

Baugrundverbesserungen dienen vor allem der Reduzierung von Setzungen beziehungsweise der Erhöhung der Tragfähigkeit des Baugrunds. Für Gebäude ist es in den meisten Fällen das Ziel, eine Flachgründung zu ermöglichen. Der Beitrag stellt ein in Deutschland seit etwa vier Jahren verwendetes Verfahren vor, bei dem mit einfachen Geräten Schotter-säulen mit hoher Dichte im Boden hergestellt werden.

Herstellung von Bohr-Rammsäulen

Bohr-Rammsäulen (im Folgenden nur Ramm-säulen genannt) werden hergestellt, indem zunächst eine einfache Drehbohrung, in der Regel mit einem Durchmesser von 0,75 m, im standfesten Boden beziehungsweise im Schutz einer Verrohrung abgeteuft wird (Bild 1a). Hierfür wird ein an einem Raupengerät montierter Schneckenbohrer verwendet. Anschließend wird mit einem kleinen Raupengerät, das mit einer speziellen Schaufel versehen ist (definierte Schottermenge) Grobschotter für die Ausbildung des Säulenfußes eingebracht. Das an die Boden- und Grundwasser-verhältnisse angepasste Material wird mit einem an einem Hammer befestigten Verdichtungsstempel solange verdichtet beziehungsweise in den umgebenden Boden eingerammt, bis ein entsprechendes Widerlager für den anschließenden Aufbau der Schottersäule entstanden ist (Bild 1b). Für die Verdichtung wird ein an den Seiten abge-schrägter Verdichtungsstempel verwendet, der über

Geopier Bohr-Rammsäulen eine Alternative zu Tiefgründungen

Dr.-Ing. Ulf Köhler, vgs Ingenieure, Dr. Köhler & Kirschstein GmbH & Co. KG, Erfurt, und Dr.-Ing. Gunnar Heibroek, GGC, Marburg

einen Schaft an einem hydraulischen Schlaghammer befestigt ist. Die Schlagfrequenz liegt im Bereich von 10 Hz.

Es folgt die lagenweise Herstellung des Säulenschafts. Mit dem Raupengerät wird eine über das



Geopier-Bohr-Rammsäulen sind ein Verfahren zur Baugrundverbesserung und bieten in vielen Fällen eine Alternative zu klassischen Tiefgründungen mit pfahlartigen Elementen, CSV-Säulen sowie Verfahren wie der Rüttelstopfverdichtung. Die Bodenverbesserung wird durch rasterförmig angeordnete Schotter-säulen und somit durch anteiligen Bodenaustausch gegen Pfeilerartige, sehr steife und tragfähige Elemente erreicht. Herstellung und Tragverhalten unterscheiden sich sowohl von Rüttelstopfsäulen wie von Pfählen. Der Beitrag stellt das Verfahren vor, beschreibt die Bemessung der Bodenverbesserung und stellt dessen Anwendung anhand ausgewählter Beispiele vor.

Bild 1. Herstellung von Bohr-Rammsäulen.

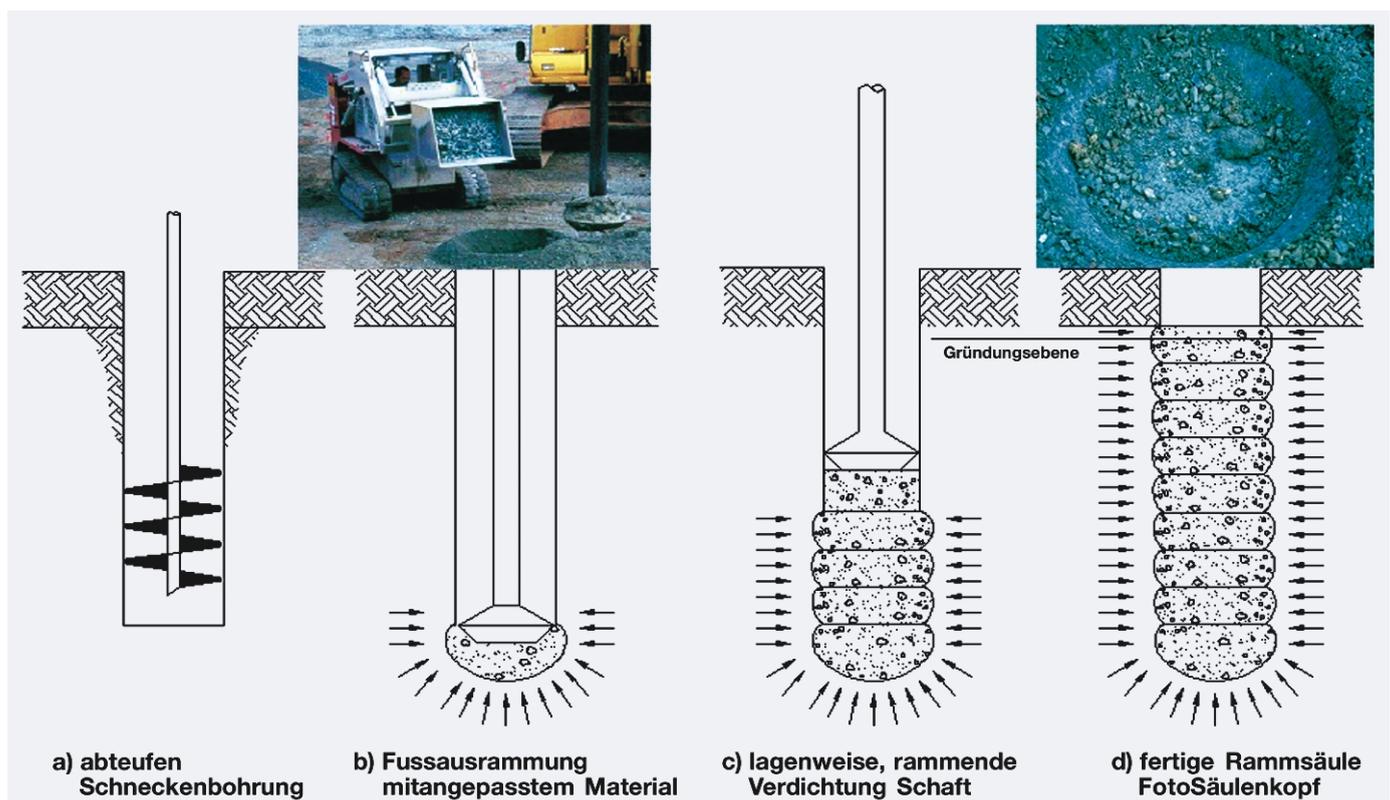




Bild 2. Für die Herstellung der Rammsäulen verwendete Geräte.



