

Geokunststoffummantelte Säulen: Einflussfaktoren, Nomogramme für den Vorentwurf und Vorstellung eines aktuellen Bauwerks

Dr.-Ing. Dimiter Alexiew

Abteilungsleiter Anwendungstechnik, HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

Dipl.-Ing. Daniel Brokemper

Abteilung Anwendungstechnik, HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

Dr.-Ing. Janusz Sobolewski

Abteilung Anwendungstechnik, HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

KURZFASSUNG

Auf Pfählen oder pfahlähnlichen Traggliedern („Säulen“) gegründete Erdbauwerke haben bezüglich der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und der Bauzeit oft deutliche Vorteile im Vergleich zur herkömmlichen, direkten Gründung auf weichem Untergrund. Insbesondere in sehr weichen Böden ist die Ausführbarkeit und Gebrauchstauglichkeit von Schottersäulen unterschiedlicher Art, wegen der nicht ausreichenden seitlichen Stützung, problematisch. Die sogenannten „geokunststoffummantelten Säulen“ bieten eine inzwischen mehrfach erprobte Alternative an. Dabei wird die Säule von einer hochzugfesten Geotextilummantelung umschlossen und somit ihr Trag- und Setzungsverhalten gesteuert. Wirkungsweise, typische Merkmale, Entwurfsoptionen, Einflussfaktoren und Bemessungsverfahren werden kurz erläutert. Es werden Diagramme vorgestellt, die zu einer Abschätzung / Vorberechnung verwendet werden können und darüber hinaus auch den Einfluss unterschiedlicher Faktoren veranschaulichen. Abschließend wird der Einsatz dieses Systems bei einem aktuellen Projekt aus den Niederlanden vorgestellt.

1. EINLEITUNG

Das deutsche Bauunternehmen Möbius und die HUESKER Synthetic GmbH haben 1994 mit der Entwicklung eines Gründungssystems für Weichbodengebiete begonnen. Ziel war es, eine Alternative zu herkömmlichen Pfahl- und Säulensystemen jeglicher Art zu schaffen und ein Verfahren zur Ausführung von Säulen aus nichtbindigem Material auch in extrem weichen Böden zu entwickeln. Als Grenze für die Ausführbarkeit von Schottersäulen wird

2. GRUNDGEDANKE, WIRKUNGSWEISE, TYPISCHE MERKMALE

Der Grundgedanke des Tragsystems geokunststoffummantelte Säulen ist der Gleiche, wie bei konventionellen auf Pfählen gegründeten Dammbauwerken, nämlich die Aufnahme der Lasten bei Unterkante Damm und deren Durchleitung durch die Weichschichten bis in die tieferliegenden, ausreichend tragfähigen Bodenschichten. Die Wirkungsweise besteht im Wesentlichen darin, dass die seitliche (radiale) Verformung der Säule (Schotter, Kies, Sand etc.) unter Auflast durch eine entsprechend dimensionierte, in Ringrichtung dehnsteife, hochfeste Geotextilummantelung begrenzt wird.

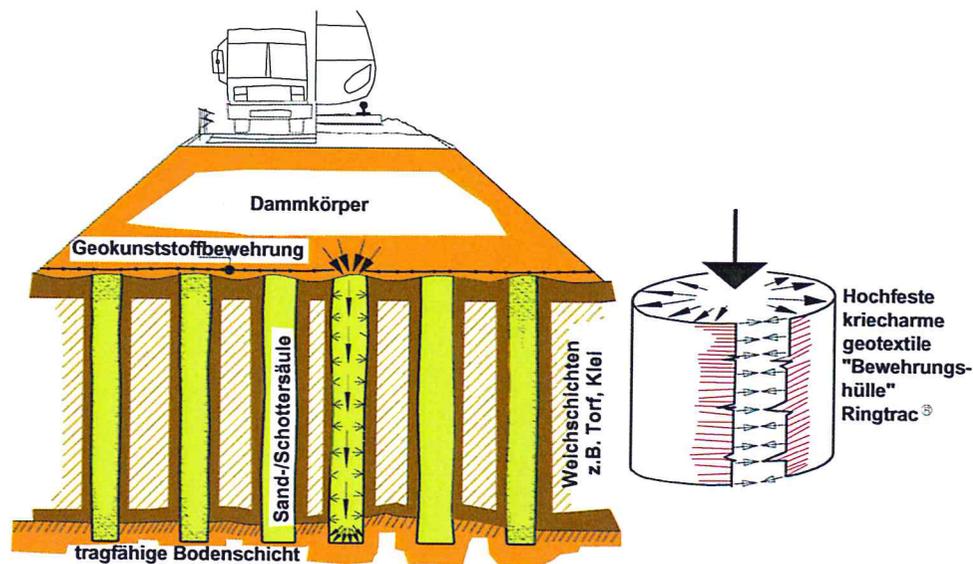


Abb. 1: Funktionsprinzip der geokunststoffummantelten Säulen

Dadurch wird auch die vertikale Verformung der Säule reduziert (und dementsprechend ebenso die Setzung des darauf stehenden Dammkörpers) und deren Tragfähigkeit erhöht. Es werden also bei der Säule ähnliche Verhältnisse wie bei einem Ödometerversuch geschaffen, allerdings wird die seitliche Dehnung nicht verhindert, sondern kontrolliert begrenzt.

