

Gründung mit geokunststoffummantelten Bodensäulen

Das neue Gründungsverfahren „Geokunststoffummantelte Sandsäulen“ kann im Gegensatz zu herkömmlichen Säulengründungen auch in sehr weichen Böden zur Baugrundverbesserung eingesetzt werden, da die radiale Stützung der Säulen durch die Ummantelung im Verbund mit dem umgebenden Boden sichergestellt wird, wobei der Geokunststoff durch Ringzugkräfte beansprucht wird. Das Bauverfahren und wesentliche Hinweise und Parameter für den Entwurf sowie die zur Verfügung stehenden Berechnungsverfahren werden im folgenden erläutert.

1. Einleitung

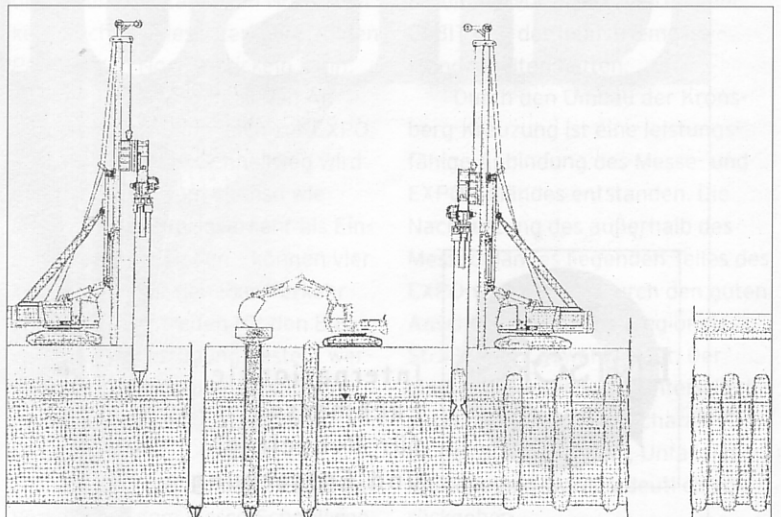
Bei der Gründung von Bauwerken, insbesondere von Verkehrswegen auf weichen Böden, stellen sich für den Ingenieur besondere Probleme, da die zu erwartenden zeitabhängigen Setzungen erhebliche Größenordnungen aufweisen können und die Standsicherheit oftmals nicht ausreichend ist. Im Regelfall steht dem planenden Ingenieur mit den herkömmlichen Säulengründungen wie Schotter-säulen bzw. Stopfsäulen eine bewährte Baugrundverbesserungsmaßnahme zur Verfügung. Diese herkömmlichen Säulengründungen wie z.B. Schotter- bzw. Stopfsäulen können aber in sehr weichen bindigen oder organischen Böden oftmals nicht eingesetzt werden, da eine ausreichende horizontale Stützung der Säulen nicht gegeben ist. Als Anwendungsgrenze wird in der Literatur eine undrained Kohäsion von 15 kN/m^2 angegeben, wobei bei Annäherung an diese Grenze oftmals schon mit erheblichen Setzungen gerechnet werden muss, was bei der Anwendung bedenkliche Auswirkungen haben kann und somit diese fraglich erscheinen lässt.

Um eine sichere und setzungsarme Gründung z.B. von Dämmen beim Vorliegen dieser extremen Baugrundverhältnisse zu ermöglichen, steht nun ein neu entwickeltes Gründungsverfahren zur Verfügung, wobei Sandsäulen bis auf tragfähige Schichten abgeteufelt und mit einem Geokunststoff ummantelt werden, der die Filterstabilität sicherstellt und die horizontale Stützung der Sandsäulen durch den Geokunststoff im Verbund mit dem umgebenden weichen Boden vergrößert.

2. Bauverfahren

Für die praktische Bauausführung wurden von der Firma Möbius Bau-gesellschaft GmbH, Hamburg, zwei Herstellungsverfahren entwickelt, die als Bodenaushubverfahren und Verdrängungsverfahren bezeichnet werden. Der Hauptunterschied der Verfahren besteht in der Herstellung des zur Säulenerstellung notwendigen Hohlraums. Während beim Bodenaushubverfahren eine Verrohrung (i.d.R. ca. 0,8 - 1,5 m) mit Hilfe eines mäklergeführten

Bild 1: Herstellung von geokunststoffummantelten Bodensäulen im Verdrängungsverfahren



Autoren: Dr.-Ing. Marc Raitel, Kempfert + Partner Geotechnik, Mannheim, Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert, Fachgebiet Geotechnik, Universität Gh Kassel



Rüttlers bis in den anstehenden tragfähigen Untergrund eingebracht wird und danach ein Bodenaushub im Rohr erfolgt, wird beim Verdrängungsverfahren ein Stahlrohr mit einem kleineren Durchmesser (i.d.R. ca. 0,6 – 0,8 m) eingebracht, wobei der Boden beim Einrütteln mit Hilfe eines konischen Verschlusses am Rohrfuß zur Seite verdrängt wird (siehe Bild 1).

