

Sartorikai Kiel - Herstellung von Hochlastpfählen in sensiblem Baugrund

Sartorikai Kiel – Execution of high load micro piles under bad ground conditions

Dipl.-Ing. Horst Köster¹, Dipl.-Ing. Peter Nachtigall², Dipl.-Ing. Klaus Dietz³

Zusammenfassung

Am Sartorikai in Kiel wurden mit Hilfe eines Vorbaus, der einfach rückverankert war, zusätzliche Liegeplätze geschaffen. Bei der Herstellung von Rammspfählen kam es im Bereich der vorhandenen Bebauung zu Setzungen. Deshalb wurde die Verankerung auf Verpresspfähle System Stump umgestellt. Damit wurde erreicht, dass an den im Baufeld stehenden Bauwerken keine weiteren Bewegungen auftraten. Um die Pfähle erfolgreich bemessen zu können, wurden zusätzliche Druck- und Rammsondierungen durchgeführt. Mit Hilfe der daraus gewonnenen Angaben konnten die Krafteinleitungsstrecken dimensioniert werden. In der Krafteinleitungsstrecke mussten dazu zusätzliche Aufweitungen im Düsenstrahlverfahren vorgesehen werden. Die Planungen wurden durch erfolgreich durchgeführte Probelastungen bestätigt.

Abstract

In order to create additional couch places for passenger ships, the sea port authority Kiel GmbH & CO KG manufactured in the distance from 9 m before the existing Sartori dock a new quay wall. The development consists of a simply embodied and fully behind-filled sheet pile wall with upper concrete girder. As anchorage elements drive piles were intended with 1:1. During the production of the drive piles settings arose at the landside buildings. Therefore the anchorage concept had to be changed over. In the area of the landside buildings now micro piles system Stump were inserted with up to 1200 kN working load. The drillings necessary were vibrationlessly bored by the double head drilling procedure. In order to be able to introduce the necessary forces into the underground, an additional site investigation was accomplished before. With its results it was possible to calculate the anchorage length. As result of the investigations additional expansions by jet-grouting were necessary in the anchorage length. The planning was confirmed by successful accomplished test loadings.

1 Einleitung

Die sichere Einleitung von großen Gerbrauchskräften in schwierigen Baugrund stellt für alle an der Baumaßnahme Beteiligten eine große Herausforderung dar. Am Beispiel der Erweiterung der Kaianlagen am Sartorikai in Kiel wird dargestellt, wie auf der Grundlage einer auf die kennzeichnenden Parameter abgestimmten Baugrunderkundung und mit einem anpassungsfähigen Verankerungssystem diese Aufgabe sicher gelöst werden kann.

2 Bauaufgabe

Um zusätzliche Liegeplätze für Fahrgastschiffe zu schaffen, wurde von der Seehafen Kiel GmbH & Co. KG im Abstand von 9 m vor den vorhandenen Sartorikaianlagen eine neue Kaimauer hergestellt (Fig. 1). Die neue Liegestelle liegt auf der Westseite des Kieler Hafens in nördlicher Verlängerung des Schwedenkais und erstreckt sich über 286 m. Der Ausbau besteht aus einer einfach verankerten und voll hinterfüllten kombinierten Rohrspundwand mit oberem Betonholm. Als Veranke-

rungelemente waren mit 1:1 geneigte bis zu 55 m lange Rammspfähle vorgesehen. Während der Herstellung der Rammspfähle traten an der landseitigen Bebauung Setzungen auf. Deshalb musste das Verankerungskonzept umgestellt werden. Im diesem Bereich wurden nun Bohr-Verpresspfähle mit bis zu 1200 kN Gebrauchslast eingesetzt. Um die erforderlichen Kräfte in den Untergrund einleiten zu können, war es notwendig die Krafteinleitungsstrecke mit Hilfe der Düsenstrahltechnik aufzuweiten. Zur Dimensionierung dieser Zusatzmaßnahme wurden zusätzliche Drucksondierungen und Rammkernsondierbohrungen durchgeführt.

