

WIRKUNGSVOLLER EINSATZ MODERNER TESTMETHODEN ZUR SICHERUNG DER PFAHLQUALITÄT

Frank Rausche, Brent Robinson, Oswald Klingmüller

ZUSAMMENFASSUNG

Zur zerstörungsfreien Qualitätssicherung von Tiefgründungen gibt es eine Reihe von Verfahren, die mit verschiedenen Kosten verbunden sind, und deren Möglichkeiten und Grenzen weit auseinander liegen. Die Ausschreiber, die sich mit Hilfe dieser Verfahren eine verbesserte Bauaufsicht erhoffen, müssen von vorneherein wissen, was sie als Ergebnis erwarten können. Es ist auch wichtig, geeignete zusätzliche Test- oder Verbesserungsmaßnahmen für den Fall zu planen, in dem fehlerhaft ausgeführte Pfähle entdeckt werden. Im folgenden werden die gebräuchlichsten Testmethoden kurz vorgestellt, ihre Möglichkeiten und Grenzen bewertet und eine ungefähre Abschätzung ihrer Kosten angestellt. An Hand von Beispielen wird dann gezeigt, wie die Verfahren auf verschiedenen Baustellen und für verschiedene Pfahlarten eingesetzt wurden.

1 EINLEITUNG

Seit den siebziger Jahren wird immer häufiger die innere und äußere Tragfähigkeit und damit die Qualität von Tiefgründungselementen, hauptsächlich Pfählen, geprüft und überwacht. Dies wurde besonders durch die Entwicklung verbesserter elektronischer Meßverfahren und Rechner ermöglicht. Im letzten Jahrzehnt wurden auch zunehmend elektronische Überwachungen während des Pfahleinbaus vorgenommen.

Eine verbesserte Qualität der einzelnen Konstruktionselemente eines Bauvorhabens ist nur dann sinnvoll, wenn die Anzahl, Größe oder Länge der Gründungselemente und dadurch die Baukosten durch ermäßigte Sicherheitsbeiwerte verringert werden können. Weltweit, und besonders auch in Europa, werden dafür entsprechende Normen auf

statistischer Basis oder auf Grund von Erfahrung entwickelt. Der Einfluss von Art und Anzahl der Pfahltests auf die Gesamtkosten des Bauwerks unter Berücksichtigung der zur Begrenzung des Risikos vorgeschriebenen partiellen Sicherheitsbeiwerte wurde kürzlich in einer Studie an der University of Florida untersucht (McVay et al., 2003). McVay beschreibt wie die Sicherheitsbeiwerte statistisch mit Hilfe einer Datenbank ermittelt wurden. Der Beitrag enthält auch eine interessante Kostenanalyse einer Bohrpfahlgründung in Florida, USA.

Im folgenden werden vielfach angewendete Verfahren zur Überwachung der Herstellung und Überprüfung der Tauglichkeit von Pfählen vorgestellt und die Größenordnung ihrer Kosten bewertet. Genau kann das nicht gemacht werden, erstens, weil die verschiedenen Meßfirmen verschiedene Kosten haben und berechnen, und zweitens, weil zusätzliche Kosten von Unternehmer und Bauherrn schwer zu erfassen sind.

2 WARUM QUALITÄTSSICHERUNG?

Tiefgründungen kosten viel Geld und müssen relativ hohe Lasten aufnehmen. Sollte ein oder mehrere Gründungselemente versagen, dann kommt es meistens zu sehr hohen Sanierungskosten oder sogar zu einem völligen Verlust eines Bauwerkes. Die Ursachen für ein Pfahlversagen lassen sich auf zwei Qualitätsmängel zurückführen:

- (a) Äußere oder geotechnische Qualitätsprobleme, wenn der den Pfahl umgebende Boden nicht genügend Tragfähigkeit besitzt, sodaß es unter Gebrauchslasten schädliche Setzungen gibt.