Bild 3. Aufgegrabene Bohr-Rammsäule.

Schaufelvolumen definierte Menge gut abgestuften, gebrochenen Materials (Hartsteinschotter oder Betonrecycling) eingefüllt und mit dem beschriebenen Verdichtungsteller vertikal rammend verdichtet. Die Lagenstärken nach Verdichtung liegen im Bereich von 0,3 bis 0,4 m. Jede Lage wird abhängig von den Bodenverhältnissen etwa 12 bis 20 s verdichtet. Die Verdichtungszeit wird projektspezifisch im Rahmen der Probelastung festgelegt.

Bedingt durch die Form des Verdichtungstellers wird das Schüttmaterial überwiegend vertikal verdichtet. Durch die Ansträgung des Verdichtungstellers werden der Schotter gleichzeitig seitlich gegen den anstehenden Boden gedrückt und so ein hoher Anpressdruck des Säulenschaftmaterials an den angrenzenden Baugrund und eine Aufweitung der Geopier-Bohr-Rammsäule erreicht.

Je nach Baugrundverhältnissen kann die Aufweitung des Durchmessers über die Vorbohrung hinaus im steifen Baugrund 1 bis 2 cm in weichen beziehungsweise sehr weichen Böden bis zu etwa 10 cm betragen (Bild 1c).

Bild 2 zeigt die für die Herstellung von Rammsäulen benötigten Geräte. Eine aus den gezeigten Geräten bestehende Mannschaft stellt pro Arbeitstag im Durchschnitt 200 bis 300 laufende Meter Rammsäulen her. Da nur leichte Geräte zum Einsatz kommen, ist eine zusätzliche Arbeitsebene für die Herstellung der Rammsäulen nicht notwendig.

Eigenschaften der Rammsäulen

Die auf die beschriebene Weise hergestellten Rammsäulen (Bild 3) weisen sehr hohe Dichten im Bereich von 2,1 t/m³ und höher auf. Aufgrund der hohen Dichte ergeben sich hohe innere Scherfestigkeiten, die je nach verwendetem Schottermaterial im Bereich von 48 bis 52° liegen. Hierbei spielen Dilatanzeffekte eine wichtige Rolle. Diese Werte wurden durch Feldmessungen (FOX/COWELL, 1998) und Untersuchungen im Großtriaxgerät (WHITE et al., 2002) gemessen.

Darüber hinaus werden sehr hohe Steifigkeiten der Säulen erreicht. Im Mittel liegen diese um den Faktor 20 bis 40 höher als die des anstehenden Baugrunds.

Die seitliche Verdrängung des Schottermaterials durch den abgeschrägten Verdichtungsteller resultiert in horizontalen Erddruckverhältnissen in der Umgebung der Säule, die passiven Erddruckverhältnissen entsprechen. Entsprechende Messungen finden sich bei WHITE et al. (2000). Ein weiterer indirekter Nachweis ergibt sich durch Zugversuche an den Säulen. Die Messungen und die Rückrechnung der Zugversuche ergeben die in Bild 4 dargestellte, horizontale Erddruckverteilung in der Umgebung der Säule. In größeren Tiefen reicht die Verdichtungsenergie nicht mehr aus, um den vollen passiven Erddruck zu mobilisieren.

Herstellungsbedingt entstehen nur vergleichsweise geringe und nur in unmittelbarer Umgebung der Säule wirksame Porenwasserüberdrücke.

Die beschriebenen Eigenschaften und Verhältnisse im umgebenden Boden nach der Herstellung haben entscheidenden Einfluss auf das Last-Verformungsverhalten der Rammsäulen:

- ⇨ Die durchgängig hohe innere Scherfestigkeit und Dichte in Kombination mit dem im Bereich des passiven Erddrucks liegenden Stützdruk erlaubt vergleichsweise hohe Belastungen der Säulen, ohne dass diese ausbauchen. Je nach Bodenverhältnissen sind Belastungen im Bereich von 200 bis 700 kN möglich.
- ⇨ Die hohe Steifigkeit der Säulen resultiert in kleinen Verformungen bei Belastung im mit Rammsäulen verbesserten Bereich. Die vergleichsweise hohe Belastbarkeit erlaubt eine

Bemessung mit deutlichen Abständen von möglichen Grenzzuständen, insbesondere dem Ausbauchen der Säulen. Die plastischen Verformungsanteile bleiben damit gering. Dies erlaubt eine relativ genaue Prognose der zu erwartenden Verformungen bei Belastung. Für Fundamente erfolgt die Bemessung in der Regel so, dass die Verformungen im Säulenbereich bei 1 bis 1,5 cm liegen.

- ⇨ Der hohe seitliche Stützdruck ermöglicht den Abtragvergleichsweise hoher Lasten über „Mantelreibung“ bei gleichzeitig kurzen Säulenlängen. In der Regel wird die Bodenverbesserung als schwimmendes System bemessen, bei dem sämtliche Lasten über „Mantelreibung“ in den umgebenden Baugrund abgetragen werden.
- ⇨ Dadurch, dass herstellungsbedingt keine oder nur geringe Porenwasserüberdrücke entstehen, weisen die Rammsäulen bereits kurze Zeit nach der Herstellung (0 bis 4 d) ihre volle Tragwirkung auf.
- ⇨ Da die Rammsäulen als Dränelemente wirken, wird die Konsolidation bindiger Baugrundschichten entsprechend beschleunigt.

Damit unterscheidet sich das Tragverhalten der Bohr-Rammsäulen sowohl von dem von Pfählen wie auch von dem von Rüttelstopfsäulen. Herstellungsbedingt ergeben sich Unterschiede im Zustand des die Elemente umgebenden Bodens

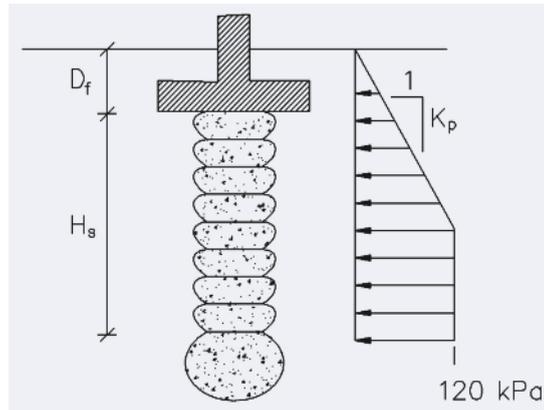


Bild 4. Verteilung des Stützdrucks entlang des Säulenschafts.

und damit der Wechselwirkung zwischen Boden und Pfahl beziehungsweise Säule. Gegenüber pfahlartigen Elementen werden die Lasten nicht überwiegend in tiefere, tragfähigere Schichten übertragen und dort über Spitzendruck, sondern über Mantelreibung in den die Rammsäulen umgebenden Boden abgetragen. Gegenüber Rüttelstopfsäulen ergeben sich herstellungsbedingt unterschiedliche Steifigkeiten der Säulen und unterschiedliche Erd-druckverhältnisse in deren Umgebung.