3 Baugrund

Zwischen 1998 und 2001 wurden insgesamt 8 Rammkernsondierungen sowie 6 schwere Rammsondierungen im Bereich des Baufeldes durchgeführt (Fig. 1). Zusätzlich standen weitere Baugrundaufschlüsse aus dem Jahre 1991 zur Verfügung. Danach ließ sich der Baugrund wie folgt beschreiben:

Es steht zunächst Hafenschlick gefolgt von organischen Ablagerung an, die senkenartig bis ca. -23,5 m NN

¹Dipl.-Ing. Horst Köster, Stump Spezialtiefbau GmbH ZN Hannover, Fränkische Str. 11 30455 Hannover e-mail: Horst.Koester@stump.de

²Dipl.-Ing. Peter Nachtigall, Stump Spezialtiefbau GmbH ZN Hannover, e-mail: Peter.Nachtigall@stump.de

³Dipl.-Ing. Klaus Dietz, Stump Spezialtiefbau GmbH ZT Langenfeld, e-mail: Klaus.Dietz@stump.de

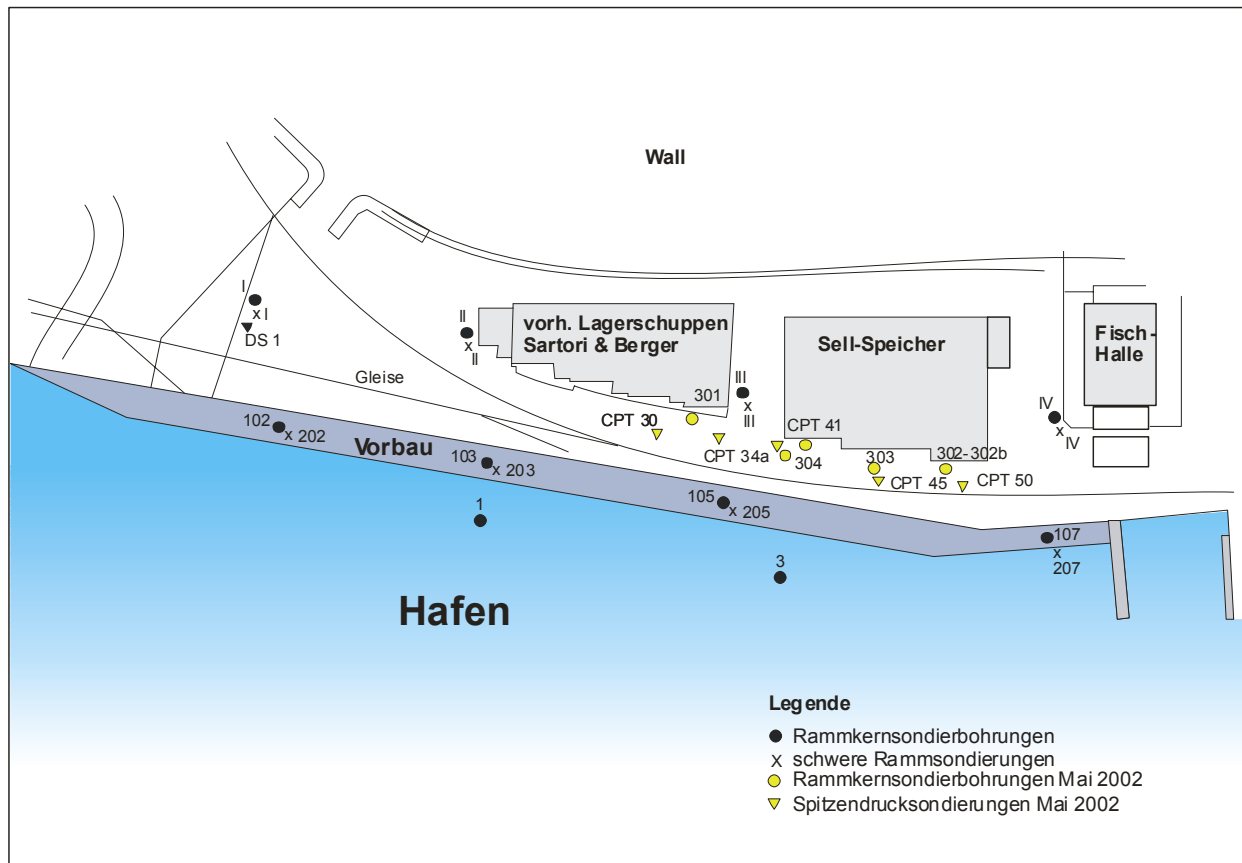


Fig. 1: Übersicht Sartorikai mit Erkundungsbohrungen.
Fig. 1: Overview Sartorikai with site investigation.

