Sektionen Dr.-Ing. Hartmut Brühl, Direktor und Leiter der Abteilung Technik der KfW-Bankengruppe, einstimmig zu einem der vier Vizepräsidenten des Verbandes für die nächsten vier Jahre gewählt.

PIANC – gegründet 1885 – ist eine der ältesten technisch-wissenschaftlichen Vereinigungen weltweit und befasst sich mit Fragen auf den Gebieten des Hafen- und Wasserstraßenbaus sowie der Schiffahrt im See- und Binnenbereich. Ihr gehören derzeit mehr als 2.500 Mitglieder aus 60 Ländern an. 40 Staaten entsenden offizielle Delegationen. Auch die Bundesrepublik Deutschland fördert ihre Arbeit als Mitglied und in Würdigung der Zielsetzungen des Verbandes durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen, Wasserstraßen.

Dr. Brühl ist im Rahmen seiner Tätigkeit als Direktor und Leiter der Abteilung Technik in der KfW-Bankengruppe, der Förderbank des Bundes und der Länder, Mitglied der offiziellen deutschen PIANC-Delegation sowie deutscher Vertreter in der Kommission für Zusammenarbeit und Entwicklung. Seine Wahl zum Vizepräsidenten – mit ihm wurde erst zum dritten Mal seit 1952 ein deutscher Vertreter in dieses oberste Entscheidungsgremium gewählt – spiegelt die Wertschätzung der Delegierten für seine bisherige Arbeit in diesem Verband und für seine fachlichen Erfahrungen und Kompetenzen wider. Dr. Brühl ist auch Mitglied des Beirats der Deutschen Gesellschaft für Wasser, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK) und Mitglied des Arbeitskreises Consulting in der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. (HTG). Entsprechend seiner langjährigen internationalen Tätigkeiten – zunächst in einer großen deutschen Consulting-Firma und in einer UNDP-Funktion sowie jetzt in der KfW-Bankengruppe – wird Herr Dr. Brühl als neuer Vizepräsident von PIANC insbesondere Impulse für eine verstärkte internationale Zusammenarbeit sowie für wirtschaftliche und finanzielle Aspekte in den Arbeitsgebieten des Verbandes geben.

Ports and Habitats – Partners in development

Seminar: Thursday 20 March 2003

This Seminar is targeted at stakeholders involved in issues of port expansion. Invited to attend are:

- Port Managers and Operators
- Environmental Consultants
- Politicians
- Authorities
- NGOs
- Research Institutes
- Contractors

The Programme is of special interest for European ports and especially those that are in the proximity of estuaries, deltas or other coastal habitats. The Seminar will focus on implementation aspects of the EU Habitat Directive.

Issues at Stake – Requirements of the Habitats and Birds directives are important factors that determine the studies and preparatory decision-making for port expansion in, or in the proximity of, protected nature.

The requirements from these directives have consequences for the organisations responsible for the implementation of port extension projects and for contractors. This particularly concerns the mitigation of impacts and the provision of compensation areas with the same type of nature.

This conference will focus on the problems and solutions that contractors and project organisations encounter in their work. Also views and roles of other entities, like Member States and Regional Authorities, the European Commission and NGOs will be presented. The issues that will be addressed cover:

- Project organisation and experience
- Innovative solutions for mitigation and compensation
- Monitoring and evaluation
- Management schemes

Seminar language: English. Venue: Hadewijch Auditorium, Hendrik Conscience Gebouw, Koning Albert II Laan, 15, BE 1210 Brussels, Belgium. Registration fee: 200,00 Euro (Includes Lunch and refreshments)

Ports and Habitats – Partners in Development is organised by PIANC, International Navigation Association, EuDA, European Dredging Association, IMI, Institute for Infrastructure, Environment and Innovation with the support of ESPO, European Sea Ports Organisation.

For further information contact PIANC - International Navigation Association, Graaf de Ferraris, 11th floor, POB 3, Bld. du Roi Albert II, B-1 000 Brussels, Tel: +32 (0)2 553 71 60, Fax: +32(0)2 553 71 55, E-mail: info@pianc-aipcn.org, www.pianc-aipcn.org

Background information is given on the following websites: www.european-dredging/info.be, www.imiparalianature.org, www.espo.be ❑

Deichgründung auf Geokunststoff-ummantelten Sandsäulen

Werner Möbius, Peter Wallis, Marc Raithel, Hans-Georg Kempfert, Magnus Geduhn

Im Gegensatz zu konventionellen Säulengründungen, wie z. B. Rüttelstopfsäule, kann das Gründungssystem »Geokunststoffummantelte Sandsäulen (System Möbius) GSM« in sehr weichen bindigen, gering wasserdurchlässigen Böden (z.B. Schlick, Klei, Mudde) eingesetzt werden. Seit 1996 wurde dieses Gründungsverfahren bereits in zahlreichen Verkehrwegebauprojekten (Straße und Schiene) in Deutschland, Schweden und Holland eingesetzt. In Zukunft kann dieses Gründungsverfahren weltweit für Wasserbau-, Landgewinnungs- und Verkehrsprojekte in und auf weichen bindigen Böden zur Anwendung kommen. Die Fa. Josef Möbius Bau-Gesellschaft GmbH & Co. in Hamburg besitzt das internationale Patent für dieses neue Gründungssystem.

