutig definiert sein.

### 11.4 Einfluss auf benachbarte Bauwerke

**11.4.1** Sofern innerhalb oder nahe der Grenzen eines für die Baugrundverbesserung vorgesehenen Gebietes Gebäude, sonstige Bauwerke und Versorgungsleitungen vorhanden sind, müssen die sich aus der Vibration und der Baugrundbewegung ergebenden Auswirkungen der Baugrundverbesserung auf diese Gebäude, Bauwerke und Versorgungsleitungen berücksichtigt werden.

**11.4.2** Die Bedingungen hinsichtlich der benachbarten Bauwerke und Installationen sollten vor Ausführung der Baugrundverbesserung beobachtet und dokumentiert und während dieser Baugrundverbesserung kontrolliert werden. Sofern dies angemessen ist, sollte vor Beginn der Baugrundverbesserung der Rat von Fachleuten eingeholt werden.

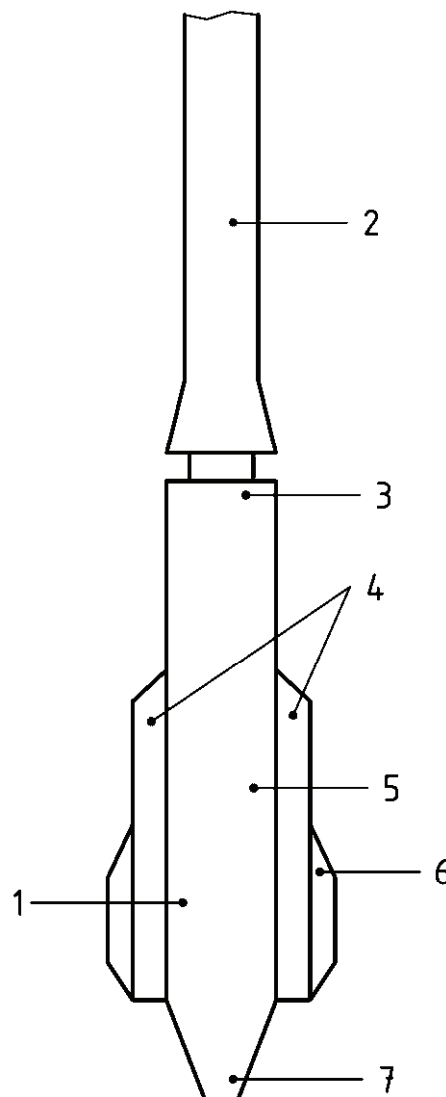
**11.4.3** Sofern erforderlich, sollte nach vorheriger Vereinbarung der Schwellenwerte während des Baugrundverbesserungsverfahrens eine Kontrolle der Vibration erfolgen.

## Anhang A (informativ)

### Tiefenrüttelverdichtung

Die Tiefenrüttelverdichtung ist üblicherweise auf nichtbindige Böden beschränkt; ein höherer Feinkornanteil vermindert die Wirksamkeit der Verdichtung. Häufig ergeben sich Schwierigkeiten bei einem Feinkornanteil von mehr als 10 %. Böden, bei denen aufgrund von Zementierung, Saugwirkung oder aus anderen Gründen Haftung zwischen den Körnern vorliegt, sind möglicherweise für diesen Typ der Baugrundverbesserung nicht geeignet. In einigen Fällen kann die Wirksamkeit der Verdichtung durch Spülen mit Wasser oder die Kombination mit vertikalen Dräns erhöht werden. Verdichtung bis zur Baugrundoberfläche ist nur durch den Einsatz von zusätzlichen Maßnahmen möglich.

Die Tiefenrüttelverdichtung von nichtbindigen Böden kann mit Verfahren erreicht werden, bei denen entweder ein Tiefenrüttler (wie in Bild A.1 gezeigt) oder ein Höhenrüttler angewendet wird. Die Verfahren, bei denen ein Tiefenrüttler zum Einsatz kommt, gleichen grundsätzlich den in Anhang B beschriebenen Verfahren, obwohl nicht immer Steinsäulen gebildet werden.

