

Geotechnisches Monitoring am Beispiel statisch axialer, horizontaler und bi-direktionaler Pfahlprobelastungen in Baku, Aserbaidshon

Falk Pappmeyer, Falk Ulbricht, Melvin England

Fugro Consult GmbH, Fugro Loadtest

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Anschluss an die von der Fugro Consult GmbH durchgeführte geotechnische Baugrunderkundung für die geplante Erweiterung eines Öl- und Gasterminals im Sangachal Distrikt südlich von Baku, Aserbaidshon, wurde durch die Fugro Consult GmbH in Zusammenarbeit mit Fugro Loadtest ein geotechnisches Monitoring Programm in Form von Pfahlprobelastungen durchgeführt und in diesem Zusammenhang verschiedene statische Zustände simuliert. Neben Vertikallasten, den Hauptlasten aus den zukünftigen Bauwerken, wurden auch horizontale Lasten am Pfahlkopf aufgetragen und mit verschiedenen Monitoring Methoden während der Versuchsdurchführung überwacht. Das Monitoring Programm wurde in zwei Feldkampagnen durchgeführt. In der ersten Kampagne wurden Probepfähle an ausgewählten Lokationen bis zum Versagen belastet, um Grenzzustände zu ermitteln, das Pfahldesign zu optimieren und die in der Baugrunderkundung ermittelten geotechnischen Parameter zu überprüfen. In einer zweiten Kampagne wurden dann Bauwerkspfähle getestet, um die Qualität der Pfahlherstellung zu prüfen und die vom Statiker vorgegebenen zulässigen Setzungen der Pfähle unter der geplanten Bauwerkslast zu kontrollieren.

ABSTRACT:

Following the geotechnical site investigation for the extension of the Oil- and Gas terminal in the Sangachal district, south of Baku, Azerbaijan performed by Fugro Consult GmbH a comprehensive pile monitoring program was performed subsequently by Fugro Consult GmbH in collaboration with Fugro Loadtest. The monitoring program comprised full scale static axial, lateral and bi-directional pile load tests using the O-cell® method. Beside vertical loads induced by the future building, also lateral loads were applied and monitored by means of different monitoring methods. The monitoring Program was performed in two field campaigns. During the first campaign only preliminary piles were loaded until failure in order to determine the ultimate limit state, to optimize the pile design and to verify the geotechnical parameter acquired during the preceding site investigation. During the second field campaign only working piles were tested to assure constant quality during pile instal-

lation and to confirm that allowable settlements stipulated by the designer are not exceeded.

1 Projektvorstellung

Im Sangachal Distrikt, ca. 55 km südlich von Baku in Aserbaidshan, sollte ein bestehendes Öl- und Gasterminal erweitert werden. Der bereits 1996 errichtete erste Teil des Sangachal Terminal (ST) wird durch ein von British Petroleum (BP) geführtes Konsortium betrieben und bereitet Rohöl und Gas aus dem Kaspischen Meer auf und leitet die aufbereiteten Rohstoffe nach Europa weiter. In einem Terminal erfolgt nur eine einfache Transportaufbereitung, Zwischenlagerung sowie die Einleitung der Rohstoffe in die Transport-Pipelines. Sangachal Terminal ist in diesem Zusammenhang der größte Knotenpunkt für ankommende Subsea-pipelines von den offshore Feldern im Kaspischen Meer sowie der Startpunkt von Pipelines die neben Europa auch Asien mit Öl, Gas und Gas-kondensat beliefern.