Anwendungsbereiche und -grenzen

Das vor rund 15 Jahren in den USA entwickelte Verfahren wird sowohl unter Einzelfundamenten und Bodenplatten als auch bei schlaffen Lasten

GSP

Gesellschaft für Schwingungsuntersuchungen und dynamische Prüfmethode mbH
Pile Dynamics Incorporation



Dr.-Ing. O.Klingmüller

von der IHK Rhein-Neckar öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schwingungen und Erschütterungen

Die GSP ist Repräsentant von  Pile Dynamics, Inc., Cleveland, Ohio

 ist der Weltmarktführer bei Messtechnik und Software für dynamische Pfahlprüfungen

- Pile Driving Analyzer® – Pile Integrity Tester™ – Cross Hole Analyser™ – CAPWAP® -

Programmsystem GRLWEAP™ für Rammuntersuchungen für Offshore und Onshore Rammpfähle

www.gsp-mannheim.de www.pile.com ok@gsp-mannheim.de Mobil 0172 629 3 926



Dynamische Tragfähigkeit



Low-Strain-Integritätsprüfung



Cross-Hole-Ultraschallprüfung



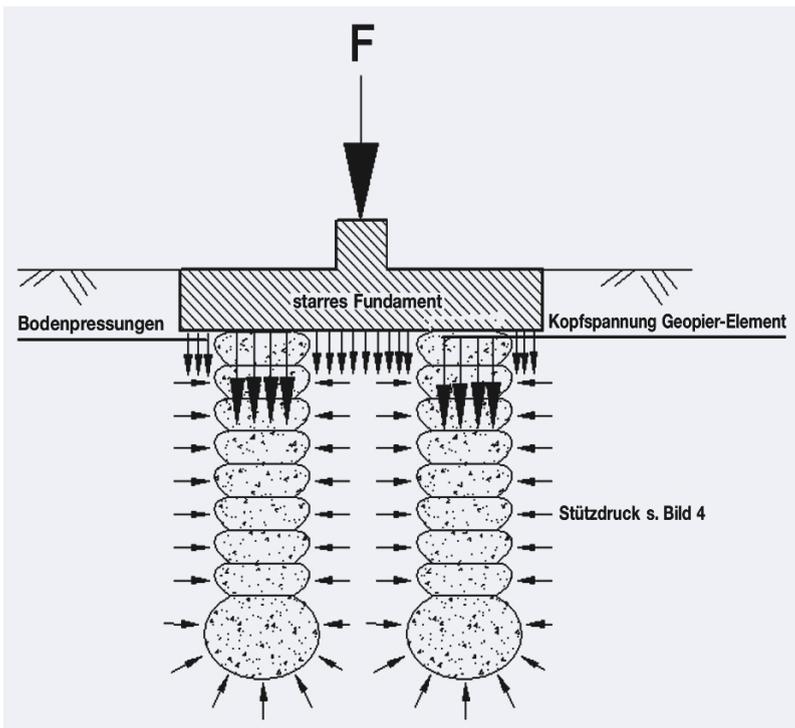
Bild 5. Herstellung einer Rammsäule unmittelbar angrenzend an Bestand.

zur Erhöhung der Tragfähigkeit, Kontrolle der Setzungen beziehungsweise Setzungsdifferenzen und Homogenisierung des Baugrunds verwendet.

Zu den typischen Anwendungsgebieten zählen die Gründung von Gewerbe- und Industriebauten sowie Wohngebäuden. In diesem Bereich sind für den Entwurf meistens die Reduzierung der Setzungen und Verformungen auf ein verträgliches Maß entscheidend. Darüber hinaus werden durch die Erhöhung der zulässigen Bodenpressungen wirtschaftliche Fundamentabmessungen ermöglicht.

Bild 6. Idealierte Spannungsverteilung unter einem Einzelfundament.

Auch für hochbelastete Fußböden und insbesondere bei hohen Anforderungen an die zulässigen Verformungen, wie zum Beispiel für Hochregallager (Winkelverdrehungen im Bereich



1 : 1 000 und kleiner) oder Windkraftanlagen mit hohen Anforderungen an die dynamischen Bodeneigenschaften (300 MPa dynamische Bodensteifigkeit, 50 000 bis 150 000 MNm/rad Drehfedersteifigkeit) kommt das System zum Einsatz. Hier spielen die Genauigkeit der Setzungsprognose und die hohen Steifigkeiten der Elemente eine entscheidende Rolle.

Hinzu kommen Anwendungen im Straßen- und Erdbau wie die Gründung von Stützmauern, die Bodenverbesserung unter Dämmen oder die Kontrolle der Verformungen im Übergangsbereich von Widerlager und Damm. In diesem Bereich spielt auch die beschleunigende Wirkung der Säulen auf die Konsolidation eine wichtige Rolle.

Ein weiterer, in Deutschland weniger relevanter Anwendungsbereich, ist die Reduzierung der Gefahr der Bodenverflüssigung in Folge Erdbebenbelastung.

Bezüglich der geeigneten Bodenarten ergibt sich ein breiter Anwendungsbereich. Er reicht von sehr weichen bis weichen, gegebenenfalls organischen Tonen und Torfen, über weiche Schluffe und unverdichtete Auffüllungen bis hin zu festen Tonen und Schluffen sowie lockeren bis dichten gegebenenfalls kiesigen Sanden. Das Verfahren kann ohne zusätzliche Maßnahmen in Böden mit Feinanteilen von mindesten 25 % oberhalb und unterhalb des Grundwasserspiegels angewendet werden. Bei nicht standfesten Bohrlochwandungen wird eine Verrohrung notwendig, was sich auf die Produktivität und damit den Preis auswirkt. Gleiches gilt, wenn baugrundbedingt eine Schneckenbohrung nicht mehr geeignet ist.

Da für die Bauausführung relativ leichte und vergleichsweise kleine Baugeräte eingesetzt werden, wird die Untergrundverbesserung mit Geopier Bohr-Rammsäulen auch bei Bauvorhaben im innerstädtischen Umfeld und beengten Platzverhältnissen eingesetzt.