1 Tragsystem »Geokunststoff-ummantelte Säulen«

Das Tragsystem GSM/GEC wird in einem gleichmäßigen Säulenraster hergestellt. Der Durchmesser der Säule und der Geokunststoffummantelung beträgt ca. 0,80 m. Der Abstand zwischen den Säulen beträgt i.A. zwischen 1,70 m und 2,40 m. Bei Betrachtung einer Einzelsäule in einem fiktiven unendlich ausgedehnten Säulenfeld ergibt sich eine sogenannte »Einheitszelle«. In Abb. 1 ist das beschriebene Konzept verdeutlicht dargestellt. A_S ist hierbei die Säulenfläche und A_E die Einflussfläche eines zugehörigen hexagonalen Elementes in einem Dreiecksraster, welches in eine äquivalente Kreisfläche umgewandelt werden kann.

Summary

»Emerging new technologies are inherent throughout the world today as strides are made to improve upon existing products and methodologies. This is also true within the geosynthetics field as land values and construction cost continue to rise, which challenges today's geotechnical engineers to embark on new technologies and products that they have very little working knowledge. The following article presents a new foundation technology that is being used in Europe in water and land engineering projects in very soft soils and will soon be used on a project here in the United States. This new foundation system 'Geotextile-Encased Columns' (GEC) was used to construct a dike on very soft sludge for land reclamation at the Elbe River in Hamburg, Germany. This foundation bearing system is a further development of the familiar column foundations such as vibro displacement piles and granular piles.«

Von der Josef Möbius Bau-Gesellschaft GmbH & Co. wurden zwei Einbauverfahren zur Säuleneinbringung entwickelt: Das Aushub- und das Verdrängungsverfahren. In der Praxis hat sich das Verdrängungsverfahren als das wirtschaftlichere und umweltfreundlichere Verfahren durchgesetzt. Dabei wird ein Stahlrohr durch zwei bewegliche Klappen verschlossen und die Säule durch Rüttelwirkung bis auf einen tragfähigen Bodenhorizont (z.B. Sand) abgeteuft. Im Anschluss wird die rundgewebte Geokunststoffummantelung RINGTRAC© eingehangen und die Hülle im Rohr mit einem nichtbindigen Bodenmaterial (z.B. Sand oder Kies) befüllt. Die Lagerungsdichte des Einfüllmaterials ist nach Abschluss der Befüllung locker. Durch ein anschließendes Ziehen der Verrohrung unter Rüttelwirkung (die beiden Bodenklappen öffnen sich automatisch, s. Abb. 8) wird eine Geokunststoffummantelte Säule mit mitteldicht gelagertem, nichtbindigem Bodenmaterial hergestellt.

2 Berechnungsmodell

Im Gegensatz zu konventionellen Säulengründungen können Geokunststoffummantelte Säulen als Bodenverbesserung und Tragsystem in sehr weichen bindigen Böden eingesetzt werden, da die radiale horizontale Stützung durch die Geokunststoffummantelung sichergestellt wird. Bei einer nicht ummantelten Säule muss die horizontale Stützung aus der umgebenden Weichschicht gleich der horizontalen Spannung in der Säule sein. Bei einer ummantelten Säule kann die horizontale Stützung aus der umgebenden Weichschicht, infolge des unterstützenden Effektes der Geokunststoffummantelung der Säule, um ein vielfaches geringer sein.

In Abb. 1 wird das Berechnungsmodell mit einer Horizontalspannung in der Säule $\sigma_{h,S}$, infolge einer vertikalen Überlagerungsspannung oberhalb der Säule dargestellt. Zudem ist der horizontale Erddruck $\sigma_{h,S,tot}$ als Folge der vertikalen Überlagerungsspannung oberhalb der Weichschicht ersichtlich. Infolge des erforderlichen Spannungsgleichgewichtes wird eine horizontale Differenzspannung erzeugt. Diese Differenzspannung erzeugt aufgrund ihrer Richtung eine Ausbauchung der Säule, wodurch wiederum in der Geokunststoffummantelung eine Ringzugkraft FR aktiviert wird. Diese Ausbauchung in Richtung der Weichschicht führt gleichzeitig zu einer Teilmobilisierung des horizontalen Erdwiderstandes in der Weichschicht. Als Resultat wird eine Konzentration der Lasten auf die Säule und eine Entlastung der Weichschichten erzeugt. Infolge dieses Tragmodells handelt es sich bei dem beschriebenen Tragsystem um ein selbstregulierendes flexibles Gründungssystem.