Abb. 1: Geplante Erweiterungsfläche

Fugro wurde im November 2010 von BP beauftragt, auf der geplanten Erweiterungsfläche (Sangachal Terminal, Shah Deniz Stage 2 - STSD2) eine Baugrunderkundung durchzuführen. Die Erweiterungsfläche hat eine Größe von ca. 11 km² und schließt direkt an das bestehende Sangachal Terminal an. Es wurden im Zuge der Baugrunderkundung 119 Drucksondierungen und 69 Bohrungen bis in 60 m Tiefe abgeteuft. Zusätzlich wurden geophysikalische Erkundungen sowie ein umfassendes bodenmechanisches Laborprogramm an den gestörten und ungestörten Bodenproben durchgeführt. Im Ergebnis der Baugrunderkundung konnte der Untergrund in zwei geologische Schichten unterteilt werden, wobei die obere Schicht mit einer Mächtigkeit von ca. 4 m bis 10 m als hochgradig wasserempfindlich eingestuft wurde. Die obere Schicht, im Rahmen der Erkundung als Unit 1 bezeichnet, bedeckt den gesamten zur Bebauung vorgesehenen Bereich der Terminal-Erweiterungsfläche. Die Unit 1 besteht im Wesentlichen aus tonigem Schluff mit vulkanischem Ursprung und einer teilweise mit bloßem Auge sichtbaren porösen Struktur. Das Material hat einen natürlichen Wassergehalt unter der Plastizitätsgrenze und neigt zum Quellen bei Wasserzugabe aber auch zu plötzlichem Kollaps, wenn bestimmte Wasser- und Belastungsbedingungen überschritten werden.

Basierend auf den in der geotechnischen Erkundung gewonnenen Bodenkennwerte und der damit verbundenen Risiken für die Standsicherheit der Bauwerke hat sich BP in Übereinstimmung mit

dem gebundenen Planer entschieden, die quellfähige und Kollaps gefährdete Unit 1 nicht auszukoffern und alle kritischen und hochbelasteten Bereiche des neuen Terminals auf Bohrpfählen zu gründen, um somit Hebungen und Setzungen auf ein Minimum zu begrenzen. Neben der Pfahlgründung wurde auch a) der Austausch des Unit 1 Materials mit geprüfem Füllmaterial und b) der Wiedereinbau von Unit 1 im verdichteten Zustand diskutiert. Beide Möglichkeiten wurden jedoch schnell als zu teuer und nur bedingt umsetzbar verworfen. Im Rahmen der Baugrunderkundung konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass die Unit 1 nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand verdichtbar ist. Eine großflächige Verdichtung auf 98% Standard-Proctor-Dichte war mit im Land verfügbarem konventionellem Verdichtungsgerät nicht möglich.

Zum Teil schwerwiegende Setzungserscheinungen unter den Flachgründungen des sehr schnell und unter großem Zeitdruck errichteten ersten Teils des Sangachal Terminals (Early Oil Project) haben die Entscheidung für eine großflächige Tiefgründung noch unterstützt.

Aufgrund der Erfahrungen im Rahmen der Baugrunderkundung sowie der Erfahrungen auf dem Gebiet des geotechnischen Monitorings im Erd- und Spezialtiefbau wurde die Fugro Consult GmbH nachfolgend beauftragt ein Pfahltestprogramm zu entwickeln und durchzuführen. In einer ersten Kampagne wurden mittels Pfahlprobelastungen an reinen Testpfählen statische Grenzzustände simuliert und die aus der Baugrunderkundung abgeleiteten geotechnischen Parameter präzisiert und angepasst. Mit direkten Feldversuchen können Sicherheitsfaktoren und damit einhergehend auch Kosten für die eigentliche Pfahlgründung reduziert werden. Im Anschluss daran folgte eine zweite Kampagne in der Probelastungen an Bauwerkspfählen durchgeführt wurden. Im Rahmen der Qualitätssicherung und Kontrolle sollte in der zweiten Kampagne die vom Tragwerksplaner ange-setzte Mindestpfahltragfähigkeit im Rahmen der maximal zulässigen Setzungen bestätigt werden.

2 Probelastung an Testpfählen

Innerhalb einer zweimonatigen Planungs- und Genehmigungsphase wurden alle notwendigen Ausführungs- und HSE-Pläne erstellt, mit BP besprochen und letztendlich vom Terminal-Team bestätigt. Im Zeitraum von Februar 2013 bis Juni 2013 wurde an Ortbetontestpfählen mit einem Durchmesser von 600 mm bis 800 mm folgender Untersuchungsumfang innerhalb der ersten Kampagne durchgeführt:

Tab. 1: Kampagne 1 - Testpfähle

Bi-direktionaler Pfahltest mit O-cell® Technologie	Horizontaler Pfahltest - Einzelpfahl	Horizontaler Pfahltest - Pfahlgruppe
- 7 Tests mit O-cell® Technologie	- 3 Tests mit hydraulischer Presse	- 1 Test mit hydraulischer Presse
- Pfahldurchmesser 600 mm bis 800 mm	- Pfahldurchmesser 600 mm bis 800 mm	- Pfahldurchmesser 600 mm bis 800 mm
- 1,2 MN bis 3,8 MN	- 250 kN bis 525 kN	- 450 kN bis 750 kN