Der Vorteil des Verdrängungsverfahrens beruht auf der schnelleren und wirtschaftlicheren Herstellung der Säulen und der Einleitung einer Vorspannung im Boden, wobei auch keine Böden ausgebaut und entsorgt werden müssen. Allerdings müssen beim Verdrängungsverfahren die hervorgerufenen Porenwasserüberdrücke und die Verformungen, die durch das zu verdrängende Bodenvolumen bedingt sind, beachtet werden. Ein wirtschaftlicher Nachteil besteht beim Verdrängungsverfahren darin, dass aufgrund der geringeren Säulendurchmesser in der Regel ein Mehrverbrauch an Geokunststoffen bedingt ist, der aber meist durch die schnellere Säulenherstellung kompensiert wird.

Nach dem Einbringen der Verrohrung wird die vorkonfektionierte, entweder rundgewebte oder werksseitig mit einer Naht zu einem Schlauch gefertigte Geokunststoffummantelung (Polyestergewebe) eingelegt. Die Ummantelung weist besonders beim Bodenaushubverfahren in der Regel einen etwas größeren Durchmesser als den Einbaudurchmesser der Säule auf. Dies hat einerseits herstellungstechnische Gründe, andererseits ermöglicht die Aktivierungsaufweitung, d.h. die unter Belastung vor der Aktivierung von Ringzugkräften stattfindende Vergrößerung des Durchmessers der Säule, die sichere Mobilisierung eines Anteils des Erdwiderstandes über den Erdruchdruck hinaus. Nach dem Einlegen der Ummantelung und dem Einfüllen des Säulenmaterials werden die Einbaurohre dann unter

Vibration gezogen, wodurch der Sand in den Säulen verdichtet wird. Weitere Details zur Herstellung siehe [1].

3. Tragverhalten

Die geokunststoffummantelten Sandsäulen werden bis auf eine tragfähige Schicht abgeteufelt und stellen eine steife, tragfähige Komponente dar, die allerdings seitlich gestützt werden muss. Während bei einer nicht ummantelten Säule der nach außen wirkenden Horizontalspannung aus der Säule $\sigma_{h,S}$ eine gleich große Horizontalspannung in der Weichschicht zur Stützung entgegenstehen muss, wird bei einer ummantelten Säule die radiale, horizontale Stützung der Säulen durch die Geokunststoffummantelung $\sigma_{h,geo} = f(F_R)$ im Verbund mit der Stützwirkung der umgebenden Weichschicht $\sigma_{h,B,ges}$ sichergestellt, da die Durchmesservergrößerung der Säule nach dem Erreichen des Einbaudurchmessers der Ummantelung zu Dehnungen im Geokunststoff führt und damit Ringzugkräfte F_R hervorruft. Die jeweilige Größe der auftretenden Ringzugkräfte wird durch das linear-elastische Materialverhalten des Geokunststoffs bestimmt und ist somit direkt von der weiteren Horizontalverformung der Säule abhängig.

Die erforderliche Stützwirkung in der Weichschicht $\sigma_{h,B,ges}$, welche wesentlich von der Größe der Auflastspannung über der Weichschicht $\sigma_{v,B}$ bestimmt wird, wird somit reduziert. Die Auflastspannungen über der Weichschicht werden infolge einer Gewölbewirkung in der Überschüttung vermindert bzw. wird eine Spannungskonzentration über den Säulenköpfen hervorgerufen. Letztlich ergibt sich damit auch ein flexibles und selbstregulierendes Tragverhalten, da sich die Lasten zur Erreichung eines neuen Gleichgewichtszustandes neu umlagern können. Gleichzeitig wird eine Setzungsbeschleunigung durch die Wirkung der Sandsäulen als Vertikal-

