

STATNAMIC – Probebelastungen in Deutschland

C. Keindorf, TU Braunschweig (D)

P. Middendorp, Profound, Waddinxveen (NL)

Weltweit wurden im letzten Jahrzehnt über tausend STATNAMIC-Prüfungen durchgeführt. Mit den zur Zeit verfügbaren Anlagen können Pfähle bis zu 30 MN probebelastet werden. Das Verfahren ist nicht nur für das Testen von Vertikalpfählen sondern auch für Schräg- und Horizontalpfähle sowie für Pfahlgruppen und Flachgründungen geeignet.



Abb.1: 4 MN STATNAMIC-Gerät in Bremen

Das statnamische Prinzip basiert auf den Gesetzen von Newton $F = m \cdot a$ und $actio = reactio$. Unter Hochdruck wird in einem Zylinder die Kraft F_{stn} generiert, die eine Reaktionsmasse (5 - 10% der Last) nach oben beschleunigt. Die entgegengesetzt gleich-große Kraft drückt den Pfahl vorsichtig in den Boden. Die erzeugte Kraft und die Relativverschiebung des Pfahles werden messtechnisch mittels einer Kraftmessdose und eines Lasers registriert.

Die Last – und Verschiebungsdaten werden während des Belastungszeitraums digitalisiert und von einer Monitoring Stelle aufgezeichnet. Auch die Last-Setzungs-Kurve wird direkt nach dem Test dargestellt. Die Auswertung der ermittelten Daten erfolgt nach der „Unloading Point Method“ (P. Middendorp, 1992). Im Gegensatz zur dynamischen Pfahlprüfung liegt bei der statnamischen Probebelastung eine relativ lange Belastungsdauer vor, wobei der Pfahl nur durch eine Druckwelle belastet wird. Der Einfluss von Zugwellen wird reduziert und der Pfahl wird schonender getestet.

Auf den Pfahl, der bei dieser Methode als Einmassenschwinger modelliert werden kann, wirken die statnamische Kraft, die Trägheitskraft und der Bodenwiderstand ein. Zum Zeitpunkt der maximalen Verschiebung kann mittels Kräftegleichgewicht der mobilisierte statische Bodenwiderstand direkt berechnet werden.

1. STATNAMIC – Prüfung in Emden

1.1. Projektdaten:

Standort: Testfeld in Emden

Datum: 30. Juni 1992

Kunde: Franki Grundbau

Prüfung: zwei Statnamic Tests der Klasse A an Ortbetonpfählen mit unterschiedlichen Pfahlfußdimensionen

1.2. Projektbeschreibung:

Vor der Ausführung von statischen Pfahltests wurden an zwei Pfählen (#5 und #6) statnamische Probebelastungen durchgeführt. Mit den Ergebnissen vom STATNAMIC-Test sollt eine Aussage über das Last-Setzungsverhalten vor der Ausführung der statischen Belastungstests getroffen werden (Klasse A).

Beide Pfähle besaßen eine Länge von 15 m und einen Durchmesser von 0,8 m. Vor dem Betonieren wurden die letzten 4 m in der Nähe des Pfahlfußes mit eingefüllten Kies verdichtet. Das ermittelte Betonvolumen des Pfahlfußes von #5 betrug 0,4 m³ und von #6 nur 0,2 m³.

Für die Baugrundbeurteilung standen mehrere CPT-Tests zur Verfügung. Die obersten 10 m waren Klei mit einem Sondierspitzenruck von 1,5 MN/m². Die nächste Schicht mit einer Dicke von ca. 7,5 m enthielt holozäne Sande mit Sondierspitzenwiderständen von 4 bis 16 MN/m².