Auf der Basis der bekannten Bemessungsverfahren für Kies- und Schottersäulen wurde ein analytisches Berechnungsmodell nach Raithel (1999) entwickelt, worin die Wirkung der Geokunststoffummantelung einbezogen ist. Mehr Details dazu in [2] und [3].

3 Landgewinnung

3.1 Projekt und Baugrundbedingungen

Die Landgewinnung von rund 140 ha zur Werkserweiterung der AIRBUS-Industrie (European Aeronautic Defence and Space Company EADS) in Hamburg Finkenwerder wurde bereits in HANSA 2001 in [4] und [5] ausführlich beschrieben. Die undränierten Scherfestigkeiten der weichen bindigen Böden im Bereich der zu erstellenden Deichtrasse war über die Tiefe zunehmend und betrug zwischen 0,4 und 10,0 kN/m². Aus diesem Grunde kam eine konventionelle Gründung des Deiches mit Schotter- oder Kiessäulen

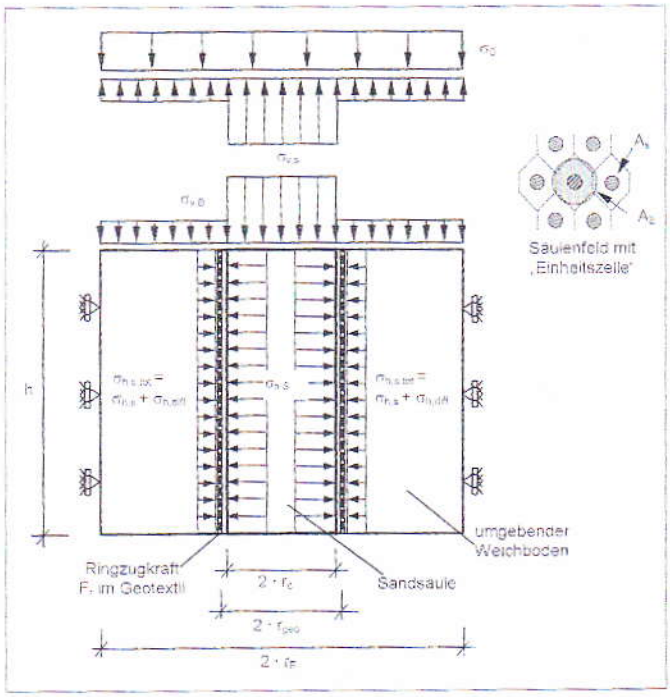

Abb. 1: Berechnungsmodell

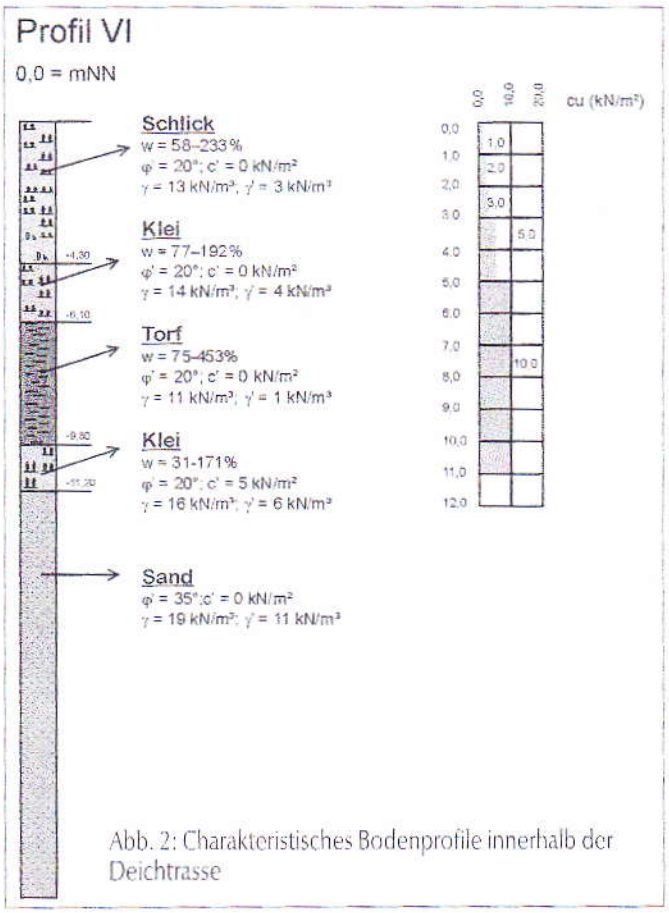

Abb. 2: Charakteristisches Bodenprofile innerhalb der Deichtrasse

nicht in Betracht, weil die erforderliche horizontale Stützung des Bodens für eine nicht ummantelte Säule in diesen Böden nicht gegeben war.