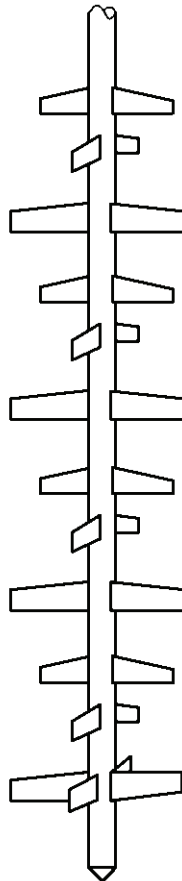


**Legende**

- 1 Exzentrisches Gewicht (innen)
- 2 Verlängerungsrohr
- 3 Isolator
- 4 Wasser- oder Luftdüsen
- 5 Motor (innen)
- 6 Rippen zur Verhinderung des Verdrehens
- 7 Nasenkonus

**Bild A.1 — Tiefenrüttler**

Wird ein Höhenrüttler angewendet, ist dieser mit dem oberen Ende einer Verdichtungssonde verbunden, die dafür ausgelegt ist, die Vibrationen so wirkungsvoll wie möglich auf den Baugrund zu übertragen. Es stehen unterschiedliche Typen von Verdichtungssonden zur Verfügung, einschließlich der Rüttelflügel (Vibro-Wing) (Bild A.2) und weiterer flexibler Sonden. Es können herkömmliche Rüttler für das Spundwandrammen eingesetzt werden, es wurden jedoch auch spezielle Rüttler entwickelt. Obwohl der Höhenrüttler üblicherweise vertikal vibriert, erzeugt die Sonde horizontale Beschleunigungen, die örtlich größer sein können als die vertikalen. Die Verdichtung nimmt zu, wenn zwischen dem Rüttelsystem (Rüttler und Verdichtungssonde) und dem umgebenden Baugrund Resonanz erzeugt wird. Mit Hilfe von auf dem Baugrund angeordneten Vibrationssensoren und einem Rüttler mit einstellbarer Frequenz kann die Frequenz so angepasst werden, dass die Baugrundvibrationen verstärkt werden; dieses Verfahren ist als Resonanzverdichtung bekannt.



**Bild A.2 — Rüttelflügel (Vibro-Wing)**

Die Verdichtung wird erreicht, indem die Sonde an den Baugrundverbesserungspunkten in den Baugrund eingeführt wird, die üblicherweise in einem drei- oder rechteckigen Raster angeordnet sind. Die Abstände betragen typischerweise 1 m bis 4 m, abhängig vom Typ und von der Größe der Verdichtungssonde und der Leistungsfähigkeit des Rüttlers. An jedem Baugrundverbesserungspunkt wird die Sonde bis zu der Tiefe in

den Baugrund eingeführt, bis zu der eine Verdichtung erwünscht wird. Die Verdichtung erfolgt während des Eindringens oder während des Eindringens und des Rückziehens. Die Verdichtungszeit an jedem Punkt schwankt üblicherweise zwischen 5 min und 40 min; die Zeit erhöht sich mit dem Feinkornanteil des Baugrunds. Die Verdichtung kann unter Anwendung mehrerer Pässe bewirkt werden, wobei die hinteren Pässe dichter beieinander liegen.