1.3. Testergebnisse von Statnamic und Statisch:

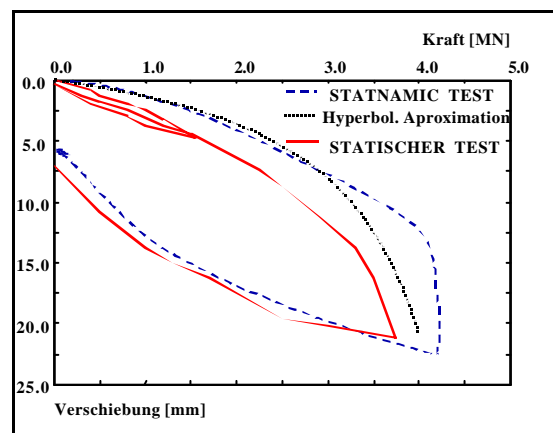


Abb. 2: Ergebnisse vom statischen u. statnamischen Test für Pfahl #5

Die Abbildung 2 zeigt die Testergebnisse für Pfahl #5 und Abbildung 3 die für Pfahl #6. Der Pfahl #5 hat eine höhere Tragfähigkeit und im Vergleich zu #6 auch ein steiferes Last-Setzungsverhalten, was mit dem größeren Pfahlfuß erklärt werden kann.

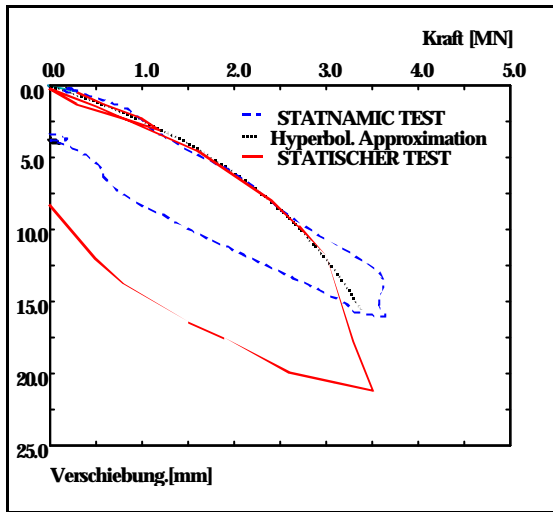


Abb. 3: Ergebnisse vom statischen u. statnamischen Test für Pfahl #6

Das Ergebnis vom STATNAMIC-Test für #5 zeigt ein steiferes Verhalten im Vergleich zum Ergebnis vom statischen Test für Pfahl #5. Die Übereinstimmung zwischen dem Last-Setzungsverhalten vom zuerst durchgeführten statnamischen Test mit dem vom späteren statischen Test für #5 ist zufriedenstellend. Beim Vergleich der Ergebnisse vom statnamischen und statischen Test für Pfahl #6 ist eine gute Übereinstimmung zu verzeichnen.

2. STATNAMIC – Prüfung in Bremen

2.1. Projektdaten:

Standort: Güterverkehrszentrum (GVZ) Bremen
 Datum: 6. August 2001
 Kunde: Dachser GmbH
 Prüfung: zwei Ortbetonteilverdrängungsbohrpfähle vom Typ Jacbo-S der Firma Jacbo Pfahlgründungen GmbH, Schüttorf
 Auflast: 1900 kN nachzuweisende Tragfähigkeit je Pfahl

2.2. Projektbeschreibung:

Am 6. August 2001 wurden zwei Ortbetonteilverdrängungspfähle (Nr. 1931 u. 2221) der Firma Jacbo Pfahlgründungen GmbH beim Bauvorhaben „Erweiterung des Logistikzentrums Dachser GmbH“ einer statnamischen Pfahlprüfung unterzogen. Die getesteten Jacbo-S Pfähle besitzen eine Länge von 17,50 m und einen Durchmesser von 0,57 m. Für die Durchführung der Pfahlprüfung mussten die Pfähle aufbetoniert werden, so dass sich deren Pfahlköpfe 25 - 40 cm über der Geländeoberkante befanden.

Anschließend wurden die Pfahlköpfe geglättet und die Versuchseinrichtung für die Probelastung vorbereitet.

Zur Beurteilung des Baugrundes lagen Druck- und Bohrsondierungen vor, die vom Institut für Geotechnik der Hochschule Bremen begutachtet wurden.