Es seien in Kürze die typischen Merkmale des Systems und die Funktionen der Geokunststoffummantelung beschrieben:

1. Die Säule leitet die Lasten über ihre Spitze in die tragfähige Unterlage ein (ist also

5. Die Säule wirkt im meistens wassergesättigten Weichboden zusätzlich als ein Vertikaldrain mit einer sehr hohen Ableitkapazität (gängige Säulendurchmesser liegen bei 0,6 m bis 0,8 m), somit ergibt sich ein sehr schneller Konsolidierungseffekt. Die oben erwähnte „Mobilisierungsssetzung“, welche im Dezimeterbereich liegt, ist meistens schon mit Ende des Dammkörperaufbaus größtenteils abgeschlossen und kann durch eine Schüttüberhöhung bereits beim Aufbau kompensiert werden. Die Setzungen nach Ende des Dammaufbaus sind erfahrungsgemäß sehr gering.
6. Letztendlich ergibt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Auflast auf die Säule, der Steifigkeit und Scherfestigkeit des Säulenfüllmaterials, der Ringzugkraft in der Ummantelung und der Stützwirkung des die Säule umgebenden Weichbodens.

Die primäre Funktion der Geotextilummantelung ist die tragende Funktion. Es handelt sich um eine geotextile Bewehrung, die jedoch nicht wie gängige Geokunststoffbewehrungen großflächig horizontal in der Ebene liegt, sondern vertikal und axialsymmetrisch (ringförmig) wirkt. Entscheidend ist dabei das Verhalten des Geotextils in Ringrichtung. Diese bewehrende Ummantelung ist maßgebend für das Funktionieren des Systems und wird dementsprechend sowohl aus der Sicht der Verformung (Dehnung), wie auch gegen Bruch (Reißen) bemessen. Sekundäre Funktionen der Geotextilummantelung sind die Trennung (verdichtetes Säulenfüllmaterial gegen Weichboden) und das Filtern (s.o. Säule als Großdrainage).

Oft ist es notwendig oder zweckmäßig, über den Säulenköpfen in der Dammaufstandsfläche auch eine horizontale Geokunststoffbewehrung einzulegen, die dem Setzungsausgleich und/oder der Sicherung der globalen Standsicherheit (inklusive Spreizkräfte) des Dammkörpers dient. Diese Lösung ist bekannt aus Dämmen auf „konventionellen“ Pfählen oder Säulen (BS8006 (1995), Alexiew (2004)); bei den GKS kann diese Bewehrung geringer ausfallen, vor allem wegen des duktileren Verhaltens des Systems bzw. der geringeren Spannungskonzentration über den Säulenköpfen (EBGEO 2007).

Somit besteht das Gesamtsystem aus ingenieurtechnischer Sicht aus den Komponenten: Dammkörper, Horizontalbewehrung, Füllmaterial der Säule, Ummantelung der Säule und Weichboden. Es gilt für dieses Gesamtsystem sowohl die Anforderungen der Tragfähigkeit (inklusive Globalstandsicherheit), d. h. GZ 1, wie auch der Gebrauchstauglichkeit, d. h. GZ 2, zu erfüllen. Die globalen Nachweise werden hier nicht näher behandelt (nützliche Hinweise finden sich in (EBGEO 2007) und Priebe (1995,2003)), sondern nur das vertikale Trag- und Verformungsverhalten der Säulen: Die Dammsetzung (Setzung des Säulenkopfes) ist auf das erforderliche Maß zu begrenzen, auch darf die Ummantelung nicht reißen.

Säulendurchmessers (in der Regel 0,6 m bis 0,8 m) und/oder Verkürzung des Säulenabstands (in der Regel 1,5 m bis 2,5 m).

- B. Die Verwendung von qualitativ hochwertigerem Füllmaterial für die Säulen (z. B. Schotter anstelle von Sand).
- C. Die Erhöhung der Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit in der Ringrichtung der Geokunststoffummantelung. Je höher die Ringdehnsteifigkeit, desto geringer ist die Ringdehnung bzw. die Radialdehnung nach außen und dementsprechend kleiner die „Eigenkompression“ der Säule, d. h. die Setzung am Säulenkopf.