Ein Bodenaushub des z.T. kontaminierten Schlick- und Kleibodens wurde aus wirtschaftlichen Aspekten verworfen. Eine Weichboden- bzw. Schlickverdrängung wurde aus umweltrelevanten Aspekten ausgeschlossen. In Abb. 2 ist ein typisches Bodenprofil innerhalb der Deichtrasse mit Angabe der undränierten Scherfestigkeiten dargestellt. Die charakteristischen Bodenkennwerte sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Bodenart	*γ'/γ in kN/m³*	*w in %*	*φ' in [°]*	*c' in kN/m²*	*E_s 1) in kN/m²*	*c_v [m²/a]*
Schlick	6/16	60–230	20,0	0	600	0,35
Klei	4/14	70–200	20,0	0	450	0,35
Torf	1/11	75–450	20,0	0	550	≥ 0,40
Füllsand	10/18	10–30	32,5	0	30.000	∞

1) bei Referenzspannung pref=100 kN/m²

Tabelle 1

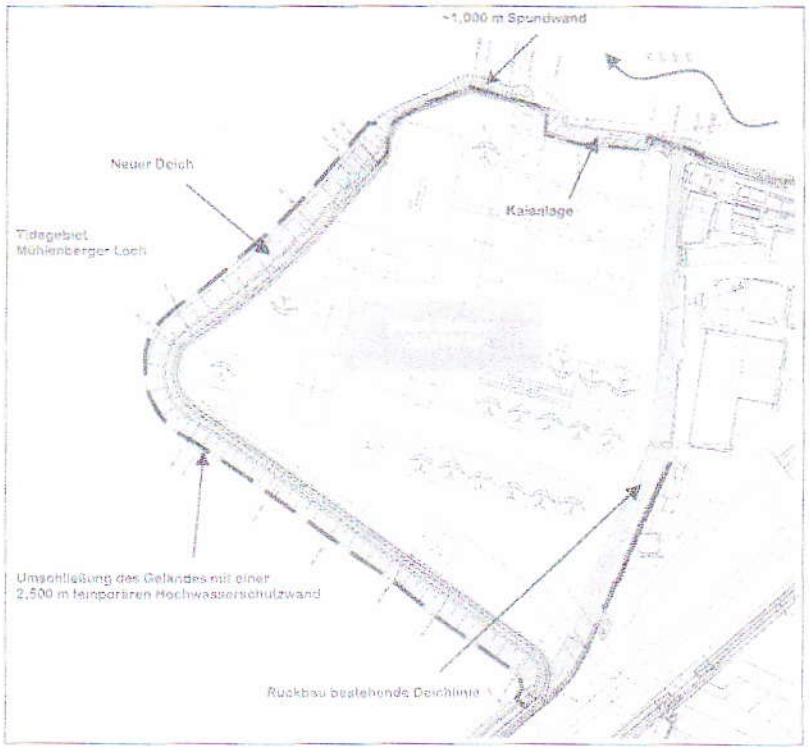

Abb. 3: Amtsentwurf Landgewinnung auf weichen Böden durch Polderumschließung

3.2 Amtsentwurf

Die zu erschließende Werkserweiterungsfläche liegt direkt an der Elbe und unterliegt dem Tideeinfluss. Die Baufläche fiel im Zuge der Tide zwei mal am Tage trocken. Der Amtsentwurf sah die Errichtung eines Polders vor, um in der eingeschlossenen Fläche einen konstanten Wasserstand zu erreichen (s. Abb. 3). Nur aufgrund des konstanten Wasserstands innerhalb des Polders war der Einbau der ersten Sandschichten unter Auftrieb in dünnen Schichtstärken über Verrieseln und Versprühen möglich. Zur Umsetzung der Polderumschließung wurde eine rund 40 m tiefe temporäre Spundwand ausgeschrieben, die mit Pfählen rückverankert werden sollte. Innerhalb der Fläche lagen Weichschichtmächtigkeiten von i.M. 8 bis 14 m vor, die zeitweise mit bis zu 11 m hohen Sandaufschüttungen belastet wurden. Nach Abschluss der Umschließungs- und Flächenaufhöhungsarbeiten und nach Ende der Konsolidationszeit (ca. drei Jahre) sollte im Schutze der Spundwand die spätere Hochwasserschutzlinie in Form eines Deiches errichtet werden. Nach Erreichen der Endhöhe des Deiches auf ca. +9 mNN sollte die Spundwand rückgebaut (abgebrannt) und die bestehende rückwärtige Deichlinie zurückgebaut werden.