Mit dem Ziel die Kosten der Feldarbeiten auf ein Minimum zu reduzieren, wurden die Testpfähle mit O-cell® Technologie als erstes installiert und geprüft, um nachfolgend als Widerlager für die horizontalen Probelastungen zu fungieren. Auf diese Weise konnten Reaktionspfähle eingespart

werden und gleichzeitig war es möglich, das Verformungsverhalten des Reaktionspfahles während der horizontalen Belastung messtechnisch zu überwachen, da der Pfahl bereits für den O-cell® Test umfassend instrumentiert wurde.

2.1 Bi-direktionale Pfahlprobelastung mit O-cell®

Erfunden wurde das Verfahren und die dazugehörige Druckzelle (O-cell®) von Dr. Jori O. Osterberg. Das Osterbergverfahren basiert auf einer im Pfahl eingebauten kalibrierten, hydraulischen Presse für den Einmaleinsatz, welche zur Aktivierung der geplanten Prüflast den Pfahlschaft und den Pfahlfuß als Reaktionssystem nutzt. Durch ihre bi-direktionale Wirkungsweise, nach oben gegen die Mantelreibung des Testpfahles und nach unten gegen den Spitzendruck, erhält man bei diesem Testverfahren automatisch die für die Bemessung des Gründungselementes notwendige Trennung der Widerstandsanteile in Mantelreibung und Spitzendruck. Da die O-cell® den Pfahl als Reaktionssystem verwendet, müssen für die Testdurchführung keinerlei Totlastsysteme oder Reaktionspfähle aufgebaut werden.

Neben der O-cell® an sich werden elektrische Wegaufnehmer zur Messung der O-cell® Spreizung, Stangenextensometer zur Messung der Pfahlverformung und Dehnungsmessgeber zur Messung der Betondehnung / -stauchung entlang des Pfahlschaftes verwendet sowie Hydraulikschläuche im Pfahl einbetoniert. Die Messkabel der verschiedenen Messgeber wurden gebündelt nach oben geführt und an die zentrale Datenerfassung angeschlossen. Zur Kontrolle der Pfahlbewegung wird an der Oberfläche ein Referenzträger positioniert, welcher mittels einem digitalen Nivellier überwacht wird um Eigenverformung auszuschließen.

Die Steuerung der Probelastung erfolgt von oben über eine Zentrale Steuereinheit, die mit Hilfe eines Kompressors automatisch die vorgegebene Laststufe aufbaut und konstant hält. Gleichzeitig werden alle Daten online von der Datenerfassung registriert, zeitgleich dargestellt und gespeichert. Der Kompressor nutzt reines Wasser als druckübertragendes Medium. Im Falle von Undichtigkeiten oder Versagen der O-cell® gibt es somit keine Verschmutzung des Untergrundes mit Hydrauliköl. Im Bild 2 ist der schematische Aufbau eines typischen O-cell® Versuches dargestellt.

Während der ersten Testkampagne wurden sieben Probelastungen mittels Osterbergverfahren an Testpfählen mit einer nominalen Länge von 11,0 m bis 14,0 m ausgeführt. Die Pfahldurchmesser variierten dabei zwischen 600 mm und 800 mm. Es wurden bei den Probelastungen Prüflasten von 1,2 MN bis 3,8 MN erreicht. Dabei wurden je nach erforderlicher Prüflast und Pfahlabmessung eine bzw. zwei O-cell® in den Pfahl eingebaut.

