

VERWENDUNG VON STATNAMISCHEN PROBEBELASTUNGEN IN DEUTSCHLAND

Dipl.-Ing. Peter Middendorp

1. EINFÜHRUNG

Statnamische Probebelastungen werden heutzutage in Nord-Amerika, Asien und Europa routinemäßig ausgeführt. Mit den zur Zeit verfügbaren Anlagen können Pfähle bis zu 30 MN probebelastet werden. Weltweit wurden im letzten Jahrzehnt über zweitausend statnamische Prüfungen durchgeführt. Das Verfahren ist nicht nur für das Testen von Vertikalpfählen sondern auch für Schräg- und Horizontalpfähle sowie für Pfahlgruppen und Flachgründungen geeignet. Statnamische Probebelastungen werden in Deutschland seit 1992 ausgeführt.



Abb. 1: Statnamic-Messgerät



Abb. 2: Das 4 MN-Statnamic-Gerät

Eine zuverlässige Methode für die Verifikation von Ausführungsbedingungen ist die statische Probebelastung. Diese Methode ist jedoch teuer und zu zeitaufwendig um routinemäßig angewandt zu werden. Eine Statnamische Probebelastung ist jedoch um einigens billiger und in kürzerer Zeit durchzuführen als eine statische Beprobung. Eine dynamische Probebelastung mittels einem Fallgewicht oder einem Rammgerät ist

ökonomisch und effizient bei der Ausführung, aber vergleichsweise hat der Statnamic-Test mehrere Vorteile:

Bei der Statnamic-Beprobung wird die Belastung immer auf die selbe standardisierte Weise durchgeführt mit einer einfachen Methode der Analyse. Damit sind Klasse-A Vorhersagen bei Statnamic genauer und weisen eine geringere Bandbreite auf als dynamische Probelastungen (Holeyman und Charue 2003)

Für statnamic Probelastungen ist die Belastungsdauer und verwendete Energie viele Male größer wie bei dynamischen Probelastungen. Das Verhalten eines Pfahls unter einer statnamic Probelastung ist dadurch näher zu einer statischen Probelastung und erlaubt eine einfache Modellierung der dynamischen Wirkungen.

Bei der Statnamic-Beprobung wird die Belastung genau gemessen, indem eine geeichte Messdose am oberen Ende des Pfahls angebracht wird. Die gemessene Belastung ist nicht abhängig von den Pfahleigenschaften. Der Belastungsmessfehler liegt unter 0,1 % des Höchstbereichs der Messdose. Eine Schätzung des Elastizitätsmoduls bei Dynamische Probelastungen ist schwierig, weil es kein konstanter Wert ist, sondern von dem Alter und der Qualität des Betons abhängt, dem Belastungsgrad und sogar von der Temperatur des Betons. Bei statischen Belastungsprüfungen bewegt sich das Elastizitätsmodule für Beton z.B. im Bereich zwischen 28 GPa und 32 GPa, während er bei dynamischen Belastungsprüfungen im Bereich zwischen 32 GPa und 52 GPa liegt.

Die Ergebnisse der Statnamic-Beprobung werden nicht durch unterschiedliche Querschnitte an verschiedenen Stellen des Pfahls beeinflusst. Unstetigkeiten der Pfähle wie Einschnürungen, Verdickungen und Materialwechsel führen zu Spannungswellen-reflexionen, die sich stark auf für eine Dynamische Probelastungen berechnete Signale auswirken können. Reflexionen von Verdickungen ergeben ein fast identisches Ergebnis der Wellengleichung wie eine örtliche harte Bodenschicht, und eine Einschnürung wirkt sich entsprechend wie eine örtliche weiche Schicht aus. Wenn Unstetigkeiten der Pfähle bei Dynamische Probelastungen nicht richtig berücksichtigt werden, ist es entweder unmöglich, eine richtige Anpassung zu erzielen, oder die Vorhersage der Belastbarkeit ist nicht zuverlässig, Bodeneigenschaften können mit Unstetigkeiten von Pfählen verwechselt werden.