## **Anhang B** (informativ)

### **Einbau von Rüttelsteinsäulen**

#### **B.1 Allgemeines**

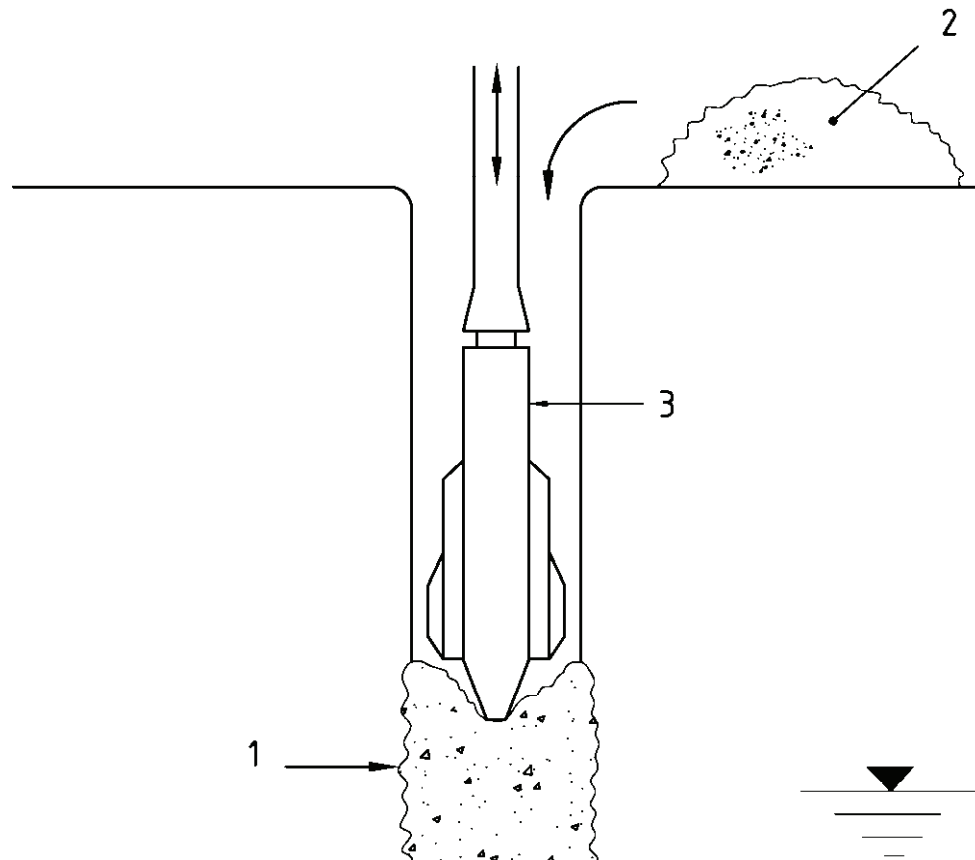
Es bestehen drei Hauptverfahren für den Einbau von Rüttelsteinsäulen, das Trockenverfahren mit Höhenzuführung, das Nassverfahren und das Trockenverfahren mit Tiefenzuführung; für jedes Verfahren ist der Einbau einer einzelnen Säule beschrieben. Bei den Verfahren mit Rüttelsteinsäulen wird der Einbau von einzelnen Säulen in einem bestimmten Abstand wiederholt, so dass sich die gewünschte Baugrundverbesserung ergibt. Bei allen drei Verfahren wird ein ähnlicher Tiefenrüttlertyp angewendet, wobei es sich um eine Baugruppe mit einem exzentrischen Gewicht handelt, das schnell in einem schweren röhrenförmigen Stahlgehäuse rotiert. Der grundsätzliche Aufbau des Tiefenrüttlers ist in Bild A.1 gezeigt. Die Nase des Rüttlers ist verjüngt, um das Eindringen in den Baugrund zu erleichtern, während vertikale Kiele das Rotieren des Rüttlers beim Eindringen verhindern.

Bei den folgenden Beschreibungen handelt es sich um typische Verfahren. In der Praxis können kleine Unterschiede bei Einzelheiten auftreten.