Verwendet wurde ein 4MN-STATNAMIC-Gerät, das mit einem hydraulischen Auffangsystem für die Reaktionsmasse ausgestattet ist. Das Gesamtgewicht der Anlage beträgt im Testzustand ca. 29 t. Zur Messung der Pfahlkopfsenkung wurde ein Lasersystem benutzt. Um bei Ausfall oder Störung der Laservorrichtung ein zweites interpretierbares Ergebnis zu erhalten, wurde zusätzlich ein Beschleunigungsgeber angeschlossen.

2.3. Ergebnisse:

Für die Auswertung der Probelastungen wurde das Foundation Pile Diagnostic System (FPDS 5) verwendet, womit die Messdaten (Abb. 4) direkt auf der Baustelle analysiert und die statischen Tragfähigkeiten berechnet werden können.

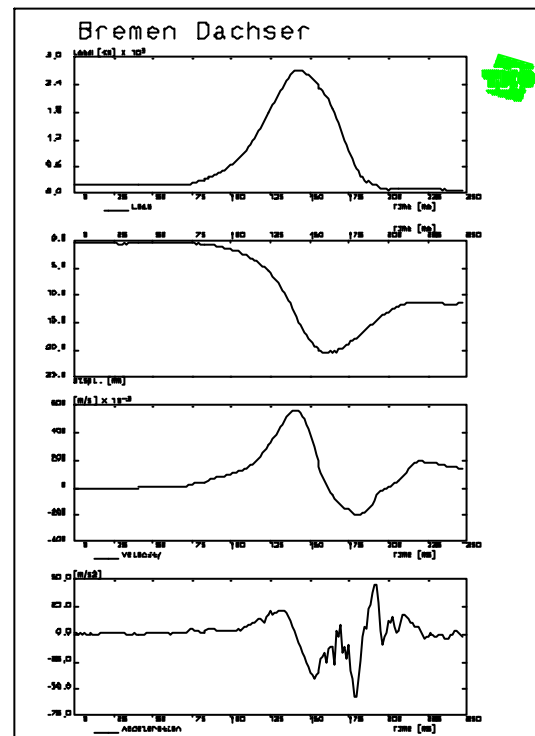


Abb. 4: Statnamische Signale für Pfahl 2221, Zyklus 2

In der folgenden Tabelle sind für die getesteten Pfähle die mobilisierten statischen Widerstände mit den dazugehörigen Setzungen dargestellt.

Pfahlnummer	Stat. Widerstand in kN	Setzung in mm
2221	2460	27
1931	3030	30

Tabelle: Messergebnisse

Die einzelnen Belastungsstufen eines statnamischen Tests werden in einem Last-Setzungs-Diagramm (s. Abbildung 5) zusammengefasst, wobei der jeweils folgende Zyklus an das Testende (bleibende Setzung) des vorigen Zyklus gesetzt wird.

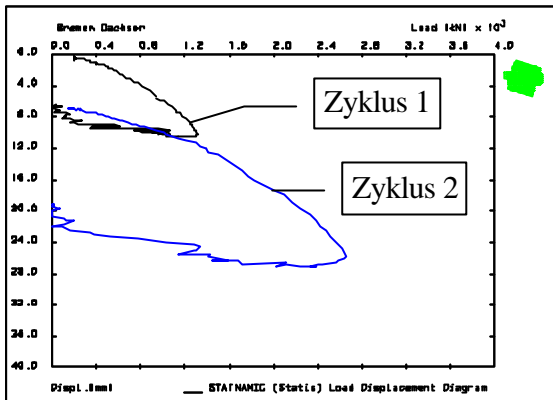


Abb. 5: Statisches Last-Setzungs-Diagramm für Pfahl 2221

Die Dauer und die Lastrate einer Statnamic-Prüfung kann mit dem Volumen der Brennkammer, der Form des Zylinders und der Menge des Treibstoffs gesteuert werden. Die beiden Pfähle der Firma Jacobo Pfahlgründungen GmbH wurden mit jeweils zwei Testzyklen geprüft. Für die nachzuweisende Tragfähigkeit ist immer der zuletzt durchgeführte Zyklus (hier Zyklus 2) maßgebend, bei dem ein größerer statischer Widerstand mobilisiert wurde.