Eine Ausführung in unmittelbarer Nähe bestehender Gebäude und Fundamente ist ebenfalls möglich. Da der Durchmesser des Bohrkopfs beziehungsweise auch der Durchmesser des Hydraulikhammers kleiner ist als der Bohrdurchmesser, können die Rammsäulen unmittelbar vor bestehenden Gebäuden beziehungsweise Fundamenten ausgeführt werden (Bild 5). Schwingungsmessungen zeigen, dass die stärksten Auswirkungen, das heißt Schwinggeschwindigkeiten, bei der Herstellung des oberen Bereichs der Rammsäule entstehen. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Oberflächenwellen, die sogenannten Rayleigh-Wellen maßgeblich sind. Im vorliegenden Fall (steif bis weicher, sandiger Schluff) wurden in 0,8 m Abstand von der Rammsäule vertikale Schwinggeschwindigkeiten von etwa 10 mm/s gemessen. Die Amplitudenabnahme folgt näherungsweise $1/r^{1/2}$. Eine Gefährdung der Bausubstanz ist nicht gegeben.

Verbesserungstiefen oberhalb von 7 bis 8 m lassen sich verfahrensbedingt nur mit erheblichem Mehraufwand realisieren. In vielen Fällen sind die lastbedingten Auswirkungen in diesen Tiefen bereits gering, sodass dies in der Regel für Einzelfundamente keine wesentliche Einschränkung der Anwendbarkeit bedeutet, für Platten Gründungen mit höheren und flächig verteilten Lasten ist jedoch eine sorgfältige Bewertung des Verformungsverhaltens des unterhalb der Rammsäulen anstehenden Baugrunds von entscheidender Bedeutung.

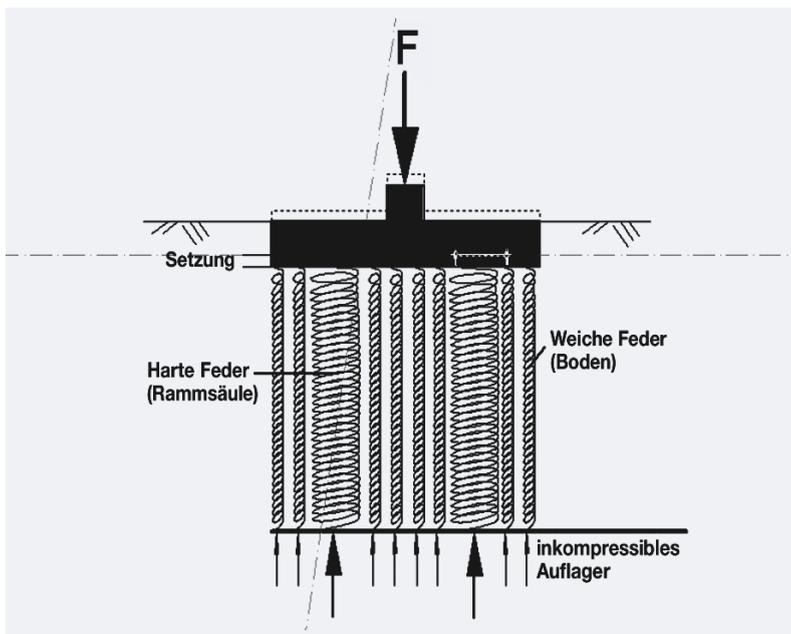
In stark organischen Böden (Glühverluste oberhalb 20 %), insbesondere Torfen, ist eine sorgfältige Bewertung der spezifischen Eigenschaften notwendig. In der Regel müssen diese Schichten vollständig durchteuft werden. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die Belastung der Rammsäulen vergleichsweise niedrig anzusetzen, um einem Ausbauchen der Säulen entgegenzuwirken.

Bemessung und statische Nachweise

Im Rahmen der Bemessung der Bodenverbesserung werden sowohl die Gebrauchstauglichkeit, das heißt im Wesentlichen die Einhaltung der zulässigen Verformungen, als auch die entsprechenden Grenzzustände nachgewiesen. Zu letzteren zählt der Grundbruchnachweis, für den die scherfestigkeiterhöhende Wirkung der Rammsäulen berücksichtigt wird, und insbesondere für weiche Böden der Nachweis gegen das Ausbauchen der Säulen.

Da die Nachweise der Grenztragfähigkeit vom Ansatz her den für Rüttelstopfverdichtungen üblichen Nachweisen entsprechen, werden im Folgenden nur die Grundlagen der Setzungsberechnung für eine Bodenverbesserung mit Geopier Bohr-Rammsäulen unter Einzelfundamenten vorgestellt, die einen systembedingt anderen Ansatz verfolgt.

Wie beschrieben wird die Bodenverbesserung durch anteiligen Bodenaustausch gegen pfeilerartige, sehr steife und tragfähige Elemente erreicht. Grundsätzlich werden durch die seitliche Verdrängung der die Säulen umgebende Boden verdichtet und durch die Verspannung Erd-druckverhältnisse erzeugt, die denen eines überkonsolidierten Bodens entsprechen. Da eine genauere Beschreibung und insbesondere der fall-spezifische Nachweis der Reichweite dieser Wirkungen schwierig ist, wird bei der Bemessung die Verringerung der Kompressibilität des umgeben-



den Bodens auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Berechnet werden die Setzungen über ein Zwei-Zonenmodell, in dem die zu erwartende Setzung in dem verbesserten Bodenbereich und die Setzungen aus dem darunter liegenden, unverbesserten Bereich jeweils getrennt ermittelt werden.

Wird ein mit Rammsäulen gestütztes Fundament belastet, so wird der größere Teil der Last über die steifen Rammsäulen und der kleinere Teil der Last über den relativ weichen Boden abgetragen. Bild 6 zeigt die idealisierte Spannungsverteilung unter einem entsprechendem Einzelfundament. Stellt man sich die Geopier-Elemente vereinfacht als harte Federn und den umgebenden Boden als weiche Federn vor, so hängt die Spannungsverteilung von dem Verhältnis der Steifigkeiten der Geopier-Elemente und dem Boden sowie dem Verhältnis zwischen dem Flächenanteil der Geopier-Elemente und dem Flächenanteil des verbleibenden Bodens ab. Bild 7 zeigt das entsprechende, statische System, das der Berechnung der Setzungen im oberen Bereich zugrunde gelegt wird.

Unter den beschriebenen Annahmen ergibt sich folgendes Kräftegleichgewicht:

$$F = \sigma \cdot A = F_g + F_b = \sigma_g \cdot A_g + \sigma_b \cdot A_b \dots \dots \dots [1]$$

mit:

- F Fundamentbelastung [kN],
- A Fundamentfläche [m²],
- σ Mittlere, rechnerische Sohlpressung unter Fundament [kN/m²],

Bild 7. Statisches Modell für Setzungsberechnung in oberer Zone.