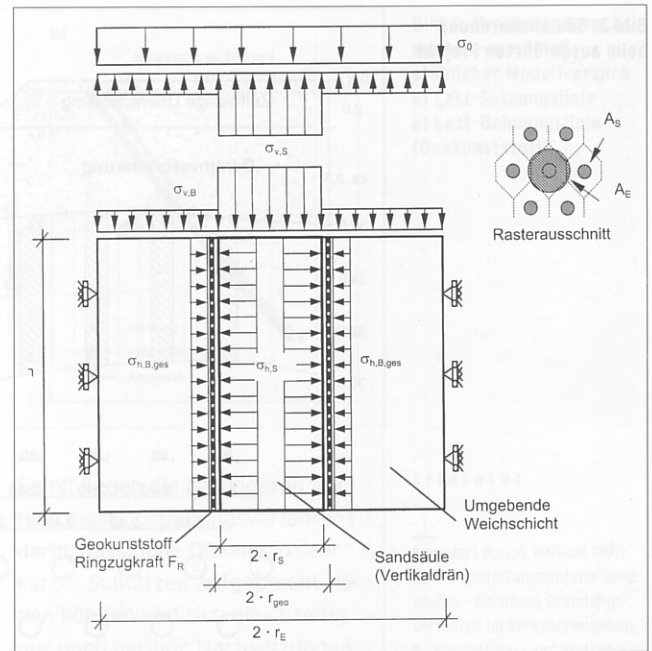


Bild 2: Tragsystem und Berechnungsmodell „geokunststoffummantelte Bodensäule“

dränagen erreicht. Insgesamt ergeben sich infolge der Setzungsreduktion und Setzungsbeschleunigung nach der Bauzeit nur noch geringe Setzungen.

In Bild 2 ist das Tragsystem schematisch für eine Einheitszelle dargestellt. Die Einheitszelle lässt sich durch die Umwandlung der Einflussfläche A_E in einen flächengleichen Kreis definieren (siehe Bild 2 – Rasterausschnitt), wodurch sich ein rotationssymmetrisches Berechnungsmodell ergibt.

4. Ausgeführte Projekte und Messungen

Inzwischen wurde die neue Gründungsform bei ca. 10 – 15 verschiedenen Bauprojekten ausgeführt. Ein Schwerpunkt bei der Anwendung liegt im Verkehrswegebau, wobei das Gründungsverfahren neben Neubaumaßnahmen oft auch bei der Sanierung bzw. beim Ausbau vorhandener Bahn- bzw. Straßendämme eingesetzt wird, da durch die setzungsarme Gründung vorhandene Altdammbereiche nur durch geringe Mitnahmesetzungen belastet werden und bei Anwendung des Bodenaushubverfahrens eine erschütterungsarme Herstellungsweise zur Verfügung steht.

Gründungsverfahren

Bild 3: Säulenordnung beim ausgeführten Projekt

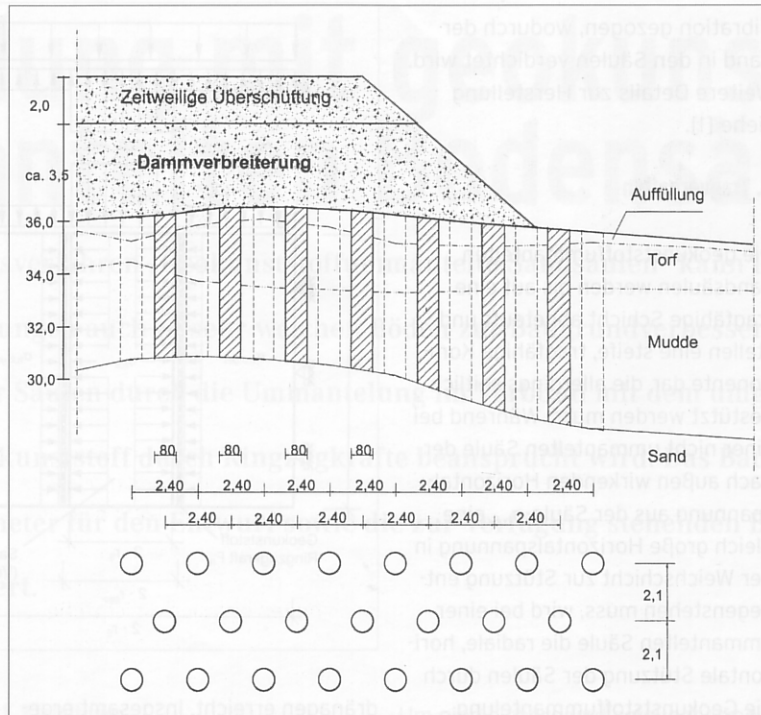
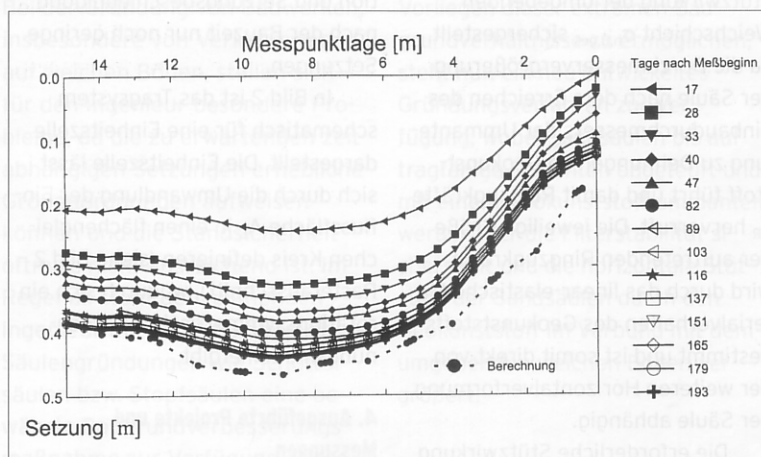