reichen. Unterhalb dieser Muddeschicht folgt überwiegend eine bis in die Endteufen der Erkundungsbohrungen reichende Schlufflage von breiiger bis steifer Konsistenz, wie sie auch schon an anderen Stellen im Kieler Hafen erbohrt wurde, an. Dieser Schluff lässt sich im wesentlichen in den oberen und unteren, verfestigten Schluff gliedern. Den Schluffen überlagert wurden vereinzelt Sandschichten als obere oder untere Sande erbohrt. Bereichsweise wurden durch Sanierungsmaßnahmen bei angrenzenden Bauvorhaben bereits Mude und Hafenschlickschichten ausgetauscht und durch Sande ersetzt. Insgesamt war der Untergrund als sehr heterogen einzustufen. Abschnittsweise wurden daher idealisierte Bodenprofile angegeben und für die Bemessung der Rammpfähle herangezogen (Fig. 3).

4 Herstellung der Rammpfähle

Zunächst konnten die Rammpfähle wie geplant im unbebauten Hafensbereich problemlos in den Untergrund eingebracht werden. Bei der Anordnung der Pfähle wurde darauf geachtet, dass die vorhandenen alten Holzpfähle nicht durchörtert werden mussten (Fig. 2). Als die Rammarbeiten von südlicher Richtung kommend die Lagerschuppen Sartori & Berger erreichten, zeigten sich Schäden an den Gebäuden. Die Arbeiten wurden daraufhin eingestellt und nach einem Verfahren gesucht, bei dem die Verankerungen ohne die durch das Ram-

men entstehenden Erschütterungen eingebracht werden konnten.

5 Verpresspfähle

Als Alternative zu den Rammpfählen wurden Bohr-Verpresspfähle System Stump ausgewählt. Bei diesem Pfahlsystem handelt es sich um Vollstäbe mit 4 Zoll Durchmesser die in den Verankerungsbereichen mit einer Gewindefprofilierung versehen werden. Die Bohrungen zum Einbringen der Pfähle wurden erschütterungsarm im Doppelkopfbohrverfahren niedergebracht. Als weitere Vorsichtsmaßnahme zum Schutz der Gebäude wurde festgelegt, dass die Verpresspfähle vor den Außenkanten der Gebäude enden (Fig. 2). Um die bis zu 1200 kN hohen Gebrauchskräfte mit ausreichender Sicherheit in den Untergrund ableiten zu können mussten in der Krafteinleitungstrecke zusätzliche Maßnahmen getroffen werden. Üblicherweise werden die Pfähle mit einer 7 bis 10 m langen und bis 0,30m Durchmesser betragenden Krafteinleitungstrecke hergestellt. Wegen der sehr schwierigen Untergrundverhältnisse wurden mit Hilfe der Düsenstrahltechnik mehrere Aufweitungen bis zu 1,0 m Durchmesser und 3,0m Länge vorgesehen. (Fig. 3) Die Aufweitung wurde dadurch erreicht, dass nach dem Abteufen der Bohrung über ein spezielles Gestänge drehend und ziehend ein definierter Düskörper aus Zement und Boden im Krafteinleitungsbereich hergestellt wurde. Die Drü-

cke betragen dabei ca. 100 – 300 bar. Abhängig von den in jeder Bohrung festgestellten Bohrergebnissen wurden bis zu 3 Aufweitungsstrecken vorgesehen. Nach Herstellung der Düskörper wurde nochmals das Bohrgestänge eingefahren und das Bohrloch insgesamt im Kontraktorverfahren mit Zement aufgefüllt. Im Bereich der Krafteintragungsstrecke wurde zusätzlich ein Verpressdruck auf die Zementsäule aufgebracht, um so einen ausreichenden Verbund zwischen Verpresskörper und Düskörper auf der einen, und dem Baugrund auf der anderen Seite zu erzielen. Zusätzlich wurde im Bereich der Krafteinleitungsstrecke eine Wendelbewehrung vorgesehen. Bei der Dimensionierung der Krafteinleitungsstrecke wurden sowohl Mantelreibung als auch der Spritzendruck für die über den gewöhnlichen Durchmesser hinausragende Aufweitung angesetzt. Zur Überprüfung der Ansätze und um weitere Informationen zum Baugrundaufbau zu erhalten wurde vor Ausführung der Verpresspfahlarbeiten eine ergänzende Baugrunduntersuchung durchgeführt.