- (b) Innere oder konstruktive Qualitätsprobleme, wenn die Bruchlast des Pfahlmaterials über das Bemessungsalter des Bauwerkes hinweg geringer ist als die Belastung. Z. B. gibt es beim Einbau des Betons von Ortbetonpfählen häufig Qualitätsfragen, wenn die Bruchfestigkeit des Betons durch einen Zusatzcocktail (Verzögerer, Verflüssiger, usw.) in Frage gestellt wird. Auch wird in hochbelasteten Pfählen die Bewehrung häufig so eng angeordnet, daß der Beton nicht vollständig in den Betondeckungsraum fließen kann.

Durch bodenmechanische Berechnungen, Beobachtungen während des Baus und Probelastungen kann die äußere Tragfähigkeit gesichert werden. Überwachungen während des Baus oder nachträgliche Versuche am fertigen Pfahl können die innere Qualität überprüfen.

Eine gute Qualitätskontrolle kostet Geld, läßt aber auch zu, daß der Sicherheitsfaktor der Gründung reduziert und daher an Länge, Größe oder Anzahl der Pfähle gespart werden kann. Es ist deshalb sinnvoll für jede Baustelle das optimale Qualitätssicherungsprogramm zu entwickeln und durchzuführen.

2 EINBAUBEGLEITENDE VERFAHREN

Am besten ist es natürlich, Qualitätsmängel bereits während des Bauens durch eine überzeugende Bauaufsicht zu vermeiden. Dazu gehören die normalen Materialuntersuchungen (Betonfestigkeit, usw.). Leider ist es aber selbst für erfahrene Fachleute nicht immer leicht zu entscheiden, ob der Beton dahin gekommen ist, wo man ihn braucht, und ob er dann immer noch die gewünschten Eigenschaften hat. Je nach Pfahlart muss man daher noch zusätzliche Messungen oder Beobachtungen machen und in einem entsprechenden Bericht aufnehmen.

3.1 Schneckenbohr- und Verdrängungspfähle

Bei dieser Bauweise ist es wichtig zu wissen, ob die eingepreßte Betonmenge dem Volumen des nach oben ausfahrenden Bohrgerätes entspricht. Deshalb werden häufig die Bohrtiefe und Betonmenge gemessen (Likins et al., 2000). Elektronische Messungen, automatisch protokolliert, sind dabei wesentlich genauer als eine bloße Beobachtung des Vorganges. Diese Messungen helfen auch dem Bohrmeister, genauer und wirtschaftlicher zu arbeiten. Bei einer automatischen Überwachung kann auch der Druck in der Betonleitung, die Anzahl der Bohrumdrehungen, das Bohrmoment zusammen mit anderen Einzelheiten gemessen werden. Es kann allerdings immer noch zu schadhafte Pfählen kommen, z. B., wenn im Untergrund Hohlräume angetroffen werden, und es ist deshalb

unter Umständen angezeigt, noch zusätzliche Interitätsmessungen anzustellen. Bohreinrichtungen werden entweder vom Hersteller von vorne herein mit einem Messsystem ausgestattet oder sie können nachgerüstet werden. Da ohne weiteres Tausende von Pfählen ohne grosse Wartungskosten dieser Elektronik gemessen werden können, sind die Kosten pro Pfahl höchstens € 20.

3.2 Rammpfähle

Während des Pfahlrammens wird normalerweise ein Rammerbericht erstellt, der die Schlagzahl (Anzahl der Schläge pro m oder dm Pfahleindringung) über die Eindringtiefe festhält. Ein vollständiger Bericht würde dabei auch noch Angaben über die dynamischen Spannungen im Pfahl und die in den Pfahl übertragene Energie machen. Dazu gibt es Messungen am Pfahlkopf (mit Hilfe eines Pile Driving Analyzers®), am Bär zur Bestimmung seiner Aufschlagsgeschwindigkeit (z. B. mittels Laser, RADAR oder im Bär eingebauten Näherungsschalter), oder auch, um die Sprunghöhe von Dieselsären zu messen (Saximeter). Diese Methoden wurde bereits in mehreren Beiträgen zu den Pfahlsymposien in Braunschweig beschrieben, dabei ist das PAL-R Gerät, das die Meßdaten per Telefon ins Ingenieurbüro schickt, mit etwa € 300 bis 500 pro Pfahl besonders wirtschaftlich (Rausche und Grävare, 1999).