Fünf von sieben O-cell® Tests wurden an Testpfählen mit komplett betoniertem Pfahlschaft durchgeführt. An zwei Positionen wurde der Pfahlschaft reduziert, um die Mantelreibung und damit den Schaftwiderstand auf bestimmte Schichten zu begrenzen. Die direkte geotechnische Betrachtung und Beurteilung von einzelnen Schichten und Schichtpaketen ist nur mit dem Osterbergverfahren und entsprechender Instrumentierung möglich. Im konkreten Fall wurde die O-cell® nahe dem Pfahlfuß positioniert und der übrige Pfahlschaft bis zum sogenannten Cut-Off Level betoniert. Die darüber liegenden 5,0 m Pfahlschaft bis Oberkante Gelände wurden mit einem Glattmantelrohr aus Plastik verbaut und der Innenraum teilweise mit Sand gefüllt. Somit konnte die Mantelreibung in diesem Pfahlsegment ausgeschaltet werden. Ein möglicher Bodenabtrag während der Erdarbeiten

kann mit dieser Methode simuliert werden. Bei einem konventionellem Ansatz (Top Down Test) ist die gezielte Separierung von Schichten nicht möglich. Hier wird immer der komplett betonierte Pfahlschaft aktiviert.

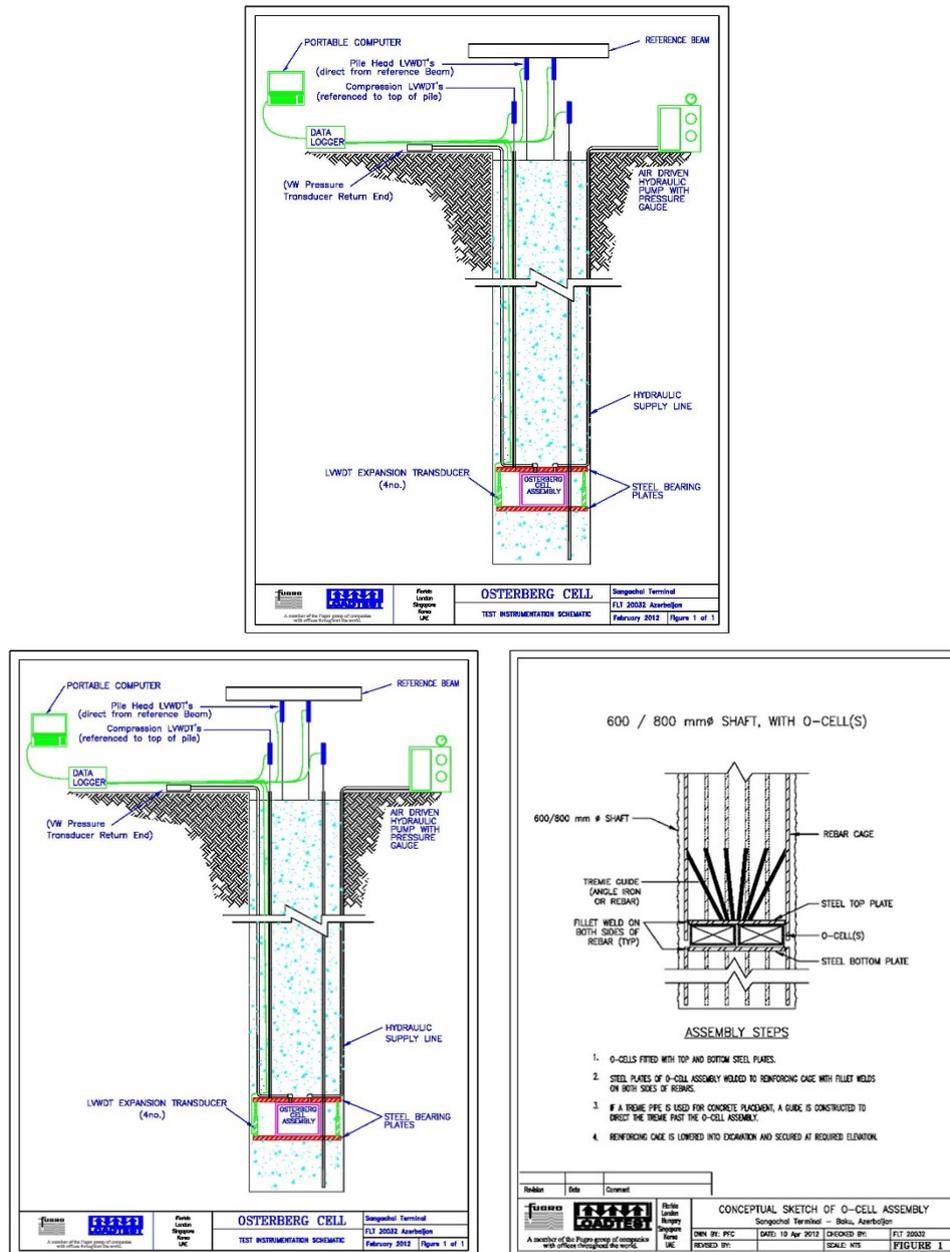


Abb. 2: Schematischer Aufbau O-cell® Test

Die Instrumentierung der Bewehrungskörbe erfolgte in einer Werkstatt vor Ort. Die Osterbergzellen wurden gemäß Vorgabe zwischen zwei Lastverteilungsplatten zentrisch positioniert und mit den vertikalen Bewehrungsstäben verschweißt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass die untere Lastverteilungsplatte nur punktuell mit der O-cell® verschweißt wird. Zum Testbeginn wird die O-cell® unter Druck gesetzt und beginnt sich zu öffnen. Dabei muss die Verbindungskraft der Schweißverbindung überwunden werden. Um das Maß der Zell-Öffnung (Spreizung) zu messen wurden um die Lastverteilungsplatten elektrische Wegaufnehmer angeordnet. An vorgegebenen Tiefen entlang des Pfahlschaftes wurden Schwingsaiten-Dehnungsmessgeber paarweise positioniert. Als Backup-System dienten Stangenextensometer, die direkt mit den Lastvertei-

lungsplatten und ausgewählten strategischen Punkten am Bewehrungskorb entlang des Pfahlschaftes verbunden waren. Die Messkabel aller elektrischen Aufnehmer wurden gemeinsam mit den zum Betrieb der O-cell® benötigten Hydraulikschläuche nach oben geführt.