#### **B.2 Trockenverfahren mit Höhenzuführung**

Bei nichtbindigen Böden ist dieses Verfahren üblicherweise nur oberhalb des Wasserspiegels möglich. Die gesamte Baugruppe wird von einem auf einem Raupenschlepper montierten Kran herabgelassen, und der Rüttler wird auf den Baugrund abgesenkt. Die Durchdringung der Füllung und/oder des darunter liegenden weichen Baugrunds wird durch eine Kombination aus Rüttlermasse, Hochfrequenzvibration und Druckluft bewirkt. Ein Verdichter versorgt den Tiefenrüttler mit Luft, die aus Düsen im Hauptgehäuse aus Stahl direkt oberhalb der Rüttlerspitze strömt. Der grundsätzliche Aufbau ist in Bild B.1 gezeigt. Nachdem die erforderliche Tiefe erreicht ist, wird der Rüttler kurze Zeit im Baugrund gehalten und dann zurückgezogen. Eine kleine Menge an sauberem, inertem, körnigem Baustoff wird in den Absenktrichter gegeben, und der Rüttler wird erneut abgesenkt, um den körnigen Baustoff zu verdichten und es in den umgebenden Baugrund einzupressen. Indem aufeinander folgend kleine Mengen an körnigen Baustoffen hinzugegeben und mit einer bestimmten Energiemenge verdichtet werden, wird eine dichte Steinsäule errichtet, die bis zur Baugrundoberfläche reicht. Die Korngröße des körnigen Baustoffs liegt üblicherweise im Bereich zwischen 40 mm und 75 mm.





#### Legende

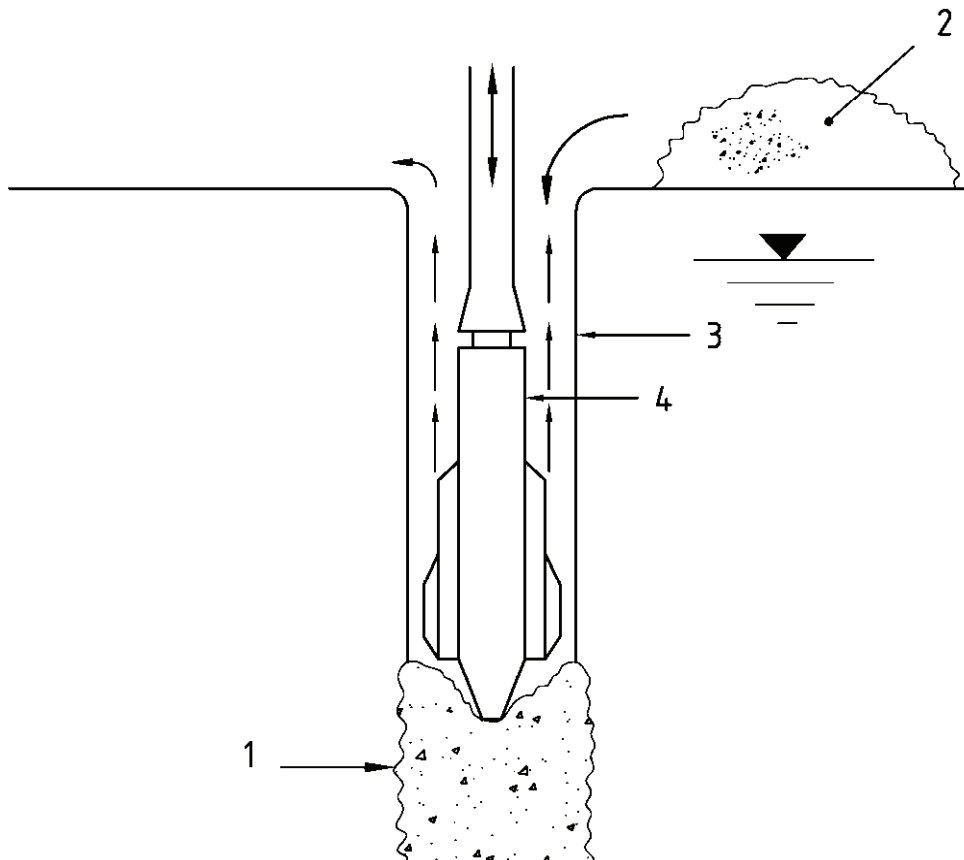
- 1 Bildung einer Steinsäule
- 2 Haufen aus körnigem Zugabestoff
- 3 Rüttler