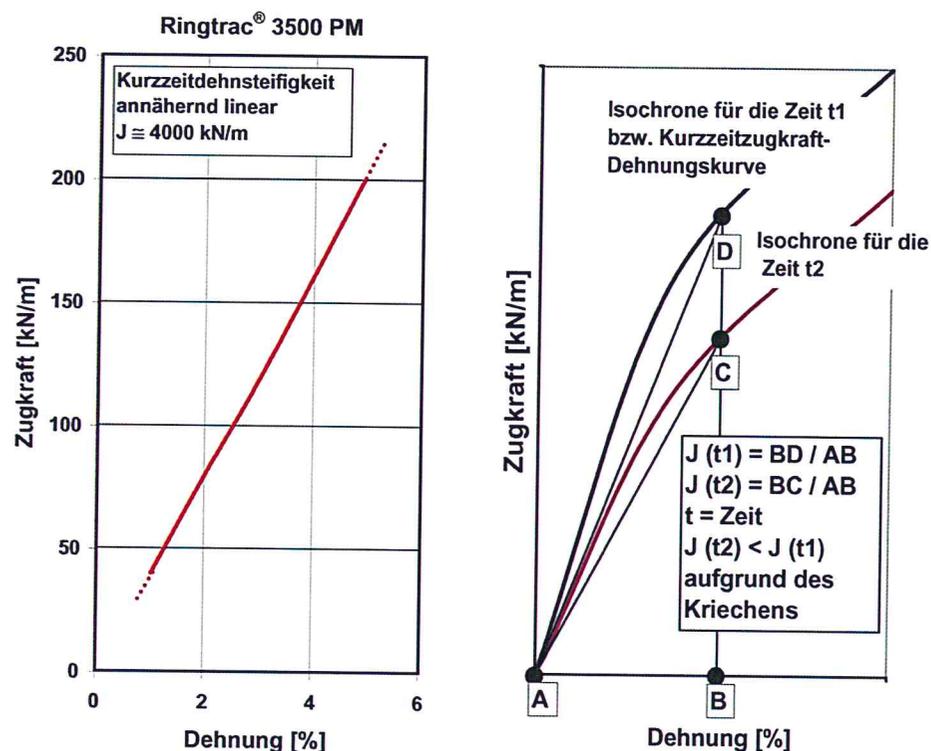


Abb. 2: Typische Kurzzeitzugkraft-Dehnungskurve für Ringtrac® & exemplarische Ermittlung der Kurz- und Langzeitdehnsteifigkeit

Wie später dargestellt, können die Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit der Ummantelung das Verhalten des Systems in signifikanter Weise beeinflussen. In Abb. 2 ist exemplarisch das Kurzzeitdehnungsverhalten eines hochfesten Ummantelungsgeotextils dargestellt, woraus die Dehnsteifigkeit J , kN/m, abgeleitet wird. Für eine korrekte Bemessung wird auch die Langzeitdehnsteifigkeit nach Monaten und Jahren benötigt, die wegen des Polymerkriechens

5. BEMESSUNGSVERFAHREN

Für eine Dimensionierung des Tragsystems „geokunststoffummantelte Säulen“ (GKS, GEC) in vertikaler Richtung sind über die Jahre verschiedene Bemessungsverfahren entwickelt worden. Derzeit kann sowohl auf analytische, als auch auf numerische Bemessungsverfahren zurückgegriffen werden. Ein erstes Verfahren für eine analytische Bemessung der auftretenden Ringzugkräfte bei der vertikalen Lastabtragung der Säule wurde von van Impe (1986) vorgestellt, präzisere analytische Bemessungs- sowie Lösungsansätze unter Verwendung von numerischen Berechnungsprogrammen wurden von Raithel (1999) und Raithel & Kempfert (1999, 2000) entwickelt und erläutert.

Das von van Impe (1986, 1989) vorgestellte Bemessungsverfahren ermöglicht eine Dimensionierung des Ummantelungsgeotextils im Hinblick auf die auftretenden Ringzugkräfte unter der Annahme, dass die gesamte Last über die Säule abgetragen und die gesamte Spannung aus der Säule durch die Ummantelung ohne Mitwirkung des Weichbodens aufgenommen wird. Dabei wird die Dehnung des Ummantelungsgeotextils vereinfachend nicht berücksichtigt. Dementsprechend ergeben sich sehr hohe Ringzugkräfte, auch ist eine Aussage über das Verformungsverhalten des Tragsystems nicht möglich.

Raithel (1999) stellt eine wichtige Weiterentwicklung zur analytischen Berechnung vor. Sie basiert auf einer Berechnungsmethode für Säulen von Ghionna & Jamiolkowski (1981), welche unter anderem eine radiale Stützwirkung des Weichbodens berücksichtigt. Raithel führt eine die Säule umschließende Ringzugkraft ein, welche das Zugkraft-Dehnungsverhalten (die Dehnsteifigkeit) der Geokunststoffummantelung berücksichtigt und nicht nur die Reißfestigkeit. Daher ist es bei diesem Verfahren möglich, die Dehnungen in der Geokunststoffummantelung und somit die Setzung der Säule infolge der Durchmesserergrößerung zu ermitteln. Es werden unter anderem zwei vereinfachte aber vertretbare Ansätze verwendet: Setzungsgleichheit von Säulenkopf und Weichboden, Volumenkonstanz des Säulenfüllmaterials. Weiterführende rechentechnische Empfehlungen finden sich in Raithel (1999) und Raithel et al (2002, 2005).

Die Anwendbarkeit dieses analytischen Bemessungsverfahrens wurde bei ausgeführten Baumassnahmen durch Messprogramme bestätigt. Dieses Bemessungsverfahren dient als Grundlage für den Abschnitt „Geokunststoffummantelte Säulen“ der Neufassung der EBGeo (2007) und kann daher als derzeitiger Stand der Technik angesehen werden.

Eine interessante Erweiterung des Berechnungsmodells, u.a. für undrained Zustände im Weichboden und mit Einsatz des Vakuumverfahrens wurde von Geduhn (2006) vorgestellt.

die Bemessung ideale Geokunststoffbewehrung besäße folgende Eigenschaften (Alexiew et al 1999):

- optimierte Dehnsteifigkeit (ausreichend niedrige Verformungswerte, kompatibel mit den Verformungen im entsprechenden Boden, rasche Mobilisierung der Zugkraft)
- geringe Kriechneigung (hohe Langzeitzugfestigkeit und Dehnsteifigkeit, minimale Kriechdehnung, dauerhaft garantierte Zugfestigkeit)
- hohe Permeabilität (möglichst niedriger hydraulischer Widerstand)
- geringe Neigung zu Beschädigung beim Einbau und der Verdichtung im Kontakt mit den Bodenmaterialien
- hohe chemische und biologische Beständigkeit

Vorteilhaft sowohl aus der Sicht der Reißfestigkeit (Bruchverhalten für GZ 1), wie auch wegen der gleichmäßigen Ringdehnung über den Umfang sind Ummantelungen, die ohne Nähte, Verbindungen, Überlappungen oder ähnliche, potentielle Schwachstellen hergestellt sind.