3.3 Sondervorschlag

Die Fa. Josef Möbius Bau-Gesellschaft GmbH & Co. reichte einen Sondervorschlag ein, worin die Polderumschließung unmittelbar mit einem Deichbauwerk, gegründet auf dem Gründungssystem Geokunststoffummantelte Sandsäulen (GSM), realisiert werden sollte. Die Spundwandeinbringung konnte somit entfallen und der Deich sofort errichtet werden. In Abb. 4 ist der Regelquerschnitt für den oben beschriebenen Sondervorschlag dargestellt.

Die Sandsäulen unterhalb der Deichaufstandsfläche wurden mit dem Verdrängungsverfahren in den Weichboden eingebracht. Im Vergleich zum Amtsentwurf konnte mit Hilfe dieses Sondervorschlages eine große Sandmenge auf Grund der steileren Deichböschungen und einer großen Setzungsreduktion eingespart werden. Zudem konnte ein hochwassersicherer Deich innerhalb von acht Monaten Bauzeit hergestellt werden. Weitere Vorteile des Sondervorschlages im Vergleich zum Amtsentwurf sind nachfolgend aufgeführt:

- Einsparung von rund 35.000 t Stahl, durch den Entfall einer Spundwand

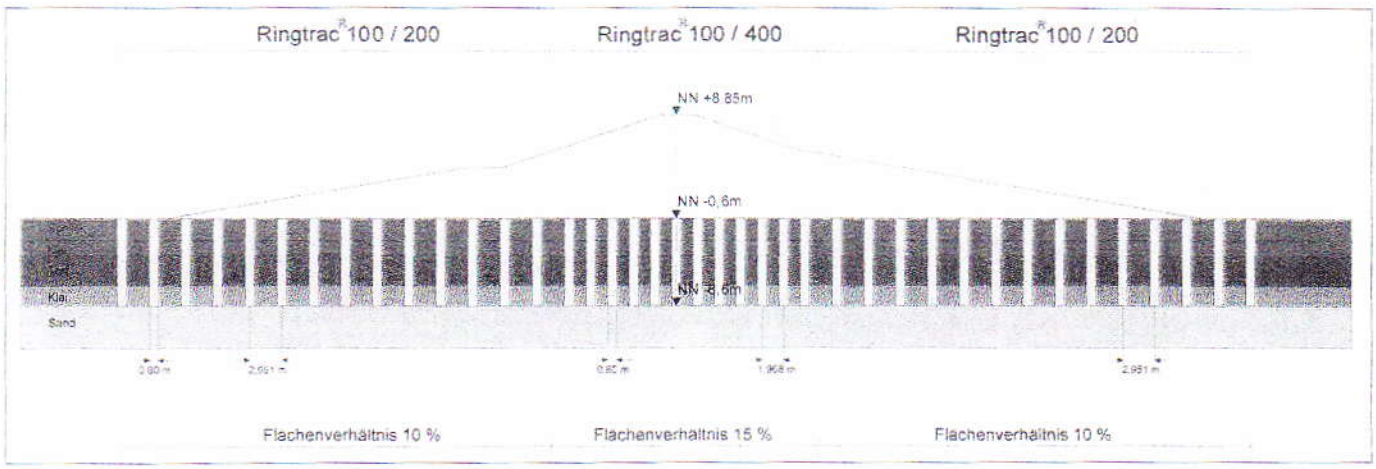

Abb. 4: Sondervorschlag, Gründung eines Deiches auf Geokunststoffummantelten Sandsäulen GSM

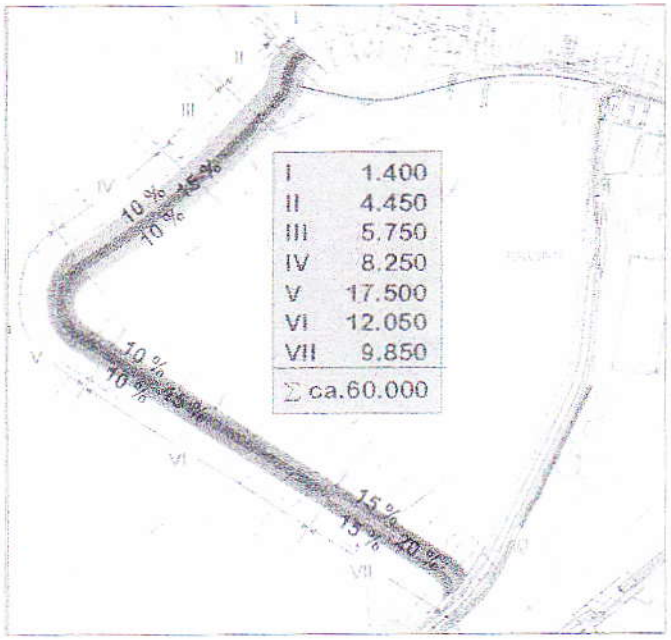

Abb. 5: Geokunststoffummantelte Sandsäulen GSM und die Bemessungsergebnisse über die Deichtrasse