6 Ergänzende Baugrunderkundung

Ergänzend zu den im Abschnitt 3 beschriebenen Erkundungen wurden weitere vier Rammkernsondierbohrungen und fünf Drucksondierungen bis in eine Tiefe von ca. 38 m vor der Bebauung niedergebracht. Diese Bohrungen sind in Fig. 1 hellgrau dargestellt. Die festge-

stellten Mantelreibungs- und Spitzendruckwerte streuten sehr stark und wechselten von Bohrung zu Bohrung. Dabei wurde ein Mantelreibungswert von $\tau_m = 50 \text{ kN/m}^2$ und ein Spitzendruckwert von $\sigma_s = 1000 - 2000 \text{ kN/m}^2$ festgestellt. Exemplarisch sind die Verhältnisse in Fig.4 dargestellt. Deutlich sind die Unterschiede zwischen dem Bemessungsprofil und den nachträglichen Erkundungen erkennbar.

Mächtigkeit und Höhenlage der oberen Mudde schwanken um mehrere Meter. Die Krafteinleitungsstrecke der Verpresspfähle liegt überwiegend im Schluff, der zwischen breiig und sehr locker gelagert angesprochen wird. Es wird deutlich, dass bei diesen schwierigen und uneinheitlichen Bodenverhältnissen zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich waren. Mit den ermittelten Mantelreibungswerten konnten die Kräfte mit einem herkömmlichen Verpresskörper nicht in den Untergrund abgeleitet werden. Die theoretischen Betrachtungen bei Ansatz der durch die Sondierungen gemittelten Reibungswerte ergab Verpresskörperlängen von 10 m mit bis zu drei aufgeweiteten Bereichen, je nach den angetroffenen Bodenverhältnissen.

Insgesamt bestätigte die zusätzliche Baugrunderkundung die Ausführbarkeit des geänderten Verankerungskonzeptes. Zu Beginn der weiteren Arbeiten wurden zunächst Probepfähle hergestellt (Fig. 5).