Bis jetzt erforderten anwendungsbezogene Bemessungen im Allgemeinen Dehnfestigkeiten der Ummantelungsgeotextilien von ca. 1000 bis 4000 kN/m und Zugfestigkeiten von 100 bis 400 kN/m. Bei speziellen Baumassnahmen wurden auch in Ringrichtung Produkte mit höheren Dehnsteifigkeiten und/oder Zugfestigkeiten eingesetzt. Einzelheiten über die Auswahl von Polymeren und der Zugfestigkeit der Ummantelung werden in Alexiew, Horgan & Brokemper (2003) erläutert.

7. VERGLEICHENDE BERECHNUNGEN UND VORBEMESSUNGSNOMOGRAMME

Auf Grundlage des analytischen Berechnungsmodells nach Raihnel (Abschn. 5) wird hier eine Parameterstudie vorgestellt, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Setzungsverhalten des Tragsystems darzustellen. Der Schwerpunkt hierbei liegt in der Variation von zwei Einflussfaktoren: der Dehnsteifigkeit der Geokunststoffummantelung und dem prozentualen Anteil der Säulenfläche zur Gesamtaufstandsfläche, da diese Parameter bei der Bemessung des Tragsystems immer durch den Fachplaner festgelegt werden können. Die Wahl des Säulenfüllmaterials hingegen ist oftmals eine Frage der Verfügbarkeit vor Ort. Auch Geometrie, Wasserstände, Belastungen und Einbaufolge sind

Ummantelungsgeotextils wurde zwischen 1000 kN/m und 4000 kN/m variiert. Als Säulenfüllmaterial wurde ein Sand mit einem effektiven Reibungswinkel von 30° und einer Wichte unter Auftrieb von 9 kN/m^3 gewählt.

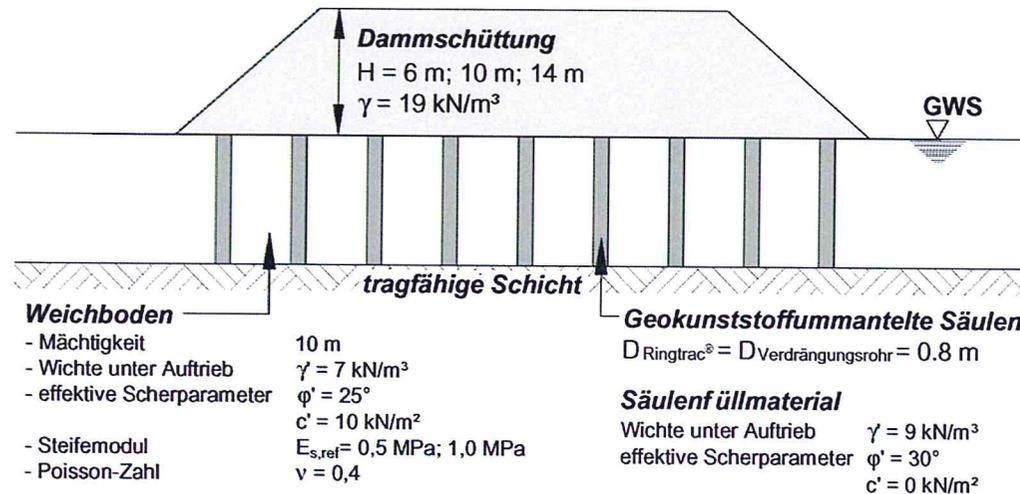
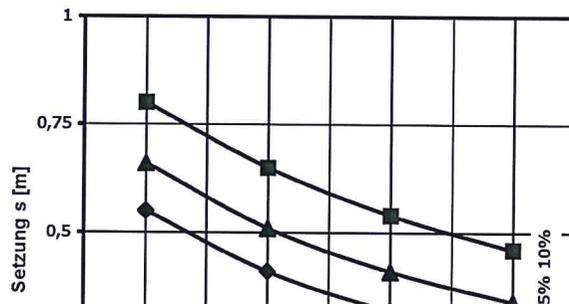
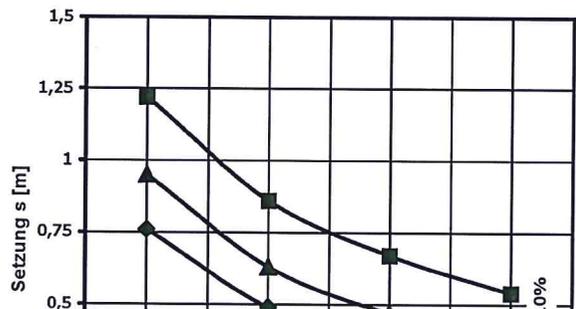
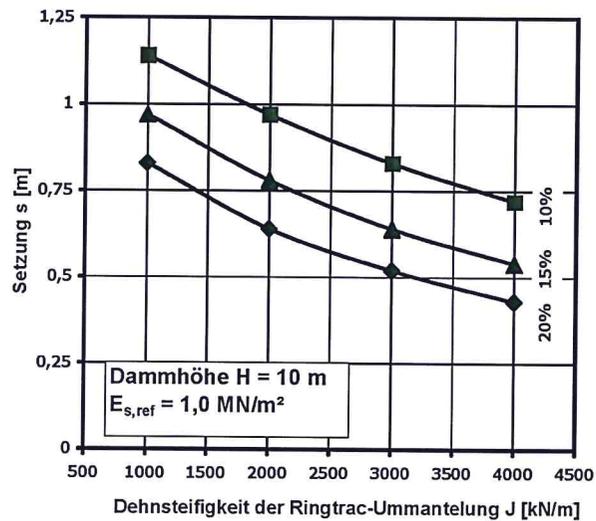
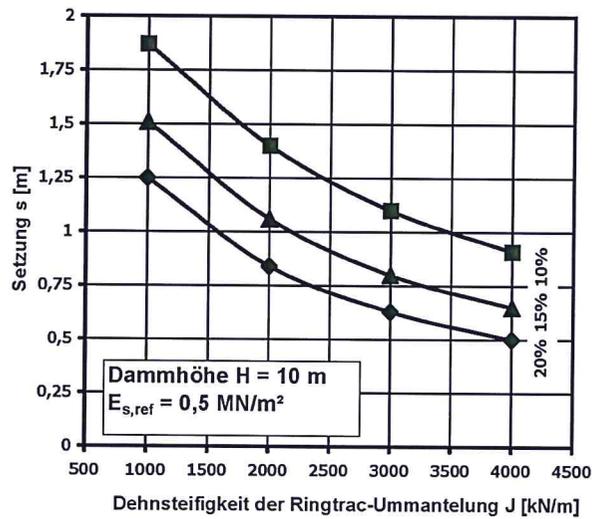
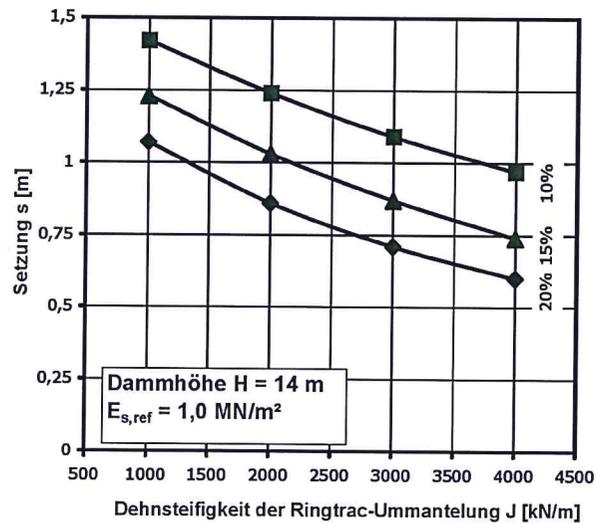
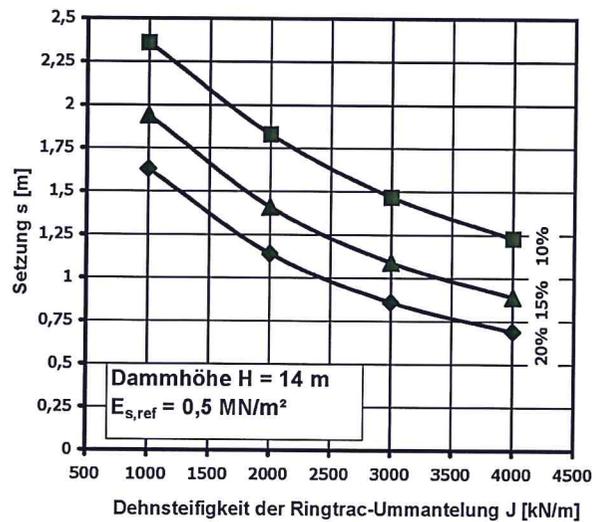