	I N G E N I E U R E				
	Dr. Köhler & Kirschstein GmbH & Co. KG				
Baugrundinstitut Baugrundlabor	Ingenieurgeologie Umwelttechnik	Erd- und Grundbau Spezialtiefbau	Landschaftsbau Ingenieurbau	Wasserbau Felsbau	Erfurt • Leipzig • Magdeburg Hauptsitz Erfurt Alfred-Hess-Straße 23 99094 Erfurt Tel. +49 (0) 361 789 34 - 0 Fax. +49 (0) 361 78934 56 e-Mail: vgs@vgs-ing.de www.vgs-ing.de

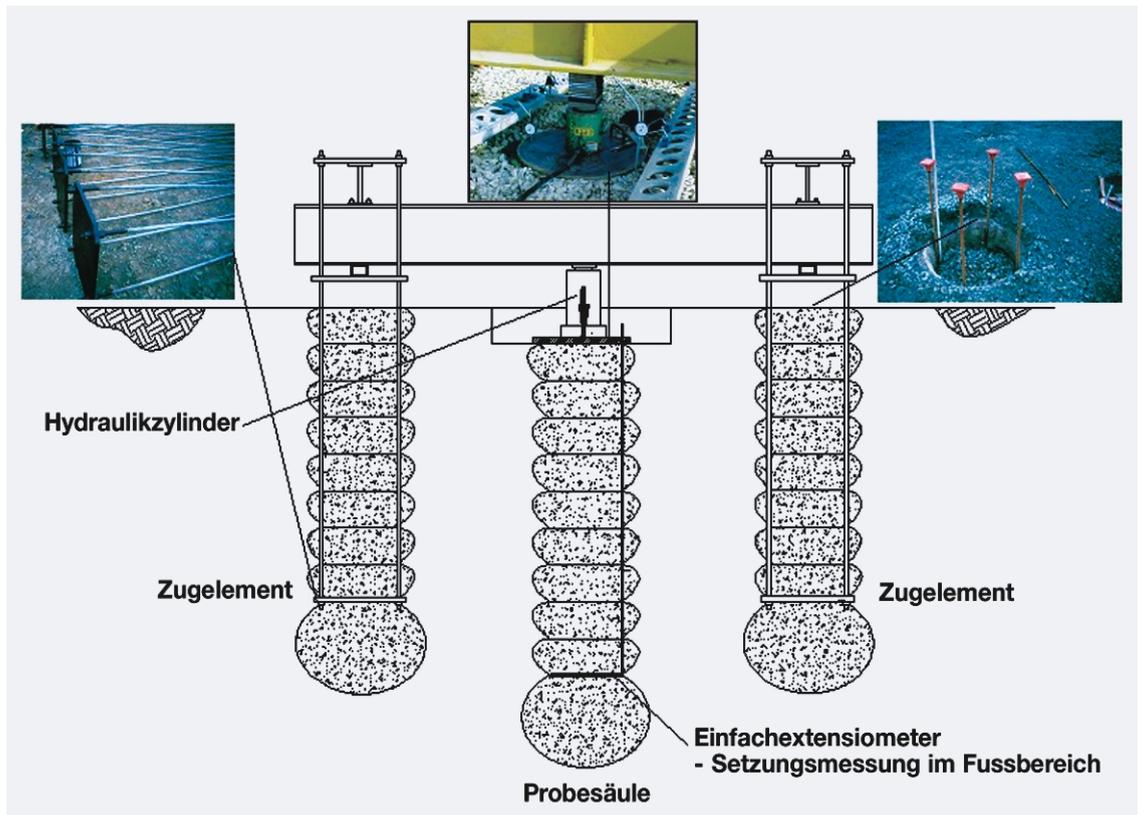


Bild 8. Aufbau für Probelastung.

F_g Belastung Geopier-Element [kN],
 F_b Belastung Boden [kN],
 σ_g Kopfspannung Geopier-Element [kN/m²],
 σ_b Bodenpressung [kN/m²].

Da das Fundament als starr angenommen wird, müssen die Setzungen der Rammsäulen und des Bodens gleich groß sein. Damit ergibt sich:

$$s = \frac{\sigma_g}{k_g} = \frac{\sigma_b}{k_b} \dots\dots\dots [2]$$

mit:

s Setzung unter Last P [m],
 k_g Geopiermodul [kN/m³],
 k_b Bettungsmodul Boden [kN/m³].

Definiert man R_s als das Steifigkeitsverhältnis zwischen den Rammsäulen und dem Boden, das heißt $R_s = k_g/k_b$, und R_A als das Flächenverhältnis

der von den Rammsäulen unter dem Fundament bedeckten Fläche zur Fläche des Fundaments, das heißt $R_A = A_g/A$, so erhält man aus den Gleichungen [1] und [2] nach kurzer Rechnung:

$$\sigma_g = \frac{\sigma \cdot R_s}{R_A \cdot R_s + 1 - R_A} \dots\dots\dots [3]$$

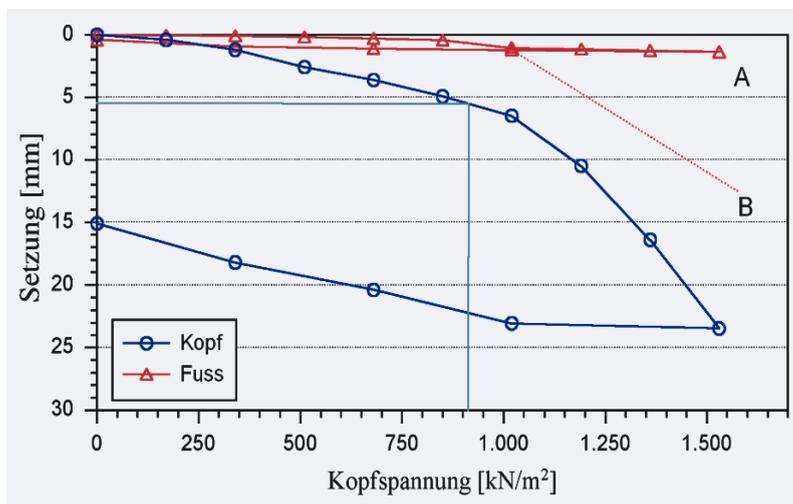
Die Kopfspannung auf den Rammsäulen ergibt sich damit aus dem Steifigkeitsverhältnis zwischen Boden und Rammsäule und der Anzahl der unter dem Fundament angeordneten Säulen. Da der Bettungsmodul für den Boden aus den Angaben des Baugrundgutachtens ermittelt werden kann, verbleibt als einzige unbekannte Größe der Geopier-Modul k_g .