Bei der Belastung während einer statnamic Probelastung bleibt der Pfahl ständig unter Druckspannung. Es gibt keine Zugspannungen die den Beton des Probepfahles möglicherweise zerreißen.

Die Statnamic-Belastungseinrichtung lässt sich einfach über der Mitte des Pfahls anbringen. Es gibt dadurch immer eine konzentrische Belastung.

Pfahl- und Bodenreaktion entsprechen mehr einer statischen Prüfung. Bei Statnamic bewegt sich der Pfahl als einheitliches Ganzes, ähnlich wie bei einer statischen Belastungsprüfung. Da die Spannungswelleneigenschaften unerheblich sind, ist die Methode der Analyse der Messergebnisse denkbar einfach und eindeutig.

Die erste statnamsische Probebelastungen in Deutschland werden auf einer Baustelle von Franki Grundbau in Emden im Jahre 1992 ausgeführt und diente zur Bestimmung des Tragverhaltens von Franki-Pfählen mit verschiedenen Fußdurchmessern. Die getroffenen Annahmen und geforderten Belastungswerte konnten sehr gut nachgewiesen werden. Eine anschließend durchgeführte statische Probebelastung bestätigte die Statnamic-Beprobung.

Basierend auf die oben genannte Vorteile hat sich die Firma Jacobo Pfahlgründungen GmbH in 2001 entschieden, die statnamsische Probebelastung im Deutschland für ihre Gründungspfähle zu verwenden. Sehr rezent hat auch hat die firma Bauer Statnamsische Probebelastungen in die Niederländern ausführen lassen.

Nach Auskunft der Fa. Jacobo Pfahlgründungen GmbH wurden Jacobo-Pfähle bisher sowohl statisch, dynamisch und statnamsisch geprüft. Aus Erfahrungen mit allen drei Beprobungsmethoden lässt die Jacobo GmbH dort wo es die Möglichkeit gibt, die Art der Beprobungsmethode selbst zu wählen, Statnamic Tests durchführen. Die statnamsische Prüfung würde gewählt, weil sie nur einen Bruchteil der Kosten und des Zeitaufwands im Vergleich zu einer statischen Probebelastung erfordere. Durch Probebelastungen können Alternativ- und Sondervorschläge erfolgreich nachgewiesen werden. Der Streubereich einer dynamischen Beprobung, wenn diese nicht durch eine statische Beprobung zuvor geeicht wurde, ist zu groß, um das Ergebnis wirtschaftlich für ein Alternativangebot nutzen zu können. Dort wo aus Kosten-, Zeit- oder Platzgründen keine statischen Probebelastungen durchgeführt, oder dynamische Tests nicht geeicht werden können, können mit Hilfe einer Statnamic-Beprobung zutreffend und wirtschaft alternative Pfahlgründungen angeboten und durchgeführt werden.

2. DIE STATNAMISCHE VERSUCHSEINRICHTUNG

Für die statnamsischen Probebelastungen wird in Deutschland seit 2001 ein 4MN Statnamic-Gerät verwendet (s. Abb. 2). Mit diesem System können maximale Tragfähigkeiten von 4 MN (400 t) je Pfahl nachgewiesen werden. Zwei Trucks transportierten die einzelnen Komponenten des Testgerätes zur Baustelle und nach ca. 3 Stunden Aufbauzeit ist die Testanlage einsatzbereit. Die Anlage verfügt über ein hydraulisches Auffangsystem für die Reaktionsmasse, die während des Versuchs senkrecht nach oben beschleunigt wird. Die Reaktionsmasse wiegt insgesamt 20,4 t, was ca. 5 % der maximal nachweisbaren Tragfähigkeit (400 t) des Gerätes entspricht. Das Gesamtgewicht des 4MN Gerätes im Testzustand beträgt ca. 29 t.