Abb. 3: Instrumentierte Bewehrungskörbe mit O-cell®

Auf der Baustelle wurden die instrumentierten Bewehrungskörbe mittels Kran und Hilfskonstruktion angehoben und in das noch teilweise verrohrte Bohrloch abgesenkt. Beim Absenken wurden die Bewehrungskörbe mittels Abstandshaltern zentral im Bohrloch positioniert. Im Anschluss erfolgte die Betonage über ein spezielles Schüttrohr, wobei der Beton von unten nach oben in das Bohrloch eingefüllt wird. Um sicherzustellen, dass der Pfahlschaft unterhalb der O-cell® Position ebenfalls vollständig mit Beton verfüllt werden kann, sind die Lastverteilungsplatten mit strategisch positionierten Durchgängen für das Schüttrohr und den aufsteigenden Beton ausgestattet. Für die Funktionstüchtigkeit der O-cell® ist es entscheidend, dass der Beton auch unter der unteren Lastverteilungsplatte vollflächig eingebracht wird, indem er von unten nach oben die O-cell® Konstruktion umhüllt. Oberhalb der O-cell® Konstruktion wurde aus Bewehrungstäben ein Trichter geformt, um das Schüttrohr an der O-cell® Konstruktion vorbei bis zum Pfahlfuß zu führen. Die statisch, axialen Tests mit der O-cell® Methode erfolgten nach mindestens 28 Tagen Hydratationszeit des Betons.

2.2 Horizontale Pfahlprobelastungen

Die horizontalen Pfahlprobelastungen an Testpfählen zur Einschätzung des Bettungsverhaltens des Bodens bei verschiedenen Pfahldurchmessern erfolgten im Anschluss an die O-cell Tests indem wie bereits erwähnt, die instrumentierten Testpfähle aus dem O-cell® Versuchen als Reaktionssystem für die horizontalen Probelastungen verwendet wurden. Das nachfolgende Bild zeigt den schematischen Versuchsaufbau.

Wie in Bild 4 schematisch dargestellt wurden die horizontalen Pfahlprobelastungen mit einem zwischen zwei aufbetonierten Pfahlköpfen verspannten Hydraulikzylinder durchgeführt. Der verwendete Hydraulikzylinder hat eine Nennkapazität von 1MN. Zur zentrischen Krafteinleitung in Bezug auf die Pfahlachse wurde ein Belastungssystem aus Kraftmessdose, Kugelkalotten und Ausgleichsplatten verwendet. Die Steuerung des Hydraulikzylinders erfolgte je nach Anfangsverformung des Testpfahls mit Handpumpe und teilweise mit elektrischer Pumpe. Um die horizontale