Abb. 3: Übersicht des untersuchten Tragsystems

Die Ergebnisse bezüglich der zu erwartenden Setzungen sind in Abb. 4 dargestellt. Die Diagramme zeigen: die Setzungen s in Säulenkopfebene auf der vertikalen Achse, die Dehnsteifigkeit der Bewehrung J auf der horizontalen Achse und einzelne Graphen für variierende, prozentuale Anteile der Säulenflächen zur Gesamtaufstandsfläche. Über jedem Diagramm sind die Höhe der Dammschüttung und der Referenzsteifemodul des Weichbodens $E_{s,\text{ref}}$ angegeben.

Es ist zu beachten, dass aus Gründen der Vereinfachung und aus Platzmangel nicht alle relevanten Kennwerte variiert werden konnten, wie beispielsweise der Säulendurchmesser, der Durchmesser der Ummantelung, das Herstellungsverfahren, die Scherparameter von Weichboden und Säulenfüllmaterial oder die Lage des Grundwasserspiegels. Die dargestellten Diagramme sollen lediglich einer ersten Orientierung dienen und dem Fachplaner ein Gefühl für das Verhalten dieses Tragsystems im vorliegenden Fall bieten. Es können jedoch einige allgemeine Tendenzen festgestellt werden. Auch wenn sich die meisten dieser Tendenzen mit ingenieurtechnischem Sachverstand vorausahnen lassen, kann erst anhand der Diagramme eine Quantifizierung unterschiedlicher Einflussfaktoren

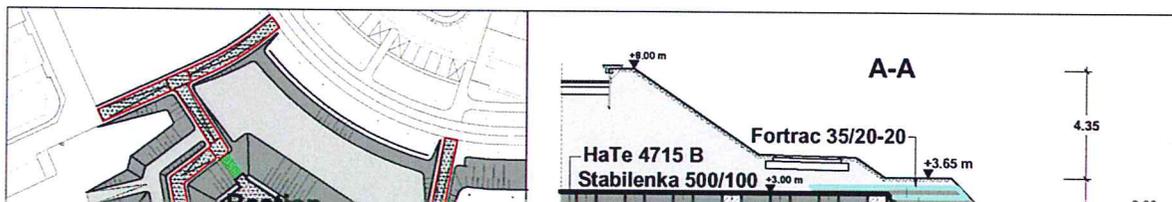


Hierbei ist zu beachten, dass eine Vergrößerung des Verhältnisses zwischen Säulenfläche und Gesamtaufstandsfläche nicht nur einen Mehrverbrauch an Ummantelungsgeotextilien erfordert, sondern üblicherweise auch einen unverhältnismäßig größeren Bauaufwand darstellt. Deswegen wird aufgrund der derzeitigen Erfahrungen normalerweise eher eine größere Dehnsteifigkeit des Ummantelungsgeotextils gewählt, als ein größerer Anteil der Säulenfläche an der Gesamtaufstandsfläche.