Natürlich kann ein einfacher Rammerbericht nicht einwandfrei Auskunft darüber geben, ob jeder Pfahl schadlos eingerammt wurde und ausreichende Tragfähigkeit erzielte. Auch die Schlagzahl liefert nur einen ungefähren Wert der Pfahltragfähigkeit. Diese Beobachtungen sind aber zusammen mit Proberammungen und Probelastungen im allgemeinen für eine befriedigende Qualitätssicherung ausreichend.

3.3 Bohrpfähle

Wegen der Vielfalt der Bohr- und Betoneinbauverfahren gibt es kein einheitliches Verfahren der Bauüberwachung. Wenn unter Suspension betoniert wird, ist es besonders schwierig, eingebautes Betonvolumen als Funktion der Tiefe der Betonhöhe im Bohrloch zu protokollieren. Auf diesem Gebiet wird z. Zt. Entwicklungsarbeit geleistet.

4 TESTMETHODEN FÜR DEN FERTIGGESTELLTEN PFAHL

4.1 Low Strain Test

In Deutschland wird dieses Verfahren sehr häufig entsprechend den Empfehlungen der DGGT angewendet. Mit einem leichten Hammer wird der Pfahlkopf abgeklopft und die dadurch entstehende Pfahlkopfbewegung mit einem Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsgeber aufgenommen. Dieses Signal besteht zu einem Teil aus der vom Hammerschlag erzeugten Pfahlkopfbewegung; der zweite Teil des Signals kommt durch Reflexionswellen zustande, die entweder am Pfahlfuß oder an der Stelle einer Querschnitts- oder Qualitätsänderung entstehen. Manchmal wird auch noch die Kraft des Hammerschlages gemessen; da diese Kräfte aber relative klein sind, entsprechen sie sehr kleinen Dehnungen im Pfahl und können daher nur am Hammer und nicht im Pfahl gemessen werden. Je höher die Bodenfestigkeit, je länger der Pfahl (relativ zum Durchmesser), oder je ungleichförmiger der Pfahl, umso geringer die Stärke der Reflexionssignale. Daher ist es mit diesem Verfahren oft für lange Pfähle nicht möglich, eindeutige Aussagen über die Integrität des tiefer gelegenen Pfahlteiles zu machen. Auch können im allgemeinen nur solche Qualitätsveränderungen eindeutig erkannt werden, die mehr als 15% des Querschnitts beeinflussen. Die Kosten dieses Verfahrens sind weitgestreut und können je nach Land zwischen €10 und 100 pro Pfahl liegen, wenn mehrere Pfähle pro Testtag geprüft werden; es ist nicht ungewöhnlich, daß 100 Pfähle pro Tag und Testingenieur geprüft werden.

4.2 Kernbohrung

Wenn einfachere und billigere Tests Zweifel an der Pfahlqualität aufkommen lassen, wird häufig eine Kernbohrung verlangt, um eindeutige Aussagen über die Qualität des Betons zu erzielen. Leider läßt aber selbst die relativ teure Kernbohrung nur begrenzte Aussagen über die Qualität des gesamten Pfahlquerschnitts zu. Ein Vorteil ist aber, daß die Bohrlöcher für Korrekturarbeiten an den Fehlstellen (z.B. Injizieren) zur Verfügung stehen. Die Kosten, in den USA ungefähr €100 bis €150 pro Meter Bohrung mit 100 mm Bohrlochdurchmesser, sind je nach Zugänglichkeit des Pfahles recht verschieden.

4.3 High-Strain Test

Wie beim Pfahlrammen läßt man ein schweres Schlaggewicht auf den Pfahlkopf fallen, wodurch sowohl eine Spannungswelle im Pfahl als auch eine Eindringung des Pfahles in den Boden erzeugt wird. Entsprechend den Empfehlungen der DGGT werden die Kraft und Geschwindigkeit am Pfahlkopf während des Schlages gemessen. Die Spannungswelle ist aber relative lang und deshalb entdeckt die HS Methode nur größere Fehlstellen im Pfahl. Gleichzeitig liefert sie aber auch die Daten einer dynamischen Probelastung. Der Vorteil dieser Methode ist deshalb die relativ hohe Belastung im Pfahl während des Versuchs. Allerdings ist dieses Verfahren aufwendiger als der einfache LS Test und kommt daher als Integritätsprüfung nur dann zur Anwendung, wenn andere Methoden Zweifel an der Tragfähigkeit und Integrität des Pfahles aufkommen lassen. Die Kosten diese Verfahrens liegen bei grösseren Pfählen im Bereich von € 0,5 bis 1 pro kN der entsprechenden statischen Belastung.