Bei der Ausführung der statnamsischen Probebelastungen wird das Foundation Pile Diagnostic System verwendet, womit die Pfahltests direkt auf der Baustelle analysiert und die statischen Tragfähigkeiten berechnet werden können. Das FPDS-System besteht aus einem tragbaren Computer (s. Abb. 1), einem Laser, einer Kraftmessdose, einem Beschleunigungsaufnehmer sowie diversem Zubehör (Messkabel, Adapter).

Die Kraftmessdose, die in der Plattform der Anlage installiert ist, registriert den Verlauf der Kraft (F_{stn}), die auf den Pfahlkopf einwirkt. Die Setzung des Pfahles während des Tests wird mit dem Lasersystem (Abb. 3 und 4) gemessen, wobei der Lasersensor ebenfalls in der Plattform installiert ist. Zusätzlich werden die Setzungen mit einem

Beschleunigungsaufnehmer, der an der Plattform befestigt wird, gemessen (Kontrollmessung). Weiterhin kommt beim Testen ein Nivellement zum Einsatz, womit die bleibende Setzung auch optisch gemessen werden kann (ebenfalls Kontrollmessung)

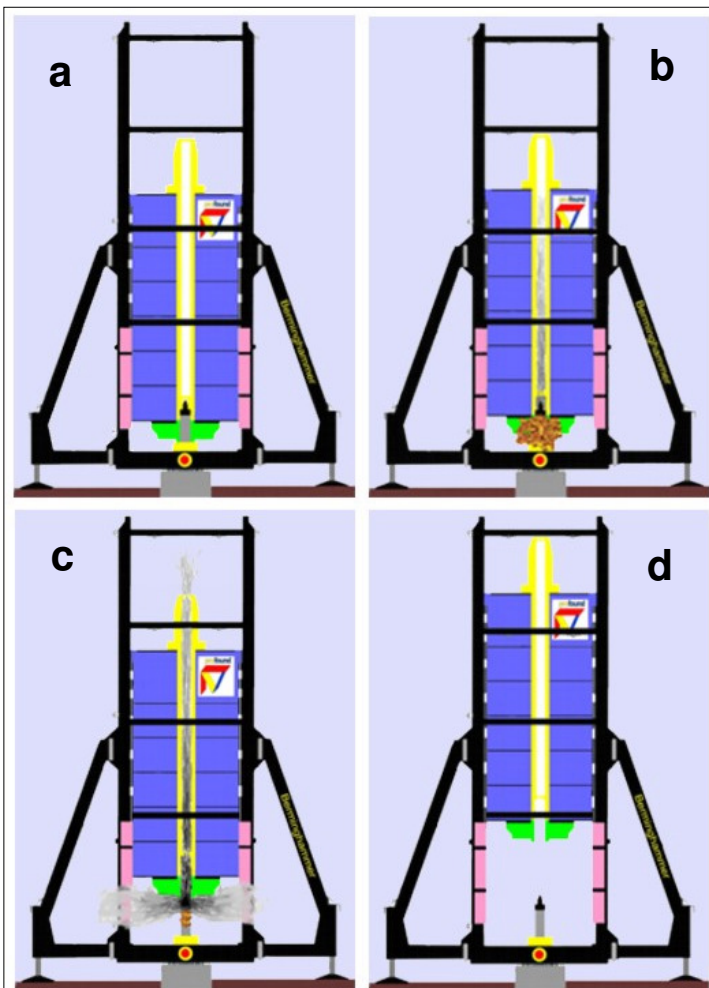


Abb. 3: Laser



Abb. 4: Lasersensor

3. DER STATNAMIC TEST



Nachdem bei der Elektronik, dem Zündsystem und dem Data Input FPDS System ein Funktionstest durchgeführt wurde, kann das Warnsignal für die Zündung gegeben werden. Anhand von Bildern (Abb.5) werden die einzelnen Stadien einer Statnamic-Probebelastung erklärt.