Die dargestellten Diagramme ermöglichen auch eine Abschätzung des Einflusses des Kriechens der Geokunststoffummantelung im Hinblick auf zusätzliche Setzung in der Zeit zwischen Fertigstellung und Ende der Gebrauchsdauer (z.B. 100 Jahre). Für ein beliebiges Ummantelungsgeotextil können wie in Abb. 2 dargestellt die Dehnsteifigkeiten $J(t_1)$ und $J(t_2)$ für die entsprechenden Belastungszeiträume den produktspezifischen Isochronen entnommen werden. Aus den in Abb. 4 dargestellten Diagrammen können dann die zu erwartenden Setzungen für diese Dehnsteifigkeiten abgelesen werden. Der Unterschied zwischen den so ermittelten Setzungen ist die Setzungszunahme aufgrund des Kriechens des Ummantelungsgeotextils in dem Zeitraum zwischen t_1 (beispielsweise Ende der Bauphase) und t_2 (beispielsweise die der Bemessung zugrundegelegte Gebrauchsdauer). Weitere Untersuchungen finden sich in Alexiew, Montez & Brokemper (2003).

8. PROJEKTBEISPIEL – BASTIONEN HOUTEN, NL

Im Süden der Stadt Houten in den Niederlanden wurde für die Anbindung eines Neubaugebietes an die umgebende natürliche Landschaft eine architektonisch gestaltete Anlage bestehend aus großangelegten Grünflächen und einem Erdwall geplant. Der seitlich von Westen nach Osten entlang des Neubaugebiets verlaufende Erdwall endet jeweils in größeren Erdbauwerken, den sogenannten Bastionen. Für diese Bauwerke wurden die im Bereich des Neubaugebiets anfallenden, bindigen Lokalböden vorgesehen, welche in den steileren Böschungsbereichen mit Geogittern stabilisiert wurden um die geplante Geometrie der Bastionen realisieren zu können.



m bis 0,8 m im Bereich der Bastion-Ost erwartet. Diese Setzungen gefährdeten eine angrenzende, auf Pfählen gegründete Winkelstützmauer und wären mit einer langandauernden Konsolidierungsphase verbunden gewesen. Diese hätte zu erheblichen Verzögerungen bei dem geplanten Bau von Wegen und Anlagen im Bereich der Bastionen geführt. Darüber hinaus war eine ausreichende Geländebruchsicherheit nicht gewährleistet, wobei große Standsicherheitsdefizite insbesondere aus in der Planung vorgesehenen, wasserführenden Kanälen im Fußbereich der Böschungen resultierten (Abb. 5).

Aufgrund dieser Problematik wurden verschiedene alternative Konzepte für die Gründung der Bastionen untersucht, beispielsweise eine konventionelle Gründung auf Pfählen oder ein vollständiger Austausch der anstehenden Klei- und Torfböden. Letztendlich wurde das Gründungssystem „geokunststoffummantelte Säulen“ als technisch und wirtschaftlich am besten geeignete Lösung ausgewählt.

Die Randbedingungen für die Dimensionierung des hier eingesetzten Tragsystems ergaben sich, neben der Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit für die Gründung der Bastionen, vor allem aus der Begrenzung der Setzungen auf ein Maß, welches für die angrenzenden Bauwerke unschädlich ist und einer Beschleunigung des Setzungsverlaufs, um die folgenden Arbeiten in diesen Bereichen ohne größere Verzögerung ausführen zu können.

Es wurden unter Verwendung des analytischen Berechnungsmodells nach Raithel (Absch. 5) durch Variation von Säulendurchmesser und Säulenabstand sowie der Dehnsteifigkeit und der Zugfestigkeit der Ummantelung in Ringrichtung verschiedene Ausführungsmöglichkeiten des Tragsystems für Bastion-West und Bastion-Ost untersucht, welche die oben aufgeführten Anforderungen gleichermaßen erfüllten.

Bauwerk:	Bastion-West	Bastion-Ost
Dammhöhe	5.5 m	5.5 m
Schüttmaterial	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3 / \varphi' = 20^\circ / c' = 2 \text{ kN/m}^2$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3 / \varphi' = 20^\circ / c' = 2 \text{ kN/m}^2$
Verkehrslast	20 kN/m ²	20 kN/m ²
Weichschicht:	Klei und Torf	Klei
Mächtigkeit	8.5 m	3.0 m
Kennwerte der Weichschicht	$\gamma = 14 \text{ kN/m}^3 / \varphi' = 17^\circ / c' = 2.5 \text{ kN/m}^2$ $E_{s,\text{pref}} = 2000 \text{ kN/m}^2$ ($p_{\text{ref}} = 100 \text{ kN/m}^2$)	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3 / \varphi' = 22,5^\circ / c' = 2 \text{ kN/m}^2$ $E_{s,\text{ref}} = 3000 \text{ kN/m}^2$ ($p_{\text{ref}} = 100 \text{ kN/m}^2$)
Grundwasserstand	2.0 m unter GOK	-
Gründungssystem:	geokunststoffummantelte Sandsäulen	geokunststoffummantelte Sandsäulen
Säulenraster	 $s = 2.00 \text{ m}$ $d_c = 0.80 \text{ m}$	 $s = 2.30 \text{ m}$ $d_c = 0.80 \text{ m}$