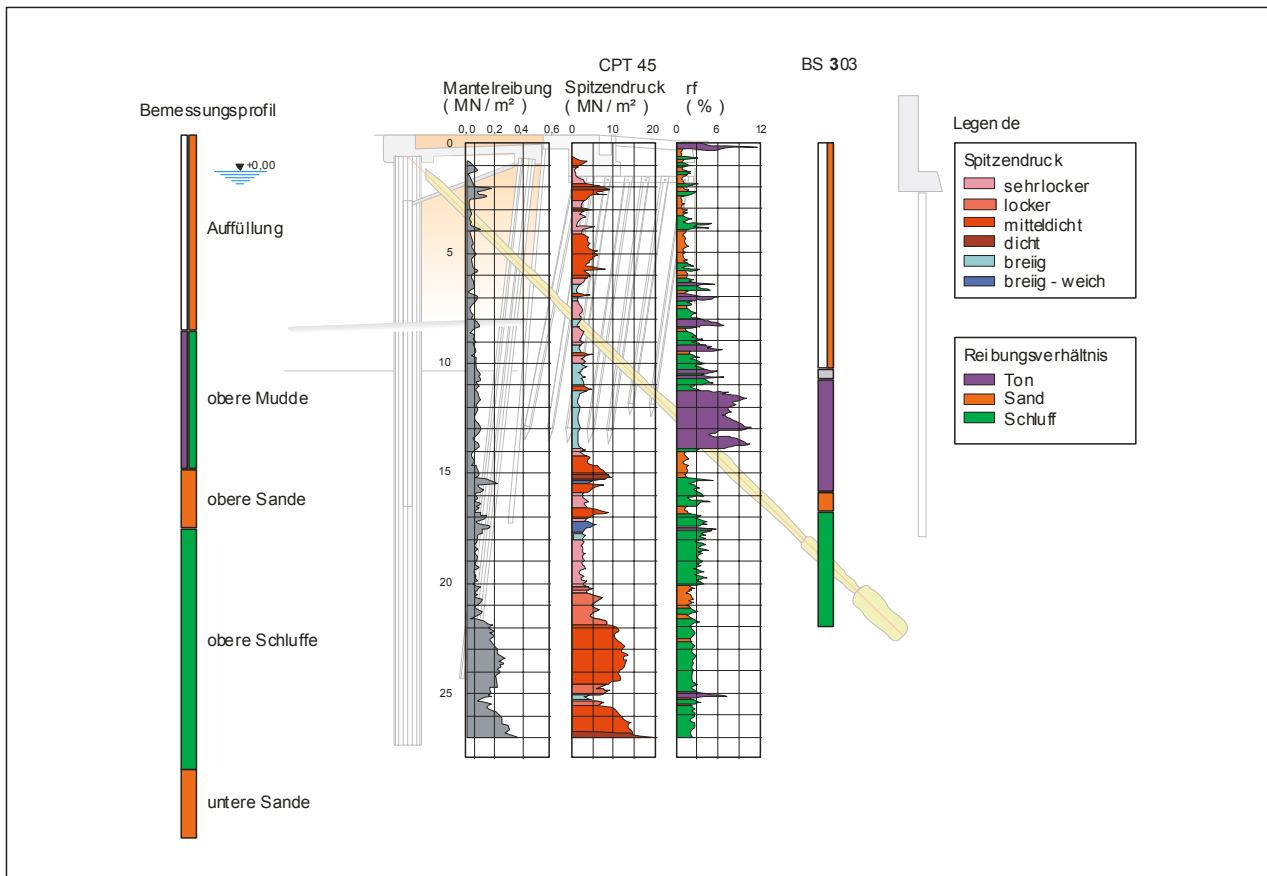


Fig. 4: Querschnitt mit Baugrundaufschlüssen.
 Fig. 4: Cross section with site investigation.



Fig. 5: Geräteeinheit für die Probepfahlherstellung.
Fig. 5: Execution of test piles.

7 Probelastungen

Um den Erfolg der getroffenen Maßnahmen zu überprüfen, wurden an drei Pfählen Probelastungen durchgeführt. Die Prüfkraften wurden mit einer hydraulischen Presse stufenweise und in Belastungszyklen in Anlehnung an die Empfehlungen der DGGT und der DIN 4125 aufgebracht. Damit die wasserseitigen Rohre bei den Belastungsversuchen nicht unzulässig verformt wurden, wurde eine rückwärtige Abstützung zum alten Sartorikai angebracht (Fig. 6). Die Pfahlkopfverschiebungen wurden mit Feinmessuhren (Messgenauigkeit 1/100 mm) erfasst. Als Messbrücke wurde eine von der Belastungsvorrichtung unabhängige Traverse an den benachbarten Rohrpfählen installiert (Fig. 7). Die Prüflast betrug das 1,5-fache der Gebrauchslast von 1200 kN. Die Probepfähle waren über die Bauwerkslänge verteilt und hatten Längen zwischen 29 und 45 m. Die Prüflast konnte bei allen Pfählen ohne Probleme aufgebracht und gehalten werden. Damit war nachgewiesen, dass die vorgesehene Herstellungsweise unter den gegebenen ungünstigen Baugrundverhältnissen erfolgreich eingesetzt werden konnte.



Fig. 6: Aufbau der Probelastung.
Fig. 6: Pile test equipment.



Fig. 7: Prüfeinrichtung mit Messbalken.
Fig. 7: Detail of pile testing.

8 Herstellung der Verpresspfähle

Die vor der Bebauung liegenden Pfähle konnten gemäß der nachgewiesenen Herstellweise erfolgreich ausgeführt werden. Da teilweise zwei Pfähle fächerartig angeordnet werden mussten, ließ es sich nicht vermeiden, dass die aus der Jahrhundertwende stammenden Holzpfähle der alten Kaianlage durchbohrt werden mussten. Dies führte zu einer erheblichen Behinderung der Bohrarbeiten. Als zusätzliche Komplikation musste in einem begrenzten Abschnitt eine Granitsteinlage durchörtet werden. Hierzu wurden Spezialbohrkronen eingesetzt. Trotz dieser Schwierigkeiten zeigten sich an den Gebäuden keine weiteren Setzungen. Insgesamt wurden so 36 Pfähle erfolgreich hergestellt (Fig.8).



Fig. 8: Pfahlherstellung vor dem Sell-Speicher.
Fig. 8: Execution of piles in front of Sell-Speicher.

9 Zusammenfassung

Am Sartorikai in Kiel wurden mit Hilfe eines Vorbaus, der einfach rückverankert war, zusätzliche Liegeplätze geschaffen. Im Bereich der Bebauung kamen Bohr-Verpresspfähle System Stump zum Einsatz. Dadurch wurde erreicht, dass an den im Bau Feld stehenden Bauwerken keine weiteren Schäden auftraten. Die Pfähle wurden erschütterungsarm im Doppelkopfbohrverfahren hergestellt. Zur Ableitung der hohen Gebrauchslasten musste die Krafteinleitungstrecke bereichsweise im Düsenstrahlverfahren aufgeweitet werden. Um die Pfäh-