Im Rahmen der Planung wird dieser anhand einer Datenbank mit etwa 1 000 Probelastungen in unterschiedlichen Böden geschätzt und während der Ausführung durch eine Probelastung bestätigt. Für weiche, anorganische Böden liegt der Geopier-Modul mindestens im Bereich von 40 bis 60 MN/m³.

Die Setzungen in der unteren Bodenzone werden mit den üblichen erdstatischen Ansätzen, ermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Spannungen im unteren Bereich in Anlehnung an die DIN 4019 analog DIN aus dem elastischen Halbraum ermittelt werden können. Die Gesamtsetzung ergibt sich dann als Summe der beiden Setzungsanteile.

Zu erwähnen bleibt noch der Nachweis der ausreichenden Schaftlänge. Die Säulen müssen in der Regel so lang sein, dass die aufgetragenen Lasten über Mantelreibung in den umgebenden Boden abgetragen werden. Wird in besonderen

Bild 9. Probelastung zur Bestätigung der Entwurfsparameter.



Fällen eine kürzere Schaftlänge gewählt, so ist die Spannungserhöhung im Fußbereich der Säulen für die Setzungsberechnung entsprechend zu berücksichtigen. Dem Nachweis liegt die in Bild 4 dokumentierte Erddruckverteilung in der Umgebung der Rammsäule zugrunde.

Tabelle 1. Anforderungen an den Baugrund.

Bindige Böden	$E_{stat} = 35 \text{ bis } 45 \text{ MN/m}^2$	$E_{dyn} = 160 \text{ bis } 180 \text{ MN/m}^2$
Nichtbindige Böden	$E_{stat} = 35 \text{ bis } 45 \text{ MN/m}^2$	$E_{dyn} = 140 \text{ bis } 170 \text{ MN/m}^2$
Zulässige Bodenpressung	$\sigma_{zul} > 150 - 350 \text{ kN/m}^2$ (für Eck- und Kantenpressung)	
Drehfedersteifigkeit	$k_{\phi} > 30 - 100 \cdot 10^3 \text{ MNm/rad}$ (zwischen Boden und Fundament)	

Prüfung und Probelastung

In fast allen Fällen wird bei Ausführung einer Bodenverbesserung mit Rammsäulen eine Probelastung durchgeführt. Die Probelastung dient dabei in erster Linie der Bestätigung des für die Bemessung angenommenen Geopier-Moduls und damit der Überprüfung des Spannungs-Verformungsverhaltens für die gemäß der oben beschriebenen Berechnung zu erwartende Belastung (Kopfspannung) der Rammsäulen. Das Verhalten der Prüfsäule wird bis zum 1,5fachen der Gebrauchslast untersucht.

In der Regel werden in dem Bereich mit den ungünstigsten Baugrundverhältnissen insgesamt drei bis fünf Rammsäulen hergestellt, wobei vier der Säulen als Zugelemente ausgebildet werden. Nach Herstellung des Säulenfußes wird hierzu eine Stahlplatte mit daran befestigten Stahl-Stäben eingestellt und die Säule anschließend wie oben beschrieben hergestellt.

Bild 8 zeigt den Aufbau der Probelastung und die für die Herstellung der Zugsäulen verwendeten Elemente und eine fertig hergestellte Zugsäule.



Bild 10. Windpark Katzenberg bei Erfurt.

Eine mit den zwei bis vier Zugsäulen verbundene Traverse dient als Widerlager für eine hydraulische Presse, mit der die Prüflast aufgebracht wird. Belastungen bis zu 1 000 kN sind ohne weiteres möglich. Häufig wird für die Durchführung der Probelastungen auf den Kopf der Prüfsäule ein Betonfundament mit einem Durchmesser von 0,75 m aufbetoniert.

Um den Modul der Rammsäule zu bestimmen, wird nicht nur die Setzung des Säulenkopfes benötigt, sondern auch die Setzung im Fuß-

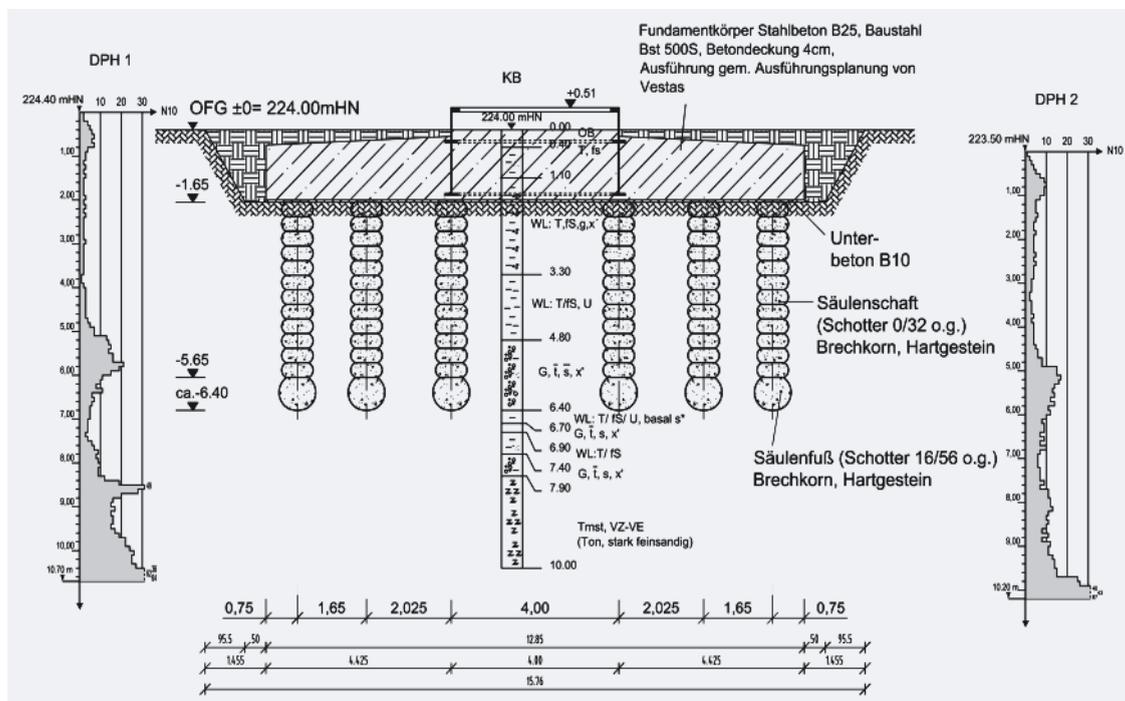


Bild 11. Schnitt durch die Gründung der Windkraftanlagen.