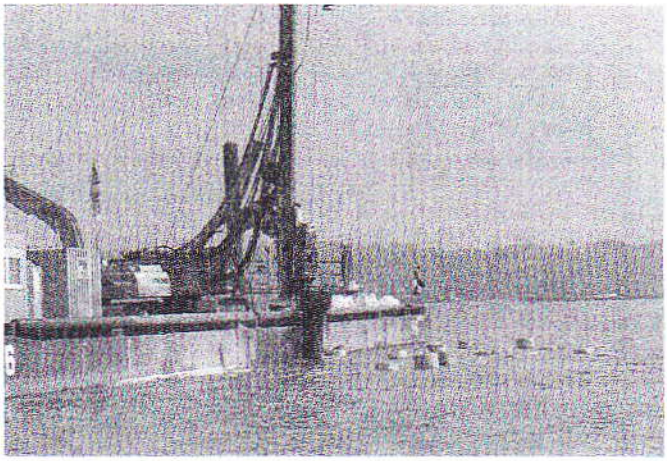

Abb. 6: Säuleneinbringung im Verdrängungsverfahren vom Ponton

- Einsparung von rund 150.000 m_2 Wattfläche durch steilere Böschungsneigungen
- Einsparung von rund 1.100.000 m^3 Sand u.a. durch Setzungsreduktion
- geringere Lärmemission
- kürzere Bauzeit
- starke Konsolidationsbeschleunigung durch die Dränwirkung der Säulen.

3.4 Bemessungsergebnisse

Auf Grundlage des genannten analytischen Berechnungsmodells und zusätzlichen Finite-Element Berechnungen wurden die in Abb. 5 dargestellten rund 60.000 Säulen hergestellt. Das Verhältnis der im Bild 1 beschriebenen Einflussfläche AE zur Säulenfläche AS betrug zwischen 10 und 20 %. Die Bemessung ergab, dass die Ummantelung der Säulen über den Deichquerschnitt betrachtet mit unterschiedlichen Geotextilfestigkeiten ausgeführt werden konnte. Die Dehnsteifigkeiten *J* der verwendeten Geotextilien betrug hierbei 1.800–2.800 kN/m. Die maximale Höchstzugkraft der verwendeten Geokunststoffmaterialien lag zwischen 100 kN/m und 400 kN/m. Die Länge der Geokunststoffummantelten Sandsäulen war abhängig von der Schichtmächtigkeit der weichen Böden und lag zwischen 8 m und 15 m. Als Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen der hochwasserrelevanten Lastfälle für die einzelnen Bauphasen wurde eine hochzugfeste Geokunststoffbewehrung oberhalb der Säulenköpfe erforderlich, um die geforderte schnelle Bauzeit zu realisieren. Die Höchstzugkraft der verwendeten Geokunststoffbewehrung senkrecht zur Deichachse betrug 500 kN/m und 1.000 kN/m.

3.5 Sandsäuleneinbringung

Die Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit führten zur Anwendung des Verdrängungsverfahrens zum Einbau der Säulen. Erschwerend zum Tidehub war die variierende Geländeoberkante über die zu erstellende Deichtrasse zwischen +0,8 mNN und -2,5 mNN zu berücksichtigen. Hierdurch wurden verschiedene Bauverfahren zur Säulenherstellung erforderlich.

Ein Großteil der Säulen wurde von schwimmenden Pontons (110 · 11 m) hergestellt. In einigen Bereichen fielen einige Pontons durch die Tide zeitweise trocken. In diesem Fall wurden die Säulen vom auf dem Schlick aufliegenden Ponton hergestellt (Abb. 7).

Die Säulenköpfe wurden unmittelbar nach der Herstellung durch eine zwischen den Säulenköpfen angeordnete, ca. 0,5 m mächtige Sandschüttung eingefasst.

Erosionserscheinungen infolge Tidebewegungen, die z.B. zu einem Verdriften des Sandkragens geführt hätten, konnten nicht beobachtet werden.