Bild a: Die Piston mit einer Druckkammer und Kraftmeßdose wird zentrisch auf den Pfahlkopf aufgesetzt. Die Reaktionsmasse, die an einem Zylinder (Silencer) befestigt worden ist, wird über die Piston gehangen. In der Druckkammer befindet sich Brennstoff, dessen Menge sich nach der gewünschten Belastung des Pfahles richtet.

Bild b: Bei der Zündung des Brennstoffes wird ein Gas unter Hochdruck freigesetzt. Der ansteigende Druck in der Druckkammer bewirkt eine vertikale Beschleunigung der Reaktionsmasse. Eine gleichgroß entgegengerichtete Reaktionskraft

Abb. 5: Vier Stadien einer Statnamic-Prüfung

(action = reaction) drückt den Pfahl vorsichtig in den Boden.

Bild c: Die Signale für Kraft und Verschiebung am Pfahlkopf werden vom FPDS-System erfasst. Die Reaktionsmasse wird vertikal nach oben bewegt.

Bild d: Die Geschwindigkeit der Reaktionsmasse verlangsamt sich infolge der Schwerkraft. Zum Zeitpunkt wo gerade die Geschwindigkeit gleich Null ist, wird das Herunterfallen der Reaktionsmasse durch das hydraulische Auffangsystem verhindert und es gibt keine nachträgliche Belastung auf den Pfahl.