**Bild B.1 — Trockenverfahren mit Höhenzuführung**

### B.3 Nassverfahren

Das Nassverfahren kommt zum Einsatz, wenn aufgrund des instabilen Baugrunds das Trockenverfahren mit Höhenzuführung nicht angewendet werden kann. Der Tiefenrüttler gleicht dem, der beim Trockenverfahren angewendet wird, ist jedoch mit einer Wasserspülung ausgerüstet. Der grundsätzliche Aufbau ist in Bild B.2 gezeigt. Der Tiefenrüttler wird von einem geeigneten Kran herabgelassen und auf den Baugrund abgesenkt, und die Wasserdüsen werden geöffnet. Mit Unterstützung der Wasserspülung und der Vibrationen dringt der Rüttler unter seiner eigenen Masse rasch in weiche Böden ein. Der Rüttler wird teilweise zurück- und von Zeit zu Zeit vollständig herausgezogen, um den weichen Baugrund hinauszuspülen, der sich in und nahe der Bohrung angesammelt hat. Hat sich ein offener Absenktrichter gebildet, werden der Rüttler im Baugrund gehalten und der Wasserfluss vermindert, während nach und nach saubere, inerte, körnige Baustoffe an der Baugrundoberfläche um die Oberkante des Absenktrichters herum aufgehäuft werden. Der körnige Baustoff bewegt sich nun zwischen Rüttler und umgebendem Baugrund hinab, so dass in kleinen Stufen mit wiederholtem Eindringen eine Steinsäule errichtet werden kann. Es ist wichtig, dass der Wasserfluss beibehalten wird, bis der Rüttler die Baugrundoberfläche erreicht. Der Rüttler verdichtet die körnige Füllung und presst sie fest in den umgebenden Baugrund ein. Der Zyklus wird wiederholt, bis eine kompakte Steinsäule entstanden ist, die bis zur Baugrundoberfläche reicht. Die Korngröße des körnigen Baustoffs liegt üblicherweise im Bereich zwischen 25 mm und 75 mm.

Das Nassverfahren ist mit erheblichen Problemen im Zusammenhang mit Wasserzufuhr, Drainagegräben und Setzungslagunen sowie mit der Enddeponierung des Abflusses auf eine für die gesetzgebenden Behörden annehmbare Weise verbunden.