<p>Vermietung und Verkauf von TV-Kamerasystemen zur Erkundung und Inspektion von Drainagen - Gas- u. Wasserleitungen - Bohrlöchern - Brunnen - Schächten - unterirdischen Hohlräumen - Explosionsschutzbereichen (Zone EX 0 bis EX 2)</p> <p>Durchführung von TV-Spezialuntersuchungen in Bohrlöchern u. Brunnen bis 500 m Tiefe - Drainagen u. Horizontalbrunnen bis 200 m</p>	 <p>Bohrloch- und Brunnenkameras ab 16 mm Durchmesser bis 500 m Einsatztiefe</p>	<p>IOGIS Knobbe & CO oHG</p> <p>Schalker Straße 44 D-45327 Essen Fon : 0049 201 8385804 Fax : 0049 201 8385805 service@iogis.de</p> <p>www.iogis.de</p>
---	--	--

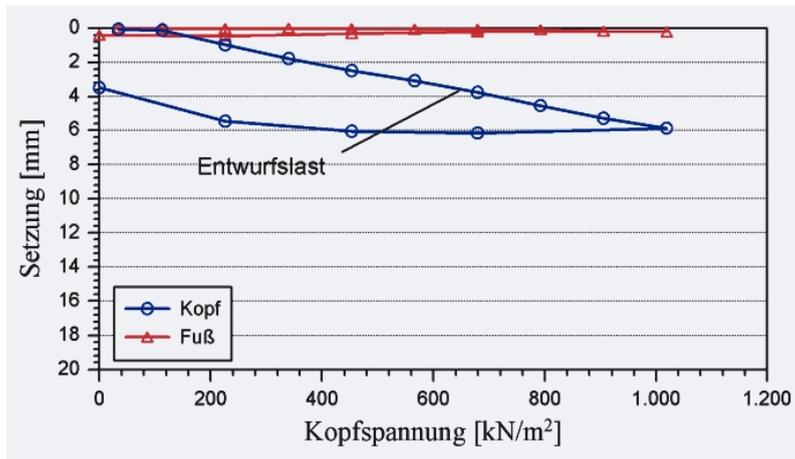


Bild 12. Ergebnis der Probelastung Windpark Katzenberg.

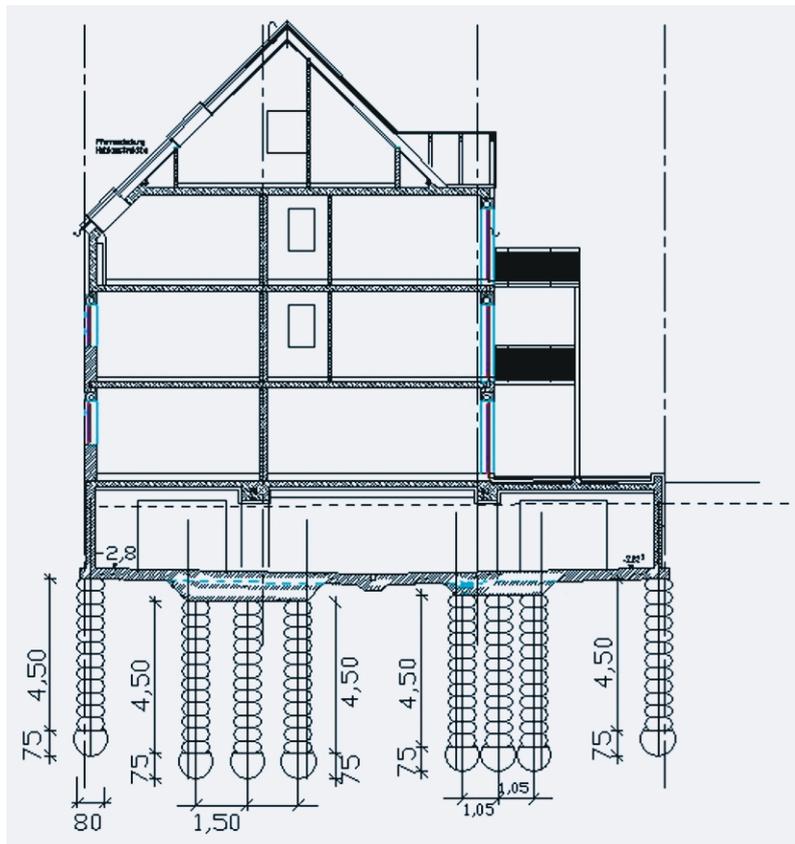


Bild 13. Schnitt durch Gründung Wohngebäude Bad Abbach.

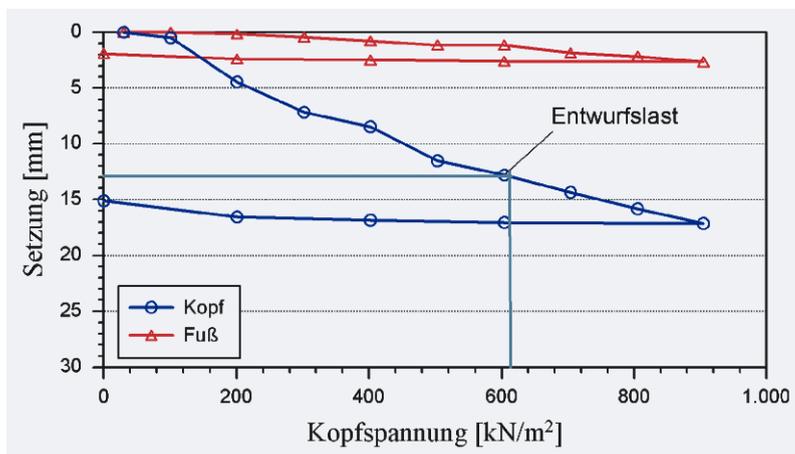


Bild 14. Ergebnis Probelastung Bad Abbach.

bereich. Für dessen Messung wird in die Sohle der Probesäule eine Stahlplatte eingelegt und mithilfe eines daran befestigten und im Schutz eines Kunststoffrohrs nach oben geführten Stahlstabs eine Art Einfachextensometer ausgebildet. Durch die gleichzeitige Messung der Setzungen im Kopf- und Fußbereich lassen sich die wesentlichen Annahmen des Entwurfs direkt überprüfen.