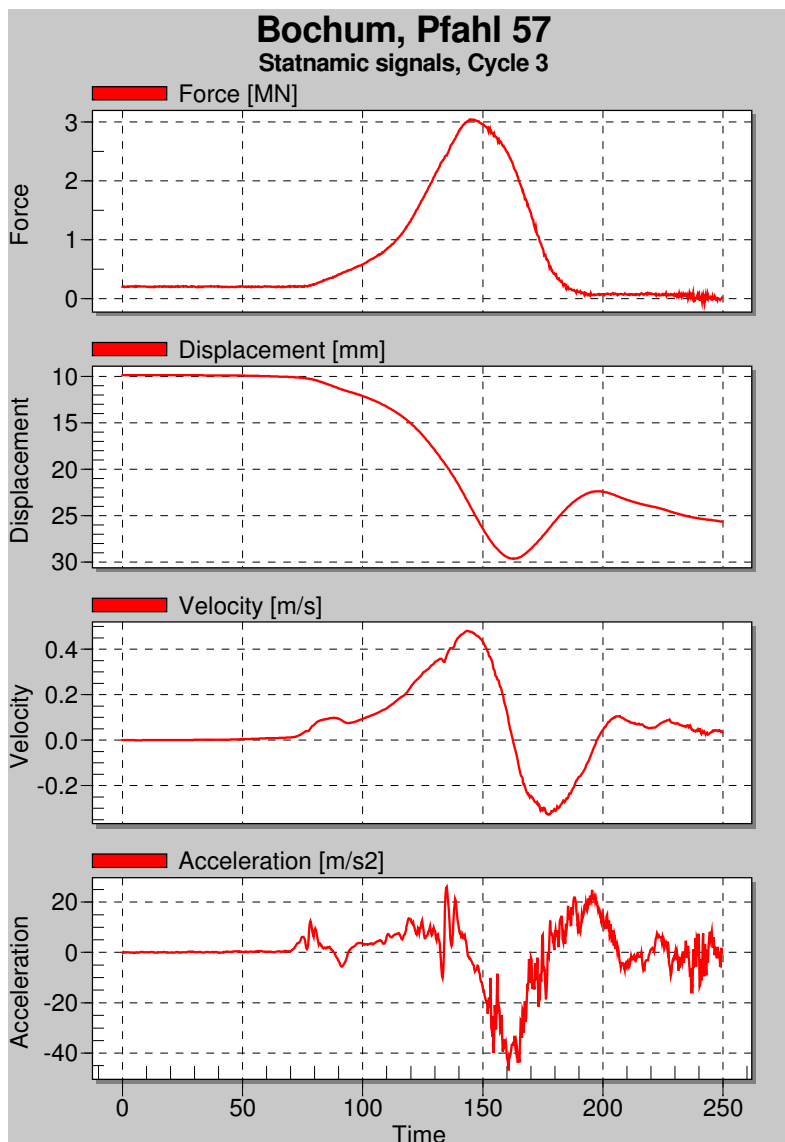


Abb. 6 Beispiel von :Gemessene Statnamic Signale für Last, Setzung, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Die Belastung ist absolut axial und der relativ langsame Druckaufbau und Druckabbau (im Vergleich zu Dynamischen Tests) sorgt für eine schonende Belastung auf Pfahl und Boden. Die Kraft- und Setzungssignale werden zum Subsystem der FPDS zur Signalverarbeitung geleitet. Alle gemessene Belastungsstufen und Messergebnisse werden auf einem FPDS Schirm dargestellt und im Computer gespeichert.

4. STATNAMISCHE RESULTATEN

Die Auswertung der statnamic Probelastungen wird mit dem FPDS-System vorgenommen, womit die Messdaten direkt auf der Baustelle analysiert und die statischen Tragfähigkeiten angegeben werden können.

Für die Ermittlung der Tragfähigkeiten liegt die „Unloading Point Method (UPM)“ zugrunde (P. Middendorp, 1992). In der folgenden Abbildungen sind für ein Jacbo Pfahl die gemessene statnamic- und die daraus

errechnete statische Last-Setzungs-Linie dargestellt. Heutzutage wird die statnämische Belastung meistens in zwei oder drei Stufen aufgebaut. Die einzelnen Belastungsstufen eines statnämischen Tests werden in einem Last-Setzungs-