Letztendlich zeigte sich bei beiden Bastionen aus technologischen Gründen die Verwendung von Säulen mit einem Durchmesser von 0,80 m, und einer Ringtrac® Ummantelung aus Polyvinylalkohol (PVA), als die am besten geeignete Lösung. Variiert wurden lediglich der Abstand der Säulen im Dreiecksraster und die Zugfestigkeit und Dehnsteifigkeit der Ummantelung. Dammhöhe, Bodenkennwerte, Vorgaben sowie die endgültige Lösung sind in Tabelle 1 dargestellt

Neben der Konfiguration des Tragsystems im Hinblick auf die zulässigen Setzungen („vertikales“ Tragverhalten, s. Abschnitt 3) wurden globale Standsicherheitsberechnungen für die Bastionen durchgeführt. Hierbei wurde eine Verbesserung der Scherfestigkeit in den anstehenden Lokalböden aufgrund der geplanten Säulenherstellung mit dem Bodenverdrängungsverfahren berücksichtigt. Weiterhin wurden für die mit den ummantelten Säulen verbesserte Weichbodenschicht mittlere Kennwerte für Wichte und Scherfestigkeit ermittelt, wobei auch die Spannungskonzentration über den Säulen berücksichtigt wurde. Um eine ausreichende Sicherheit gegen Geländebruch zu erreichen, musste jedoch zusätzlich eine Geokunststoffbewehrung an der Dammbasis vorgesehen werden. Das hierfür eingesetzte, hochzugfeste Stabilenka®-Geotextil aus Polyester (PET) diente außerdem zur Unterstützung der Lasteinleitung in die geokunststoffummantelten Sandsäulen und zu einem Setzungsausgleich zwischen Weichboden und Säulen.

Insgesamt wurden 780 Säulen für die Gründung der beiden Bauwerke eingebaut, wobei der Einbau zügig und problemlos im Spätsommer 2005 erfolgte.

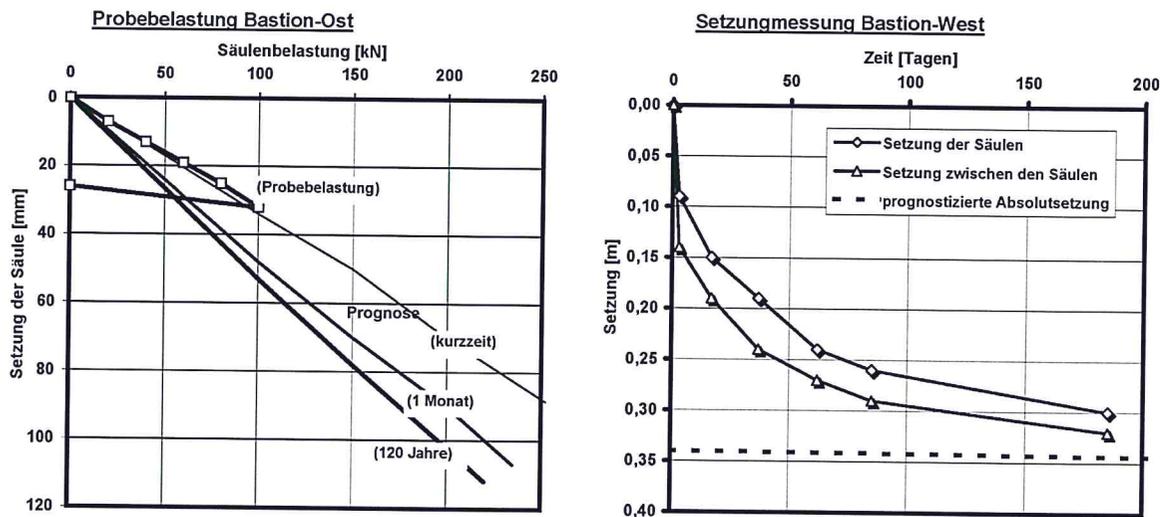


Abb. 6: Probebelastung Bastion-Ost

Säulen angeordnet. Wie in Abbildung 6, rechts dargestellt, zeigen auch die Ergebnisse dieser Setzungsmessung eine gute Übereinstimmung mit den prognostizierten Werten und bestätigen den Ansatz des analytischen Berechnungsmodells (Abschn. 5), dass zwischen Säule und Weichschicht keine größeren Setzungsunterschiede zu erwarten sind.



Abb. 7: Herstellung der GKS (GEC) im Bereich der Bastion-Ost



konnten die Setzungen reduziert und der Setzungsverlauf sowie der Porenwasserdruckabbau beschleunigt werden.

Insbesondere durch den Einsatz von sehr dehnsteifen Ringtrac®-Ummantelungen aus Polyvinylalkohol (PVA) konnte für diese Baumassnahme ein sehr effizientes Gründungssystem ausgeführt werden.

Die begleitenden Messungen zeigen, dass die zur Verfügung stehenden, analytischen Bemessungsmethoden eine hinreichend genaue Prognose der zu erwartenden Setzungen sowie der Anforderungen an die Geokunststoffummantelung ermöglichen.