Die in rund 15 Verkehrswegebauprojekten bewährte Bauweise der Herstellung der GSM-Säulen von einem direkt über den Säulenköpfen angeordneten Einbringgerät kam ebenfalls in einem Teilbereich der Deichtrasse zum Einsatz. In Bild 9 ist eine Herstellungseinheit mit einem mäklergeführten Rüttler (120 t) über den neu installierten Säulen auf einer Baggermatratze dargestellt.

Abb. 7: Säuleneinbringung vom Ponton auf dem Schlick aufliegend

Abb. 8: Eingebaute Säule beim Ziehen der Verrohrung

3.6 Besonderheiten im Zuge der Herstellung

Die Bodenverdrängung beim Säuleneinbau führt zu einer Hebung des weichen Bodens im umgebenden Weichboden. Die Hebung, auch als ein sog. »Aufwuchs« bezeichnet, produziert wellenartige Verformungen an der Geländeoberkante. Der absolute Betrag des Aufwuchses beträgt ca. 3–8 % der Säulentiefe. Der Aufwuchs nimmt mit der Säulenanzahl und den Säulenreihen zu. Dieser Effekt wurde auch in kleinmaßstäblichen Modellversuchen bestätigt [1], die vor Beginn des Projektes im Zuge einer Machbarkeitsstudie durchgeführt wurden. Die Messungsergebnisse der kleinmaßstäblichen Versuche waren direkt auf die ausgeführte Bausituation übertragbar. Um den Aufwuchseffekt zu verdeutlichen, ist eine typische Oberflächenverformung nach Herstellung von mehreren Säulenreihen grafisch in Bild 10 dargestellt.

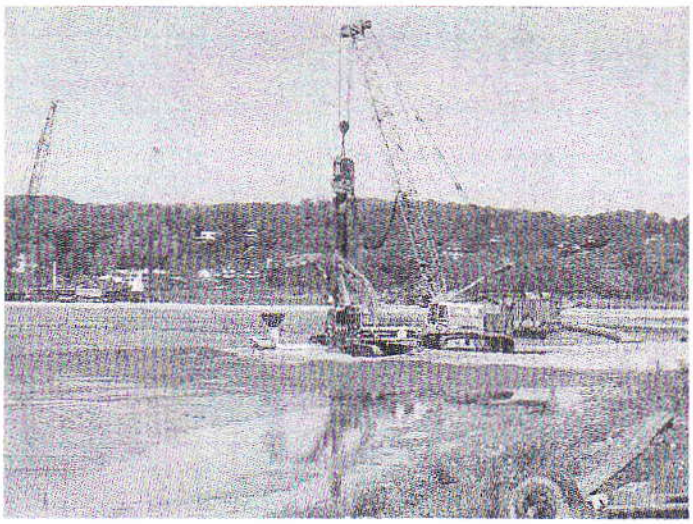

Abb. 9: Einbau der Säulen von einem auf den Säulenköpfen stehenden Einbaugerät

Eine Verflüssigung des Weichbodens durch die Verdrängungs- und Rüttelwirkung wurde nicht festgestellt. Messungen der undränierten Scherfestigkeiten haben gezeigt, dass die Scherfestigkeit nach der Säulenherstellung ca. um den Faktor 2 zugenommen hat. In Abb. 11 ist ein Messergebnis über die Tiefe der Säule vor und unmittelbar nach Säuleneinbau dargestellt.

Zusammenfassung

Auf der Basis von wissenschaftlichen Untersuchungen und abgesicherten Berechnungsverfahren wurde das Gründungssystem Geokunststoffummantelte Sandsäulen (GSM/GEC) von der Josef Möbius Bau-Gesellschaft GmbH & Co. erfolgreich zur Gründung eines Deiches auf sehr weichen bindigen, gering wasserdurchlässigen Böden eingesetzt. Die während und nach der Bauausführung gewonnenen Messergebnisse sind in [7] und [8] dargestellt und bestätigen das prognostizierte Tragverhalten. Das Gründungsverfahren hat sich durch eine Vielzahl von Projekten im Verkehrswegebau seit 1996 nun auch im konstruktiven Wasserbau bewährt. Die Vorteile des Gründungssystems werden nochmals kurz zusammengefasst:

- Das Verfahren ist in sehr weichen bindigen Böden (c_u<15kN/m²) anwendbar.
- Die Bauzeit kann erheblich verkürzt werden.
- Es wird eine sehr hohe Setzungsreduktion und Setzungsbeschleunigung erreicht, so dass nach der Bauzeit nur noch sehr geringe Nachsetzungen auftreten.
- Das Berechnungsverfahren ist abgesichert.
- Das Säulensystem ist flexibel und passt sich den horizontalen Verformungen an.
- Durch das Verdrängungsverfahren wird eine zusätzliche Verbesserung der Weichschichten hervorgerufen.