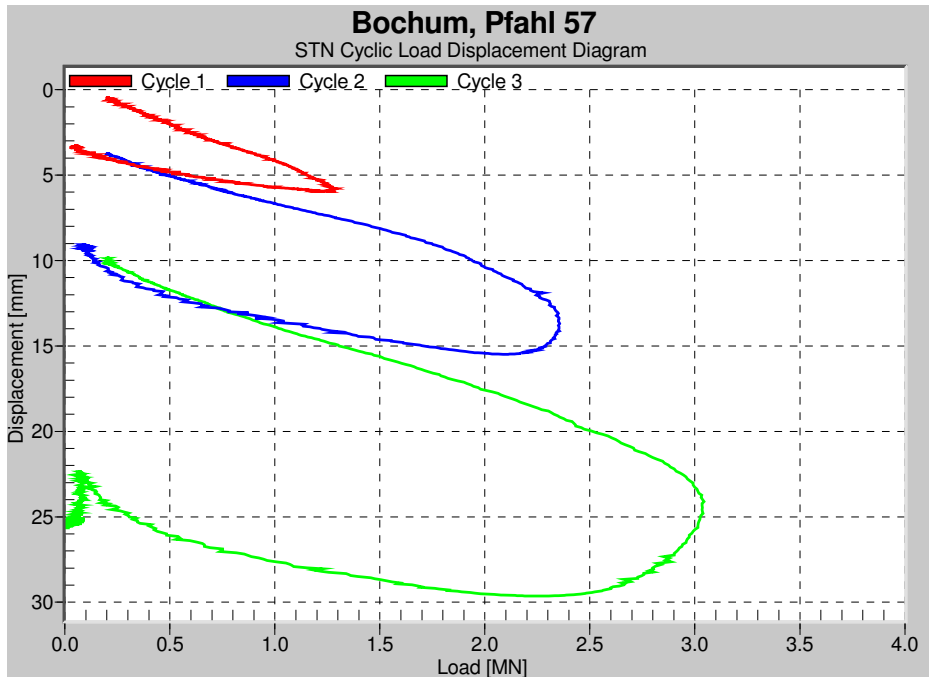


Abb. 7: Statnämische Lastsetzung diagram fur drei Zykusse

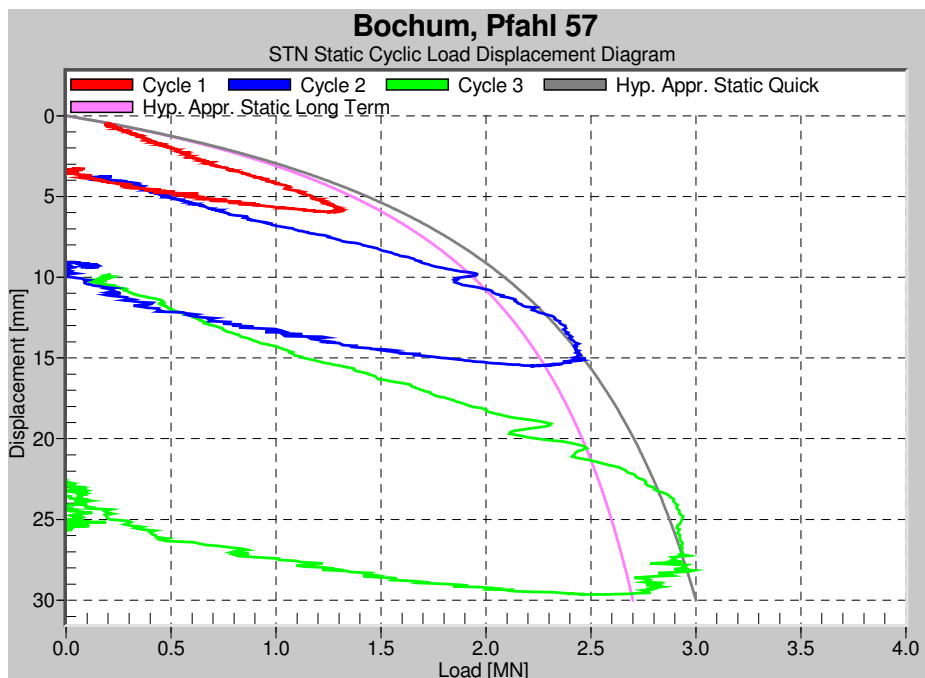


Abb. 8: Statische Lastsetzungsdiagram fur drei Zykusse mit hyperbolische Annäherung und Korrektur für Belastungsabhängigkeit der Boden

Standort	Jahr	Pfahlnummer	Pfahlart	Pfahllänge [m]	Durchmesser [mm]	Mobilisierte statische widerstand [kN]	Setzung [mm]	Nachzuweisende Tragfähigkeit [kN]
Testfeld in Emden	1992	5	Franki Ortbetonpfählen	15	800	4220	22	-
		6		18	800	3510	16	-
Güterverkehrszentrum (GVZ) Bremen	2001	2221	Jacbo-S	17.5	570	2460	27	1900
		1931	Jacbo-S	17.5	570	3030	30	1900
Großraumsilo, Emlichheim	2001	D5	Jacbo-S	16	570	2910	27	2708
		D13	Jacbo-S	16	570	3220	24	3096
Seilbahn Rostock	2002	F8-2	Jacbo-S	13	505	1770	12.5	1500
		F16-1	Jacbo-S	13	505	1880	24	1500
		F23-3	Jacbo-S	13	505	1500	22.5	902
Neubau Produktionsstandort Wolfsburg	2002	98	Jacbo-S	7	450	1080	44	972
		25	Jacbo-S	7	450	1120	27	902
Neubau Nettebad Osnabrück	2003	1	Jacbo-S	8.4	400	2300	14	1000
Neubau Billebad Hamburg-Bergedorf	2003	193	Jacbo-S	23.1	600	4400	12	3320
		194	Jacbo-S	18.1	600	3890	15.6	3540
		201	Jacbo-S	23.1	600	4280	12.2	3500
		202	Jacbo-S	18.1	600	3910	15.1	3300
		215	Jacbo-S	23.1	600	4240	9.3	3520
Neubau BP Headquarter Bochum	2004	15	Jacbo-S	17	720	3825	10.7	3.870
		27	Jacbo-S	11.2	620	2806	8	2.460
		80	Jacbo-S	11.2	620	3783	17	2.460
		95	Jacbo-S	17.7	720	4485	10.6	4.538
		108	Jacbo-S	12	620	3026	12.6	2.644
		117	Jacbo-S	15.5	720	3468	12.8	3.988