Verformung sowie Rotation des Pfahlkopfes bei Belastung zu messen wurden die Pfahlköpfe mit induktiven Wegaufnehmern und Seilzugaufnehmern in x-, y- und z-Achse instrumentiert. Zusätzlich zur Beobachtung der Biegelinie wurde in der Druckzone des Testpfahls ein 6,0 m langes Vierkantrohr installiert. Während der Belastung wurde mit Hilfe einer Vertikalinklinometersonde auf jeder Laststufe die Pfahlverformung gemessen. Über die Tiefe aufgetragen ergibt sich so die der jeweiligen Laststufe zugeordnete Biegelinie des oberen Pfahlschaftes. Die oberen 6,0 m des Pfahlschaftes wurden zusätzlich mit Schwingsaiten-Dehnungsmessgebern in drei Ebenen instrumentiert. Die Daten von Messgebern, Kraftmessdose und Wegaufnehmern wurden in einer zentralen Datenerfassung zusammengeführt, zeitgleich dargestellt und gespeichert.

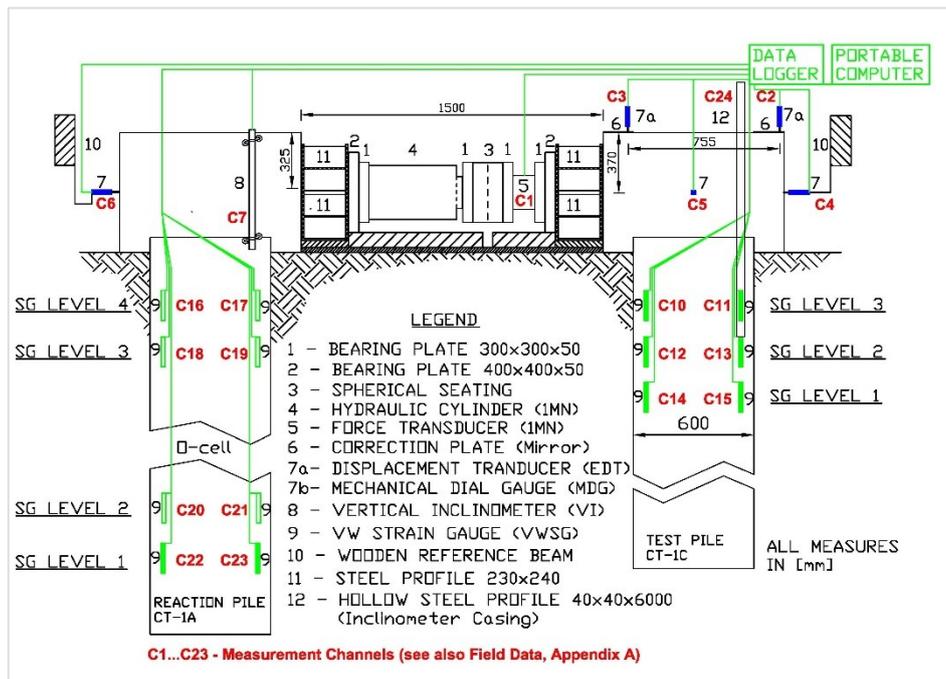


Abb. 4: Schematischer Versuchsaufbau Horizontale Pfahlprobekbelastung

Die horizontalen Probekbelastungen an drei Testpfählen wurden in der ersten Feldkampagne ausgeführt. Insgesamt wurden 4 Lokationen geprüft, wobei an einer Lokation eine Pfahlgruppe, bestehend aus zwei Einzelpfählen verbunden über einen aufbetonierten Pfahlkopf, getestet wurde. Als Verfahrensgrundlage diente die ASTM D3966 sowie die Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Je nach Bodenbeschaffenheit und Wasserverhältnissen im Boden konnten Lasten von 250 kN bis 525 kN aufgebracht werden bevor die mechanischen und elektrischen Messmittel ausgereizt waren.