4.4 Ultraschall

Im englischen Sprachraum nennt man dieses Verfahren Cross Hole Sonic Logging (CSL). Meßrohre mit einem Durchmesser von etwa 50 mm werden am Bewehrungskorb befestigt. Die Rohre werden mit Wasser gefüllt und ein paar Tage nach dem Betonieren werden ein Ultraschallgeber und ein in seiner Frequenz ähnlicher Empfänger in einem Nachbarrohr simultan nach unten abgelassen und dann wieder nach oben gezogen. Während dieses Vorgangs werden ununterbrochen Ultraschallimpulse vom Geber ausgesendet und, nachdem sie mit der Geschwindigkeit des Schalls durch den Beton gewandert sind, vom Empfangsgeber gemessen. Schlechte Betonqualität wird sowohl durch eine Reduzierung der Wellengeschwindigkeit im Beton als auch durch eine Schwächung des empfangenen Signals angezeigt. Solange allerdings das Ultraschallsignal einen relativ direkten Weg durch guten Beton zum Empfängerrohr findet, haben benachbarte Fehlstellen wenig Einfluß auf das Ergebnis. Aus diesem Grund können Fehlstellen im Bereich der Betondeckung i.a. nicht entdeckt werden. Die Kosten dieses Tests liegen je nach Anzahl und Länge der Meßrohre zwischen € 200 und 2000 pro Pfahl.

4.5 Gammastrahlung

Ähnlich wie beim Ultraschallverfahren ist es notwendig Meßrohre im Bohrpfahl einzubauen. Eine Gammastrahlenprobe wird dann in ein Meßrohr eingeführt und die Strahlung im Nachbarrohr gemessen. Höhere Betondichten werden durch niedrigere Strahlungen am Empfangsgeber angezeigt. Da die Strahlungsmenge auch dann zunimmt, wenn die Betondeckung um das Meßrohr herum abnimmt, können Fehlstellen auch ausserhalb des Bewehrungskorbes entdeckt werden. Die Kosten dieses Verfahrens sind ähnlich wie die des Ultraschalltests.

4.6 Probelastungen

Gewöhnlich wird eine Statische Last auf dem Pfahlkopf aufgebracht und die entsprechende Pfahlkopfeindringung gemessen. Statische Probelastungen können aus wirtschaftlichen Gründen (€ 5 pro kN Belastung) nur an wenigen Pfählen einer Baustelle durchgeführt werden und sind daher nur sinnvoll, wenn es darum geht, die äußeren Tragfähigkeitseigenschaften des Boden-Pfahlsystems grundsätzlich für die Tragschichten einer Baustelle zu bestimmen. Sie kommen also nicht zur Qualitätssicherung der einzelnen Produktionspfähle zur Anwendung.

Bei der etwas weniger aufwendigen Osterberg Methode wird eine hydraulische Presse am Pfahlfuß eingebaut. Wegmessung des unteren Pressenteils ergibt zusammen mit der Pressenkraft die Arbeitslinie des Spitzenwiderstandes. Ebenso kann dann auch die Last-Hebungslinie der Mantelreibung dargestellt werden; sie wird meistens mit der Last-Setzungslinie der Mantelreibung gleichgesetzt. Die Gesamtbelastung ist daher das Doppelte der Pressenkraft. Diese Methode ist besonders wirtschaftlich, wenn sehr hohe Belastungen (z. Zt. bis ca. 150 MN) nachgewiesen werden müssen und kostet etwa nur die Hälfte einer herkömmlichen statischen Probelastung (s.a. McVay et al., 2003).