Tabelle 1. Resultate von statnamische Probelastungen in Deutschland .

Diagramm zusammengefasst, wobei der jeweils folgende Zyklus an das Testende (bleibende Setzung) des vorigen Zyklus gesetzt wird.

Bei fachgerechter Durchführung werden Ergebnisse ähnlich der Qualität einer statischen Probelastung erreicht. In dem lineare Lastsetzungsbereich stimmen die Resultate einer statnamischen mit denen einer statische Probelastungen sehr gut überein. Im nichtlinearen Bereich spielt die Belastungsgeschwindigkeit der Bodenarten eine grossere Rolle. Die Resultate der Belastungsstufen werden mit einem Hyperbel angenähert. Um die Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit zu kompensieren und um eine gute Übereinstimmung mit statische Probelastungen zu erzielen, wird der assypmtotische Wert der Hyperbel reduziert. Wie angegeben bei Holeyman 2001, 2003 ist der Werte dieser Reduktion 0-10% für nicht bindigen Bodenarten und 30-40% für bindige Bodenarten.

In Tabelle 1. sind die Resultate von vergangenen Jahren und rezente statnämische Resultaten in Deutschland dargestellt. Die gemessene Pfähle haben Länge von 7m bis 23 m und die Durchmesser variieren von 400 mm bis zum 800 mm. Die mit der statnämische Belastung mobilisierter statische Widerstand variiert von 1120 KN bis zum 4280 kN.

5 SCHLUßFOLGERUNGEN

Fallstudien in Deutschland, Belgien und die Niederlanden zeigen gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen von statischen und statnämischen Probebelastungen. Die Statnäm-Beprobung hat sich als zutreffende und wirtschaftliche Methode zur Betestung von Bohrpfählen bewährt. Durch direkte Messergebnisse entfällt das Einfügen von Erfahrungs- und Schätzwerten zur Bestimmung der Pfahltragfähigkeit. Bei fachgerechter Durchführung werden Ergebnisse ähnlich der Qualität einer statischen Probebelastung erreicht.

Statnämische Probebelastungen werden in Deutschland seit 1992 ausgeführt. Die erzielten Ergebnisse bestätigen die im Ausland gemachten positiven Erfahrungen.

SCHRIFTTUM

Holeyman, A., Couvreur, J.M., Charue, N., Results of Dynamic and Kinetic Pile Load Tests and Outcome of an international Prediction Event, Proceedings of the Symposium on Screw Piles, Brussels, Belgium, 2001 Balkema

Holeyman, A., Charue, N., International Pile Capacity Prediction Event at Limelette, Proceedings of the Second Symposium on Screw Piles, Brussels, Belgium, 2003, Balkema

Middendorp, P., Bermingham P., Kuiper B, 1992, Statnäm load testing of foundation piles. 4th International Conference on Stress Waves, The Hague, Balkema

de Gijt, J.G., van Dalen J.H, Middendorp, P., Comparison of Statnäm Load Test and Static Load Tests at the Rotterdam Harbour, First International Statnäm Seminar, Vancouver, 1995

Middendorp, P.; Statnäm, eine Alternative für statische Probebelastungen, Fachseminar "Pfahl-Symposium 95" Braunschweig, 1995

Middendorp. P., Wann wendet man die dynamische Belastungsprüfung an und wann die statnämische Prüfung. Pfahl-Symposium 1999, Braunschweig 1999.