Schriftum

[1] Geduhn, M., Raithel, M., Kempfert, H.-G.: Practical Aspects of the Design of Deep Geotextile Coated Sand Columns for the Foundation of a Dike on Very Soft Soils. International Symposium. Earth Reinforcement. Kyushu, Japan, 2001

[2] Raithel, M., Kempfert, H.-G.: Bemessung von Geokunststoffummantelten Sandsäulen. Bautechnik 76. Heft 11, 1999, 983–991

[3] Raithel, M.: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Geokunststoffummantelten Sandsäulen. Schriftenreihe Geotechnik. Universität Gh Kassel. Heft 6. Juli 1999

[4] Ruland, P., Stadie, R.: Landgewinnung im Mühlenberger Loch (Elbe). HANSA International Maritime Journal. 138. Jahrgang, 12/2001

[5] Reiner, J.: Airbus A 380 – Werkserweiterung in Hamburg-Finkenwerder. HANSA International Maritime Journal. 139. Jahrgang, März 2002

[6] Raithel, M., Kempfert, H.-G.: Calculation Models for Dam Foundations with Geotextile Coated Sand Columns. An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering GeoEng 2000. Melbourne

[7] Kempfert, H.-G., Raithel, M., Möbius, W., Wallis, P.: Polderumschließung durch einen auf geokunststoffummantelten Sandsäulen gegründeten Deich. Vorträge der Baugrundtagung in Mainz, 2002

[8] Raithel, M., Kempfert, H.-G., Möbius W., Wallis, P.: Gründungsmaßnahmen zur Tragfähigkeitserhöhung und Setzungsreduktion beim Projekt Mühlenberger Loch – Los 1. Geotechnik 25, Nr. 1, 2002

Werner Möbius & Peter Wallis, Josef Möbius Bau-Gesellschaft GmbH & Co., Hamburg; Marc Raithel & Hans-Georg Kempfert, Kempfert + Partner Geotechnik; Magnus Geduhn, Vormals Kempfert + Partner Geotechnik, jetzt IMS Ingenieurgesellschaft mbH

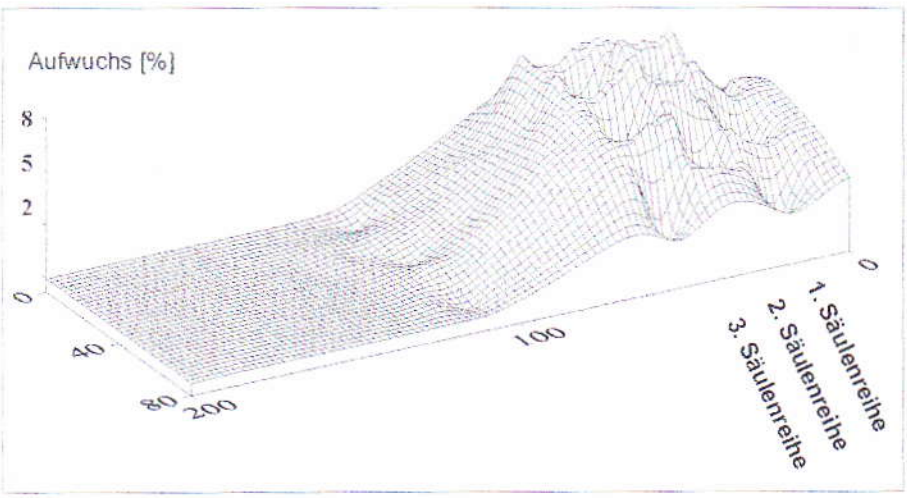

Abb. 10: Aufwuchs der Weichschichtoberfläche nach Einbau von 3 Säulenreihen

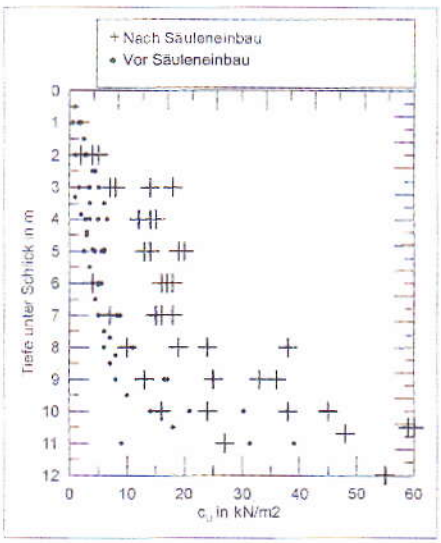

Abb. 11: Undränierten Scherfestigkeit vor und nach Säuleneinbau