**Legende**

- 1 Steinsäule
- 2 Steinhaufen
- 3 Wasserspülung
- 4 Rüttler

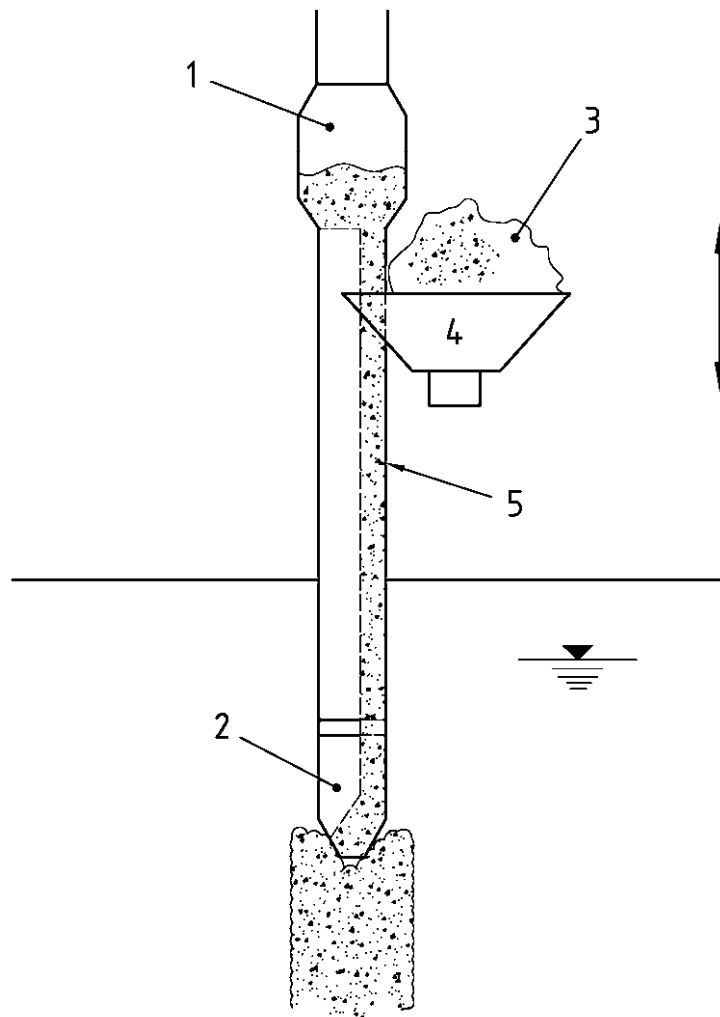
**Bild B.2 — Nassverfahren**

**B.4 Trockenverfahren mit Tiefenzuführung**

Da der Rüttler während des Einbaus der Säule im Absenktrichter verbleibt, kann das Verfahren erfolgreich auch bei instabilen Absenktrichtern durchgeführt und in den meisten Fällen anstelle des Nassverfahrens angewendet werden. Der Tiefenrüttler mit Tiefenzuführung verfügt über ein Hochleistungszuführungsrohr, das an seiner einen Seite hinabführt und dauerhaft am Rüttler befestigt ist, so dass sich eine voll integrierte Kombination aus Rüttler und Zufuhr des körnigen Baustoffs ergibt. Das Zuführungsrohr ist an der Rüttlerspitze nach innen gebogen, so dass eine mittige Zufuhr an körnigem Baustoff sichergestellt ist. Die grundsätzliche Anordnung ist in Bild B.3 dargestellt.

Der Betätigungszyklus dieses vollständig trocken ausgeführten Verfahrens ist der folgende. Der Rüttler wird am Baugrundverbesserungspunkt auf dem Baugrund angeordnet, und dem gesamten System wird körniger Baustoff zugeführt. Der Tiefenrüttler dringt — je nach Erfordernis durch Druckluft unterstützt — unter der kombinierten Wirkung der Vibrationen und seiner Masse und, sofern erforderlich, einer zusätzlichen abwärts gerichteten Zugkraft bis zur erforderlichen Tiefe in den Baugrund ein, wobei der körnige Baustoff an der Spitze des Rüttlers im Zuführungsrohr als Stopfen wirkt. Anschließend wird die Steinsäule geformt und verdichtet, indem der Rüttler angehoben und kurze Zeit in dieser Position gehalten wird, so dass der körnige Baustoff fließen kann, und dann auf den körnigen Baustoff gedrückt wird, um es zu verdichten und fest in den umgebenden Baugrund einzupressen. Dieser Vorgang wird unter Zufuhr jeweils der erforderlichen Menge an körnigem Baustoff ins System wiederholt, bis sich eine kompakte Steinsäule gebildet hat, die bis zur

Baugrundoberfläche reicht. Die Korngröße des körnigen Baustoffs liegt üblicherweise im Bereich zwischen 8 mm und 50 mm.



#### Legende

- 1 Druckkammer
- 2 Rüttler
- 3 Steinhaufen
- 4 Steinzuführungskübel
- 5 Steinzuführungsrohr

**Bild B.3 — Trockenverfahren mit Tiefenzuführung**

## Literaturhinweise

- [1] EN 1097-1, *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval)*
- [2] EN 1097-2, *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung*
- [3] prEN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*