2.3 Statisch axiale Pfahlprobekbelastungen an Bauwerkspfählen

Basierend auf den Ergebnissen der Pfahlprobekbelastungen an Testpfählen der ersten Feldkampagne und in Verbindung mit den Ergebnissen vorausgegangenen Baugrunduntersuchung konnten die Bauwerkspfähle vom gebundenen Planer bemessen werden. Letztendlich wurden für die Terminalerweiterung ca. 4000 Bohrpfähle hergestellt und davon 0,5% zur Qualitätssicherung und Kontrolle der zulässigen Setzungen statisch, axial belastet. In diesem Zusammenhang wurde die Art des Belastungssystems von BP in Hinblick auf die überaus strikten QHSSE Anforderungen im Terminal

vorgegeben. Um Schweißarbeiten und damit verbundene Magnetpulverprüfungen von Schweißnähten innerhalb des Terminals auf ein Minimum zu reduzieren, hat man sich entschieden statt einem Reaktionssystem ein Totlastsystem als Widerlager für die statisch, axialen Pfahltests zu verwenden. Der Aufbau eines konventionellen Reaktionssystems bestehend aus Reaktionspfählen und Lastverteilungstraversen erfordert auch immer Schweißarbeiten an hochbelasteten, nur unter bestimmten Bedingungen schweißbaren Bauteilen. Ein Totlastsystem hingegen kommt gänzlich ohne Schweißarbeiten aus und kann von einem geübten Kranteam innerhalb von ein bis zwei Tagen ab und wieder aufgebaut werden. Um Reaktionslasten bis 4,5 MN aktivieren zu können wurde von Fugro ein Totlastsystem mit einem Gesamtgewicht über Pfahlkopfniveau von 6,5 MN entwickelt und statisch dimensioniert. Laut Terminal-QHSSE Anforderungen war es zwingend notwendig ein System zu entwickeln, welches ohne kritische Arbeiten und nur durch Anschlagen von Haken und entsprechenden Kranarbeiten modular auf und abbaubar ist.

Um das Risiko für einen Grundbruch während des Aufbaus und/oder nach Fertigstellung des Totlastsystems auf ein Minimum zu reduzieren, wurden die Auffüllung und der darunter anstehende Boden um den ausgewählten Prüfpfahl mittels leichter Rammsondierung nach DIN 4094 und statischer Lastplatte nach DIN 18134 überprüft. Noch vor Beginn der Betonage des Pfahlkopfes wurden zur Qualitätssicherung und zum Nachweis der Pfahlintegrität an allen Testpfählen die Low-Strain-Pfahlintegritätsprüfung mittels Hammerschlagmethode ausgeführt.