2.4. Fazit:

Die nachgewiesenen Tragfähigkeiten zeigen, dass die Jacobo-S Pfähle die errechnete Auflast (1900 kN) ohne weiteres aufnehmen können. Die Differenz zur berechneten Tragfähigkeit ist damit zu erklären, dass die Dimensionierung der Pfahlgründung weit auf sichere Seite liegend durchgeführt wurde und das der positive Einfluss von Teilverdrängungsbohrpfählen (JACBO-S) auf die Mantelreibung in der Berechnung vernachlässigt wurde.

3. STATNAMIC – Prüfung in Emlichheim

3.1. Projektdaten:

Standort: Großraumsilo, Emlichheim
 Datum: 3. September 2001
 Kunde: Emsland Stärke GmbH, Emlichheim
 Prüfung: zwei Ortbetonteilverdrängungsbohrpfähle vom Typ Jacobo-S der Firma Jacobo Pfahlgründungen GmbH, 48465 Schüttertorf
 Auflast: nachzuweisende Tragfähigkeit :
 Druckpfahl D5 : 2708 kN
 Druckpfahl D13 : 3096 kN

3.2. Projektbeschreibung:

Für den Neubau eines Kartoffelstärke-Großraumsilos der Firma Emsland-Stärke GmbH in Emlichheim wurden für die Gründung unter anderem die Pfähle der Firma Jacobo Pfahlgründungen GmbH, Schüttertorf verwendet. Am 3.9.2001 führte TNO Profound im Auftrag dieser Firma zwei statnamic Pfahlprobelastungen an den Druckpfählen D5 und D13 durch. Die Länge der Pfähle betrug 16,0 m und der Durchmesser ist mit 57 cm angegeben. Für die Durchführung der Tests mussten die umhüllenden Stahlrohre gekürzt werden, damit die Plattform des 4 MN STATNAMIC-Gerätes ausschließlich auf dem Beton aufliegt.

Als Bodenarten sind Sande (teilweise lehmig) mit unterschiedlichen Tragfähigkeitswerten und Schluff anzutreffen. Wobei der Schluff in einer Schichtdicke von ca. 5,1 m beim Pfahl D5 und ca. 2,0 m beim Pfahl D13 vorzufinden ist.



Abb. 6: Die Testanlage in Emlichheim

3.3. Ergebnisse:

Die Auswertung der Probelastungen wurde mit dem FPDS-5 System vorgenommen, womit die Messdaten direkt auf der Baustelle analysiert und die statischen Tragfähigkeiten berechnet werden können. In der folgenden Tabelle sind die mobilisierten statischen Widerstände mit den dazugehörigen Setzungen dargestellt.

Pfahlnummer	mobil. stat. Widerstand in kN	Setzung in mm
D5	2910	27
D13	3220	24

Tabelle: Messergebnisse

Für die Ermittlung der Tragfähigkeiten liegt die „Unloading Point Methode (UPM)“ zugrunde [P.Middendorp, 1992]. In der folgenden Abbildung 7 sind für den Jacobo-S Pfahl (D5) die gemessene statnamische- und die daraus errechnete statische Last-Setzungs-Linie (gestrichelt) dargestellt.