Obwohl die Setzungsmessungen nach ca. 6 Monaten wegen der offensichtlichen Einhaltung der Vorgaben abgebrochen wurden, sind visuell nach mehr als einem Jahr keine unzulässigen (gleichmäßigen oder ungleichmäßigen) Verformungen feststellbar, dies gilt auch für sensible Bereiche wie z.B. Treppen und Anschlüsse an gemauerte Bauwerke.

9. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das Tragsystem „geokunststoffummantelte Säulen“ (GKS bzw. GEC) für die Gründung von Dammbauwerken auf weichem Untergrund wurde im Laufe der letzten 10 Jahre inklusive Herstellungsverfahren und ausreichend präzisen, verifizierten Bemessungsverfahren sowie entsprechenden dehnsteifen Ummantelungsgeotextilien entwickelt. Dieses Gründungsverfahren ist eine effiziente Alternative zu den herkömmlichen Pfahl- and Säulensystemen. Aufgrund der Ummantelung der Sand- oder Schottersäulen kann dieses Tragsystem auch in sehr weichen Böden mit einer undränierten Scherfestigkeit von $c_u \leq 2$ kN/m² ausgeführt werden.

Das Tragsystem kann inzwischen als weitestgehend ausgereift bezeichnet werden. Es ist eine Vielzahl von unterschiedlich dehnsteifen, kriecharmen Ummantelungsgeotextilien erhältlich (Huesker 1997-2006), wodurch eine projektspezifische Optimierung der Tragfähigkeit und der Setzung durch Variation der Dehnsteifigkeit der geotextilen Ummantelung und des Verhältnisses von Säulenfläche zur Gesamtaufstandsfläche der Dammgründung möglich ist. Aufgrund der Verwendung von kriecharmen Polymeren bei der Herstellung der (nahtlosen) Ringtrac®-Ummantelung bewegt sich die Setzung resultierend aus dem Kriechen des Ummantelungsgeotextils während der Gebrauchsdauer auf einem vernachlässigbaren Niveau. Viele erfolgreiche Projekte bei unterschiedlichen Untergrundbedingungen und Herstellungstechniken wurden bisher geplant und ausgeführt, darunter auch das hier kurz vorgestellte Projekt „Bastionen Houten“.

LITERATUR

- Alexiew D., Sobolewski J., Pohlmann H. (1999): Projektbezogene Anwendungsmöglichkeiten von Geogittern aus neuartigen Polymeren. 6. Inform.- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik (K-Geo), München. Sonderheft "Geotechnik". DGGT, Essen. S. 199-206.
- Alexiew D., Horgan G.J., Brokemper, D. (2003): Geotextile Encased Columns (GEC): load capacity & geotextile selection. BGA International Conf. on Foundations, Dundee. S. 81-90.
- Alexiew D. (2004): Geogitterbewehrte Dämme auf pfahlähnlichen Elementen: Grundlagen und Projekte. Bautechnik 81, Ernst & Sohn, Berlin. S. 710-716.
- Alexiew D., Brokemper D., Lothspeich S. (2005): Geotextile Encased Columns (GEC): Load Capacity, Geotextile Selection and Pre-Design Graphs. Geofrontiers 2005, Austin.
- BS 8006 (1995): Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. British Standard Institution, 1995.
- EBGEO (2007): Empfehlungen für Bewehrungen mit Geokunststoffen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Essen (in Vorbereitung).
- Geduhn M. (2006): Geokunststoffummantelte Vakuumsäulen – Ein Gründungsverfahren für sehr weiche Böden. Mitteilungen aus dem Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik, Band 32, Universität Duisburg-Essen.
- Ghionna V., Jamiolkowski M. (1981): Colone di ghiaia. X Ciclo di conferenze dedicate ai problemi di meccanica dei terreni e ingegneria delle fondazioni metodi di miglioramento dei terreni, Politecnico di Torino Ingegneria, Atti dell'istituto di scienza delle costruzioni, Nr. 507.
- HUESKER Synthetic GmbH (1997 – 2006): Ringtrac® & Ringtrac® PM Produkte. Datenblätter und Kennwerte, Gescher.
- Kempfert H. G., Möbius W., Wallis P., Raithel M., Geduhn M. and McClinton R.G. (2002): Reclaiming land with geotextile encased columns. Geotechnical Fabrics Report, Vol. 20, Nr. 6. S. 34-39.
- Nods M. (2002): Put a sock in it - geotextile encased sand columns are preventing settlement of a high speed railway embankment in the Netherlands. Ground Engineering, Vol. 35, Nr. 12. S. 25.
- Priebe H. (1995): Die Bemessung von Rüttelstopfverdichtungen. Bautechnik 72, Ernst & Sohn Verlag, Berlin. S. 183-191.
- Priebe H. (2003): Zur Bemessung von Rüttelstopfverdichtungen. Bautechnik 80, Ernst & Sohn Verlag, Berlin. S. 380-384.
- Raithel M. (1999): Zum Trag- und Verformungsverhalten von geokunststoffummantelten Sandsäulen. Schriftenreihe Geotechnik, Heft 6, Universität GH Kassel, 1999.
- Raithel M., Kempfert H.G. (1999): Bemessung von geokunststoffummantelten Sandsäulen. Bautechnik 76, Ernst & Sohn, Berlin, S. 983-991
- Raithel M., Kempfert H.-G. (2000): Calculation models for dam foundations with geotextile-coated sand columns. Proc. GeoEng 2000. Melbourne.