Bei der Dynamischen Probelastung wird der Pfahl, wie bei der High-Strain Integritätsmessung, durch einen Schlag 10 bis 20 ms lang belastet. Die gebräuchlichste Methode erfordert den kurzen harten Aufschlag einer Masse deren Gewicht ungefähr 1

bis 2% der erforderlichen Prüflast ist. Die Kraft- und Geschwindigkeitsmessungen werden mit Hilfe eines dynamisch-statischen Simulationsprogramms ausgewertet. Diese Methode kostet je nach Anzahl der gleichzeitig durchgeführten Tests 10 bis 20% einer statischen Probelastung. Es ist nicht sinnvoll aus Sparsamkeitsgründen ein zu leichtes Fallgewicht zu wählen, weil dann die berechnete Tragfähigkeit zu niedrig ausfallen kann.

Beim sogenannten Rapid Load Test ist das Fallgewicht ungefähr 5 mal höher als bei der dynamische Probelastung, wird entweder weich abgefedert oder durch die Explosion eines Treibstoffs in einem Verbrennungsraum zwischen Pfahlkopf und „Fallgewicht“ nach oben gedrückt. In diesem Test ist die Belastungsdauer ungefähr 100 ms. Dieser Test kostet vielleicht 20 bis 40% einer statischen Probelastung.

5 BEISPIELE

5.1 Ultraschall und Kernbohrung bei Bohrpfählen

Bei einem Brückenbau im Südosten der USA kamen je drei Pfähle pro Stützenreihe mit 1.8 m Durchmesser und ca. 21 m Länge zur Anwendung. Sie wurden auf 50% Mantelreibung und Spitzendruck im schluffigen Sand bemessen. In jedem Pfahl wurden 6 Stahlmeßrohre, Durchmesser 50 mm eingebaut. Beim ersten Pfahl zeigte das Ultraschallverfahren Signalverlust im Pfahlfußbereich in den Messungen zwischen allen Meßrohren. Bild 1-rechts - zeigt die Meßergebnisse zwischen Meßrohren 1 und 2 in der Form der sogenannten Wasserfalldarstellung und den Auswertungen Signalkunftszeit und Signalenergy. Die Messungen wurden nach 4 Wochen wiederholt um auszuschliessen, dass es sich hier nur um ein langsames Abbinden des Beton handelte. Nach weiteren Verzögerungen wurden dann Kernbohrungen durchgeführt, der Pfahlfuß ausgespült und mit Hilfe einer Videokamera inspiziert. Wie erwartet waren die Bewehrungsstäbe im Fussbereich des Pfahles über eine Höhe von etwa 300 mm klar zu erkennen. Der ausgespülte Raum wurde durch die Kernbohrlöcher mit Zementinjektionen verfüllt. Eine weitere Ultraschallmessung zeigte dann eine verbesserte Qualität des Materials im Pfahlfussbereich (Bild 1 – links; da die Messrohre gekürzt worden waren ist der Höhemaßstab gegenüber dem rechten Bild um beinahe 2 m verschoben).

Erfahrungsgemäß zeigen solche Messungen nach Reparaturarbeiten eine Verbesserung aber keine völlige Restaurierung. In der Tat kann eine Arbeitsfuge in dieser Messung erkannt werden.