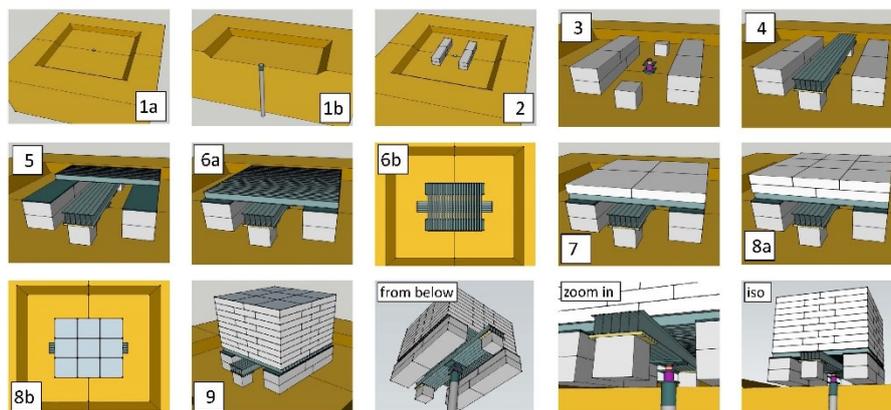


Abb. 5: Schematischer Aufbau Totlastsystem

Im Gegensatz zu den O-cell® Tests wurden bei den Pfahlprobelastungen mittels Totlastsystem die Prüflasten von oben in den Pfahl eingeleitet. Dazu wurde der Pfahlkopf entsprechend vorbereitet (betoniert) um einen gleichmäßig verteilten und axialen Lasteintrag zu ermöglichen. Um die Prüflasten gegen das Totlastsystem zu aktivieren wurde ein kalibrierter Hydraulikzylinder mit einer Nennkapazität von 7,5 MN zusammen mit Ausgleichsplatten, Kugelkalotte und Kraftmessdose zwischen Pfahlkopf und Totlastsystem verspannt. Die Steuerung des Zylinders erfolgte mit einer elektrischen Pumpe vom Messcontainer aus. Pfahlsetzung infolge des Lastauftrages wurde mittels vier induktiven Wegaufnehmern gemessen. Zu Referenzzwecken waren alle Wegaufnehmer an zwei Referenzträgern angebracht, die wiederum außerhalb des Einflussbereiches des Testpfahles gelagert waren. Zusätzlich wurde die Pfahlsetzung noch mittels zweier am Pfahlkopf angebrachter geodätischer Messmarken über einen Tachymeter überwacht. Alle Messwerte wurden zentral im Messcontainer erfasst und verarbeitet. Durch die automatisierte Datenerfassung und die Fernsteuerung der elektrischen Pumpe konnte der Versuch aus sicherer Entfernung gesteuert werden. Laut

QHSSE Richtlinien war es nicht gestattet während der Testphase sowie Aufbauphase mit mehr als 3 Lagen unter das Totlastsystem zu treten.



Abb. 6: Pfahlkopfinstrumentierung und Belastungseinrichtung

Im Zeitraum von April 2014 bis Februar 2015 wurden an insgesamt 19 Bauwerkspfählen statisch, axiale Pfahlprobelastungen ausgeführt. Das Totlastsystem wurde vor Ort hergestellt und für alle Tests wiederverwendet. Die Logistik für Transport, Auf- und Abbau Totlastsystems wurde von der bauausführenden Firma übernommen. Die getesteten Bauwerkspfähle haben eine nominale Länge von 12,0 m bis 18,0 m. Die Pfahldurchmesser variierten von 600 mm bis 900 mm. Gemäß den Vorgaben des Planers wurden Lasten von 1,6 MN bis 4,1 MN auf die Pfähle aufgebracht. Alle Probebelastungen wurden in Anlehnung an die ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls, second Edition 2007, Table B15.1 ausgeführt. Die Prüflast wurde in Stufen aufgebracht und jeweils am Ende der jeweiligen Laststufe konstant gehalten, bis die vorgegebene Haltezeit erreicht war oder das Kriechmaß unter die Grenze von 0,1 mm/h gesunken war. Es wurden jeweils 2 Belastungs- und 2 Entlastungszyklen gefahren wobei die 1,5-fache Gebrauchslast für 360 min konstant gehalten wurde. Abbruchkriterium war eine vertikale Pfahlkopfverschiebung von ≥ 10 mm, um den Bauwerkspfahl nicht zu zerstören.

3 Probelastung an Testpfählen

Die Testergebnisse an den Probepfählen der ersten Kampagne übertrafen die Erwartungen an die Tragfähigkeit des Bodens. Die nachgewiesenen Prüflasten waren höher als die zur Bemessung angesetzten Werte. Mit den Prüfergebnissen konnte das Pfahldesign signifikant optimiert werden. Das optimierte Pfahldesign hatte wiederum Auswirkungen auf die erforderliche Anzahl von Bauwerkspfählen. Die durch das Testprogramm gewonnenen Informationen führten letztendlich zu einer deutlichen Kostenreduktion und rechtfertigen somit sind die Investition in ein zielgerichtetes Testprogramm in der Planungsphase.

Die Ergebnisse der Probelastungen an den Bauwerkspfählen bestätigten die vom Statiker vorgegebenen maximalen Setzungsbeträge unter den Gründungselementen. Gleichzeitig wurde mit den Probelastungen und den Pfahlintegritätsprüfungen die Qualität der hergestellten Pfähle ausreichend geprüft.



Abb. 7: Ansicht Totlastsystem

LITERATURVERZEICHNIS

ASTM D3966 Standard Test Methods for Deep Foundations under Lateral Load, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA

ASTM D1143 Standard Test Methods for Deep Foundations under Static Axial Compressive Load, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA

ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls, second Edition 2007, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, Heron Quay, London E14 4JD

Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn GmbH & Co.KG, published 2012

E.E. Vicente, A.M. Krumb, F. Ulbricht, “Difficult Behavior of Young Continental “Loess – Like” Clayey Soil Deposits of Mud-Volcanogenetic Heritage in Azerbaijan” 1st International Conference on Energy Geotechnics ICEGT 2016 (eingereicht)