Bild 4: Gemessene Setzungsmulden und Berechnungsergebnisse im Vergleich



Ein weiteres Einsatzgebiet liegt in der Gründung von Küstenschutzmaßnahmen z.B. im Damm- und Deichbau oder auch bei der Verfüllung von Hafenbecken und ähnlichen Projekten, da der Baugrund im norddeutschen und niederländischen Küstenbereich häufig durch mächtige Torf und/oder Kleischichten charakterisiert wird. Die ausgeführten Projekte wurden jeweils intensiv messtechnisch begleitet, wobei das Verformungsverhalten der Gründung durch Inklinometermessungen erfasst wurde. Mittels dieser Feldmessungen können einerseits die Gebrauchstaug-

lichkeit der Gründung nachgewiesen und andererseits die zur Verfügung stehenden Berechnungsverfahren überprüft werden. In Bild 3 ist eine typische Gründungssituation dargestellt. Beim beschriebenen Projekt wurden im Zuge einer Autobahnverbreiterung umfangreiche Baugrundverbesserungsmaßnahmen erforderlich, da unterhalb der geplanten Trasse mächtige Weichschichten aus Torf und Mudde vorlagen. So wurde in einem Teilabschnitt eine 3,5 m hohe Dammerweiterung auf geokunststoffummantelte Sandsäulen gegründet, um die erforderliche Set-

zungsreduktion und Standsicherheit zu erreichen. Die Säulen wurden mit einem Einbaudurchmesser von ca. 80 cm im Verdrängungsverfahren hergestellt. Als Ummantelung kam ein Polyestergerewebe mit einer Steifigkeit von ca. 2000 kN/m und einem Durchmesser von 82 cm zum Einsatz (Weitere Details siehe [2] und [3]).

In Bild 4 sind die anhand von Horizontalinklinometermessungen festgestellten Setzungsmulden unter der Dammverbreiterung zusammen mit dem Ergebnis einer Vergleichsrechnung unter Zugrundelegung der in Abschnitt 5 behandelten Berechnungsverfahren dargestellt.

5. Berechnungsverfahren

Unter Zugrundelegung von Feldmessungen und den Ergebnissen von groß- und kleinmaßstäblichen Modellversuchen [4] wurden im Fachgebiet Geotechnik der Universität Gh Kassel im Rahmen eines Forschungsvorhabens numerische und analytische Berechnungsverfahren [2] [5] entwickelt, um eine praxiserichte Bemessung zu ermöglichen.

Die numerischen Analysen mit dem Programmsystem PLAXIS wurden sowohl unter Zugrundelegung von rotationssymmetrischen, als auch von ebenen Berechnungsmodellen durchgeführt. Da im ebenen Modell die Ummantelung nicht direkt erfasst werden kann, wurden Ersatzbodenparameter hergeleitet, die stellvertretend für das Säulenmaterial verwendet werden können.

Ausgehend von den bekannten Berechnungs- und Bemessungsverfahren für konventionelle Schottersäulen, welche durch die Einbeziehung der Geokunststoffummantelung erweitert bzw. ergänzt wurden, wurde ein analytisches, rotationssymmetrisches Berechnungsmodell entsprechend Bild 2 entwickelt. Die Nachrechnung eines Modellversuches im

Maßstab 1:1 mittels des numerischen und des analytischen Berechnungsverfahrens ist in Bild 5 dargestellt.

Da das entwickelte analytische Berechnungsverfahren aufgrund seiner Komplexität nur unter hohem Berechnungsaufwand eingesetzt werden kann und zweckmäßigerweise mittels eines Berechnungsprogramms angewendet wird, erarbeiteten die Entwickler des Verfahrens außerdem eine vereinfachte analytische Methode. Diese erlaubt mittels einer Handrechnung eine Abschätzung der Setzungen und Ringzugkräfte im Zuge einer Vor-dimensionierung.