Bild 9 zeigt das Ergebnis einer Probelastung in einer überwiegend weichen, teilweise weich bis steifen Schluffauffüllung. Die Säulenlänge betrug 4 m. Bis zu einer Kopfspannung von etwa 1 000 kN/m² ergibt sich ein nahezu linearer Setzungsverlauf. Bei höheren Kopfspannungen ergibt sich eine starke Zunahme der Setzungen. Der Fußbereich der Säule zeigt jedoch weiterhin nur kleine Verformungen (Verlauf A). Dies zeigt, dass ein Ausbauchen der Säule die Ursache für die starke Zunahme der Setzungsbeträge ist. Würde die Schaftlänge nicht ausreichen um die Lasten abzutragen, so würde sich im Fußbereich der Setzungsverlauf B ergeben. Je nach Anforderungen an die Verformungen wird die Entwurfslast deutlich im Bereich des linearen Verlaufs der Setzungskurve gewählt beziehungsweise kann ein plastischer Verformungsanteil toleriert werden.

Wenn die Bauwerkslasten gering sind und die Baugrundbedingungen gut bekannt sind, kann im Einzelfall in Abstimmung mit den Beteiligten auf die Durchführung einer Probelastung verzichtet werden.

Anwendungsbeispiele

Windkraftanlagen

Typisch für die Gründung von Windkraftanlagen sind hohe Anforderungen, insbesondere an die dynamischen Eigenschaften des Baugrunds. Dabei sind häufig die in der Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen an den Baugrund zu erfüllen. Die geforderte Drehfedersteifigkeit ist gleichbedeutend mit der Begrenzung der Winkelverdre- hung in der Fundamentsohle durch Windeinwirkungen.

Bei der Gründung von Windkraftanlagen ermöglicht die hohe Steifigkeit und dynamische Belastbarkeit der Bohr-Rammsäulen eine wirtschaftliche Verbesserung der Baugrundverhältnisse bei gleichzeitig sicherer Einhaltung der Anforderungen. Ein Beispiel ist der Windpark Katzenberg (Bild 10). Maßgeblich für die Bemessung sind die Momente aus Windbelastung. Regionalgeologisch gesehen, liegt der Windpark im Bereich der Erfurter Keupermulde. Die im tieferen Baugrund anstehenden Festgesteine und dessen Verwitterungs-, Auflockerungs- und Zersetzhorizonte werden von glazial geprägten Lockergesteinsschichten überdeckt. Im Bereich der Gründungssohlen steht weichseleiszeitlicher Löss

beziehungsweise Grundmoränenablagerungen in Form von Geschiebemergel beziehungsweise -lehm überwiegend steifer bis weicher Konsistenz an. Die Schlagzahlen N_{10} der schweren Rammsonde DPH im Lösslehm/Geschiebelehm liegen im Bereich von $N_{10} = 2$ bis 5. Als Gründung wurden Quadratfundamente mit 12,85 m Seitenlänge ausgeführt. Unter den Fundamenten wurden 72 Bohr-Rammsäulen mit einer Schaftlänge von 3 bis 4,5 m konzentrisch angeordnet. Bild 11 zeigt einen Schnitt durch die Gründung.

Anhand der in Bild 12 dokumentierten Probelastung wurden folgende Eigenschaften der Baugrundverbesserung nachgewiesen:

$$E_{\text{stat}} = 143 \text{ MN/m}^2,$$

$$E_{\text{dyn}} > 500 \text{ MN/m}^2,$$

$$k_{\phi} = 260 \cdot 10^3 \text{ MNm/rad.}$$

Wohngebäude mit Tiefgarage

Aufgrund der im Baufeld anstehenden weich bis breiigen, schluffig, kiesigen Tonen (TM, TL), die mit zunehmender Tiefe (> 6 bis 8 m) in weiche bis steife Konsistenz übergehen und in einer Tiefe von 6,5 bis 9 m von steif bis halbfesten, stark sandigen Tonen unterlagert werden, waren für die Gründung des geplanten Wohnhauses mit Tiefgarage (etwa 37 m x 17 m) zusätzliche Maßnahmen notwendig. Die Stützenlasten des dreigeschossigen in Mauerwerksbauweise ausgeführten Gebäudes lagen im Bereich von etwa 500 bis 4 600 kN. Aufgrund des etwa 2,3 m unter Geländeoberkante anstehenden Grundwassers wurde die flächig unter dem Gebäude angeordnete Tiefgarage als Weiße Wanne ausgeführt. Konstruktiv wurde die Gründung als Einzel-fundamentgründung konzipiert und die Platte in den entsprechenden Bereichen verstärkt. Für die Gründung wurden unter den Stützen und unter den Außenwänden im Mittel 4,5 m lange Bohr-Rammsäulen angeordnet (Bild 13). Das Ergebnis der Probelastung zeigt Bild 14. Die Oberkante der Probesäule lag bei Unterkante Bodenplatte Tiefgarage.

Quellennachweis

FOX, N.S. ; COWELL, M.J. (1998): *Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual*. Geopier Foundation Company, Inc., Scottsdale, AZ.

White, D.J. ; Lawton, E.C. ; Pitt, J.M. (2000): *Lateral Earth Pressure Induced by Rammed Aggregate Piers*. Proceedings, 54th Annual Canadian Geotechnical Conference, Montreal.

WHITE, D.J. ; SULEIMAN, PHAM, H.T ; BIGELOW, J. (2002): *Shear Strength Envelopes for Aggregate used in Geopier Foundation Construction*. Final Report. Iowa State University.

GeODin[®] 4

ENGINEERED SOFTWARE



SHUTTLE
KOMPAKT
STANDARD
PROFESSIONAL
ENTERPRISE

www.geodin.com

KOSTENLOSE DATENERFASSUNG

Freeware zum Download
Inklusive DIN 4022 Ausdruck und SEP3

DOKUMENTVERWALTUNG

Integration von Berichten, Tabellen, Fotos,
URLs in einer GeODin-Datenbank

GPS FIELDMANAGER

PDA Datenerfassung für GeODin
Erfordert GeODin 4 und Pocket PC

ArcGIS EXTENSION

Dynamisches Arbeiten mit GeODin-Daten
und -Funktionen in ArcGIS

WEBSERVER

GeODin Enterprise mit IIS oder Apache

AKTIONSPREISE

Nur vom 15.09.2004 - 31.10.2004

28. BAUGRUNDTAGUNG

Für weitere Informationen besuchen Sie
uns auf der 28. Baugrundtagung in Leipzig
vom 22. - 25. September
im Kongressfoyer, Saal 2, Ebene +1

Tel.: +49 30 93651 319
Fax: +49 30 93651 300
Email: info@geodin.com
Web: www.geodin.com



FUGRO CONSULT GMBH
Wolfener Straße 36V,
12681 Berlin, Germany