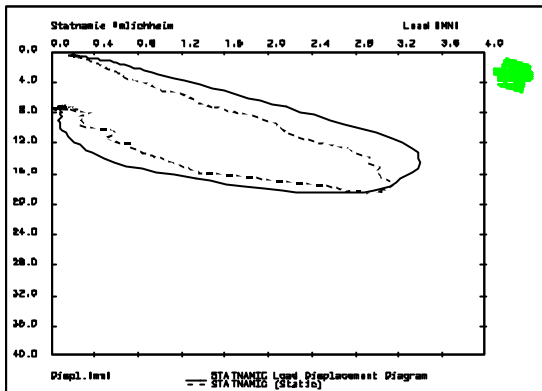


Abb. 7: Last-Setzungs-Linien für Pfahl D5, Zyklus 2

Die einzelnen Belastungsstufen für den Pfahl D5 werden in einem Last-Setzungs-Diagramm ausgewertet (s. Abb. 8). Die Übereinstimmung zwischen den geforderten und den erreichten mobilisierten stat. Widerständen ist für beide Pfähle sehr gut. Die Berechnungen der äußeren Tragfähigkeit wurden für jeden Pfahl bestätigt. Zudem konnten für die Berechnung die speziellen Bodeninformationen (Schichtenverzeichnisse u. Drucksondierungen) je Pfahl verwendet werden.

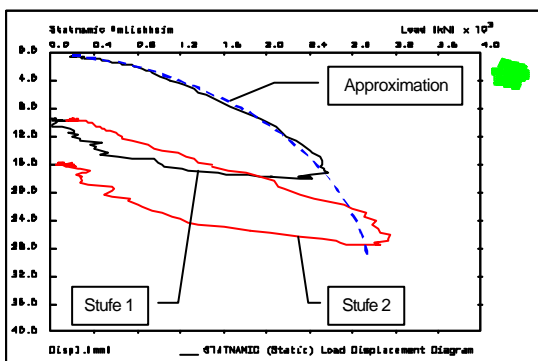


Abb. 8: Statisches Last-Setzungsverhalten vom Pfahl D5

4. Zusammenfassung

- Während eines STATNAMIC-Tests kann der Pfahl als Einmassenschwinger, auf den die Trägheitskraft des Pfahles, der Bodenwiderstand und die statnamische Kraft einwirken, modelliert werden. Dies erlaubt eine direkte Berechnung des Last-Setzungsverhalten für den getesteten Pfahl.

- Die in Deutschland durchgeführten Tests zeigen gute Übereinstimmungen zw. theoretischen Berechnungen und den Ergebnissen von STATNAMIC-Tests sowie repräsentative Vergleiche zwischen statischen und statnamischen Probebelastungen. Weitere Referenzprojekte sind in dem Buch [6] enthalten.

- Für Probebelastungen kann sich der Auftraggeber zwischen dynamischen, statnamischen und statischen Testmethoden entscheiden. Die Anwendung hängt von der Verfügbarkeit einer Prüfkapazität ab. STATNAMIC-Tests eignen sich besonders für Projekte, wo Bedienungskomfort, Zeit und wirtschaftliche Aspekte eine Rolle spielen. Für Ortbetonpfähle ist STATNAMIC die bevorzugte Methode.

- Mit Hilfe der Unloading Point Methode (UPM) kann zum Zeitpunkt der maximalen Verschiebung im STATNAMIC Last-Setzungs-Diagramm direkt der mobilisierte statische Widerstand ermittelt werden.

- Die Testmethode liefert eindeutige Messergebnisse, mit denen auch Aussagen über das Verhalten des Pfahles bei mehreren Belastungstests getroffen werden kann.

5. Literatur

- [1] *First experiences with statnamic load testing of foundation piles in Europe*, P. Middendorp, TNO Profound, 2nd International Geotechnical Seminar Ghent University (BE), 1993
- [2] *Gutachten für Emden 1992*, TNO, P. Middendorp, TNO Profound, Rijswijk
- [3] *Gutachten 2001-PROF-R0011 und Gutachten 2001-PROF-R0013*, P. Middendorp, C. Keindorf, TNO Profound, Rijswijk (NL)
- [5] *Neuentwicklungen bei den Pfahlprüfmethoden in den Niederlanden*, G. van Ginneken, P. Middendorp, R. van Foecken, ICH, D. Pluimgraaf, Geomet, Pfahl-Symposium 2001, IGB•TUBS TU Braunschweig
- [6] *Proceedings of the 2nd international statnamic seminar, 1998 "STATNAMIC Loading Test"*, O.Kusakabe, F.Kuwabara & T.Matsumoto, Japan