Anhand von Parameterstudien kann gezeigt werden, dass die Ringzugkräfte und Setzungen von der Steifigkeit des verwendeten Geokunststoffes und dem gewählten Raster der geokunststoffummantelten Sandsäulen entscheidend beeinflusst werden. Dies ist bestimmend für den Entwurf einer Gründung mit geokunststoffummantelten Sandsäulen, da sich bei einem gegebenen Baugrund und einem festgelegten Geokunststoff ein Mindestraster ergibt, das dem Entwurf zugrunde-zulegen ist.

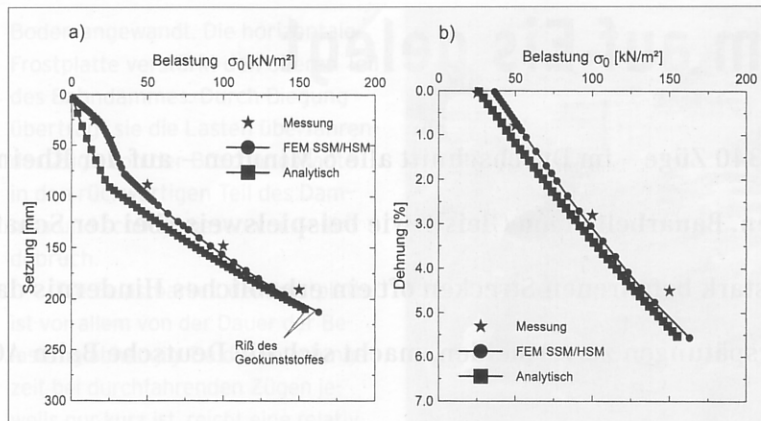


Bild 5: Vergleichsberechnungen - großmaßstäblicher Modellversuch
a) Last-Setzungslinie
b) Last-Dehnungslinie (Geokunststoff)

Für die Bodenkenngrößen gilt, dass die Größe des Steifemoduls die Berechnungsergebnisse ebenfalls maßgebend bestimmt, so dass auf dessen wirklichkeitsnahe Ermittlung größte Sorgfalt zu verwenden ist.

6. Schlußbemerkung

Der Hauptvorteil des Gründungsverfahrens „Geokunststoffummantelte Sandsäulen“ ist, dass dieses Verfahren auch bei sehr weichen, bindigen oder organischen Böden anwendbar ist und dem planenden Ingenieur hiermit eine anwendbare Baugrundverbesserungsmaßnahme zur Verfügung steht. Durch den Einsatz von geokunststoffummantelten Sandsäulen wird einerseits eine Reduktion der Setzungen bei gleichzeitiger Beschleunigung des Konsolidationsvorgangs, andererseits eine Vergrößerung der Gesamtscherfestigkeit des Baugrundes erreicht.

Somit liegen die besonderen Vorteile dieses Gründungsverfahrens darin, dass hohe Dämme in sehr kurzer Schüttzeit aufgebracht werden können und sich gleichzeitig nur noch geringe Nachsetzungen ergeben.

Das System „Geokunststoffummantelte Sandsäulen“ hat sich bei zahlreichen projektbezogenen Anwendungen bewährt. Die Dimensionierung bzw. der Entwurf der Gründung kann mittels geeigneter und überprüfter Berechnungsverfahren vorgenommen werden.

Literatur

- 1 Kempfert H.-G. & Wallis P. 1997: Geokunststoffummantelte Sand-säulen - ein neues Gründungsverfahren im Verkehrswegebau. 5. Informations- und Vortragsver-anstaltung über „Kunststoffe in der Geotechnik“. Sonderheft Geotechnik.
- 2 Raitheil M. 1999: Zum Trag- und Verformungsverhalten von geokunststoffummantelten Sand-säulen. Schriftenreihe Geo-technik. Universität Gesamthochschule Kassel. Heft 6.
- 3 Raitheil, M./Henne J. 2000: Design and numerical calculation of a dam foundation with geotextile coated sand columns; Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement Geosystems, Helsinki.
- 4 Kempfert, H.G./Raitheil, M./Jaup, A. 1999: Model tests for analysis of the bearing and deformation behaviour of column founda-tions; Geotechnical Engineering for Transportation Infra-structure. XIIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amster-dam.
- 5 Raitheil, M./Kempfert, H.-G. 1999: Bemessung von geokunst-stoffummantelten Sandsäulen. Die Bautechnik, 76. Jahrgang, Heft 12.