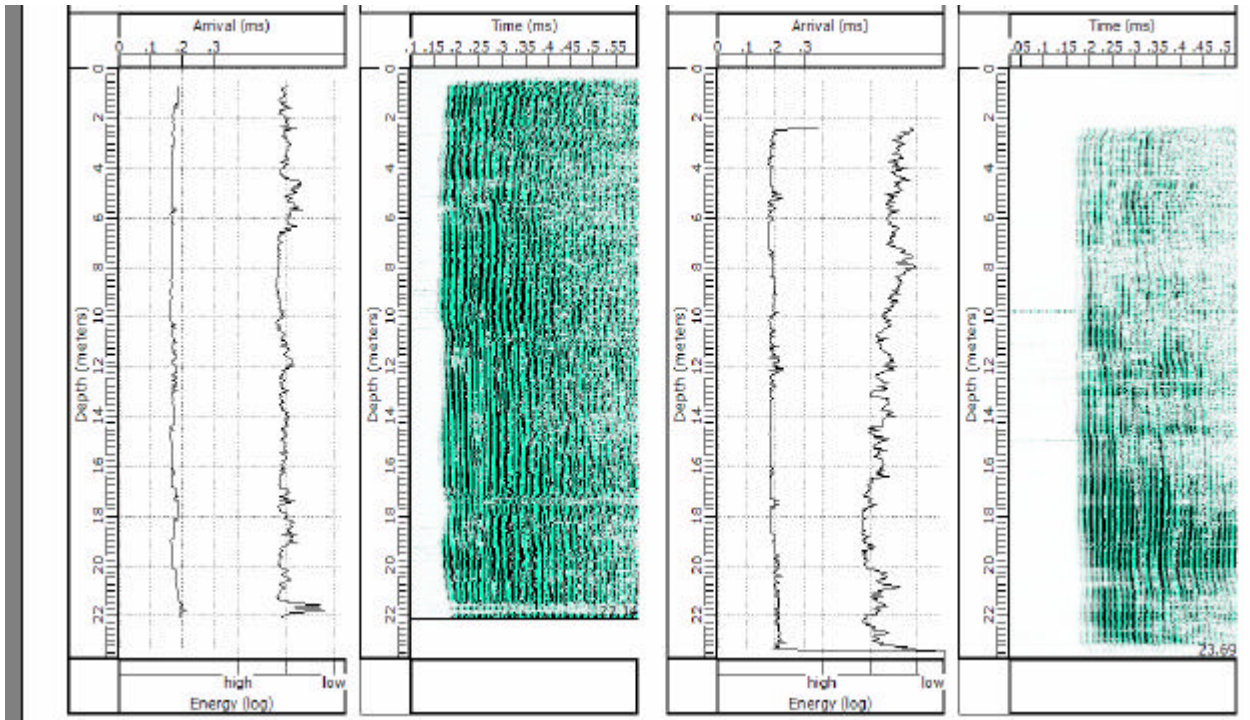


Bild 1: Ultraschallmeßergebnisse vor (rechts) und nach der Verpressung am Pfahlfuss

Auf dieser Baustelle entstanden hohe Kosten nicht etwa durch die Messung (ca. € 1000 pro Pfahl, da meistens nur 1 oder 2 Pfähle zur gleichen Zeit geprüft werden konnten), sondern durch die lange Wartezeit, weil von vorneherein keine klarer Lösungsweg nach der Entdeckung eines Problempfahles vorgeschrieben war. Dazu kamen natürlich auch die Kosten der Kernbohrungs- und Reparaturarbeiten. Differentialsetzungen der Stützenreihe hätten aber sicher noch wesentlich größere Kosten verursacht. Der Fehler am Pfahlfuss wurde auf ein zu schnelles Ziehen des Betonierrohres zu Beginn des Betonierens des Pfahles zurückgeführt. In allen anderen Pfählen der Baustelle wurde dieser Fehler vermieden.

Es muss noch angemerkt werden, daß die Low Strain Methode diesen Pfahl wahrscheinlich als „besonders gut“ klassifiziert hätte, weil der geringe Fusswiderstand ein

klares Fussignal zugelassen hätte. Das Fussignal wäre zwar etwas zu früh erschienen (0,3 m), das hätte man aber wahrscheinlich auf die ungenaue Kenntnis der Geschwindigkeit der Spannungswelle im Beton zurückgeführt.

5.2 Schneckenbohrpfähle

Auf einer Stadiumbaustelle wurde von einem Unternehmer zum ersten Mal eine elektronische Überwachung des Einbaus von Schneckenbohrpfählen (Durchmesser 450 mm, Länge 13.5 m) im mitteldichten bis dichten Sand durchgeführt. Einer der ersten Pfähle wurde statisch probebelastet, versagte aber unter einer relativ geringen Last, die einer Betonspannung von etwa 13 MPa entsprach (Bild 2). Ein Low Strain Test zeigte eine Fehlstelle im unteren Drittel des Pfahles (Bild 3). In der Tat war das verpreßte Betonvolumen an dieser Stelle geringer als das Sollvolumen und erklärte das Versagen des Pfahls (Bild 4). Weil das Gerät neu war, hatte der Bohrmeister der elektronischen Messung während des Einbaus der ersten Pfähle nicht getraut und sie daher geflissentlich übersehen.

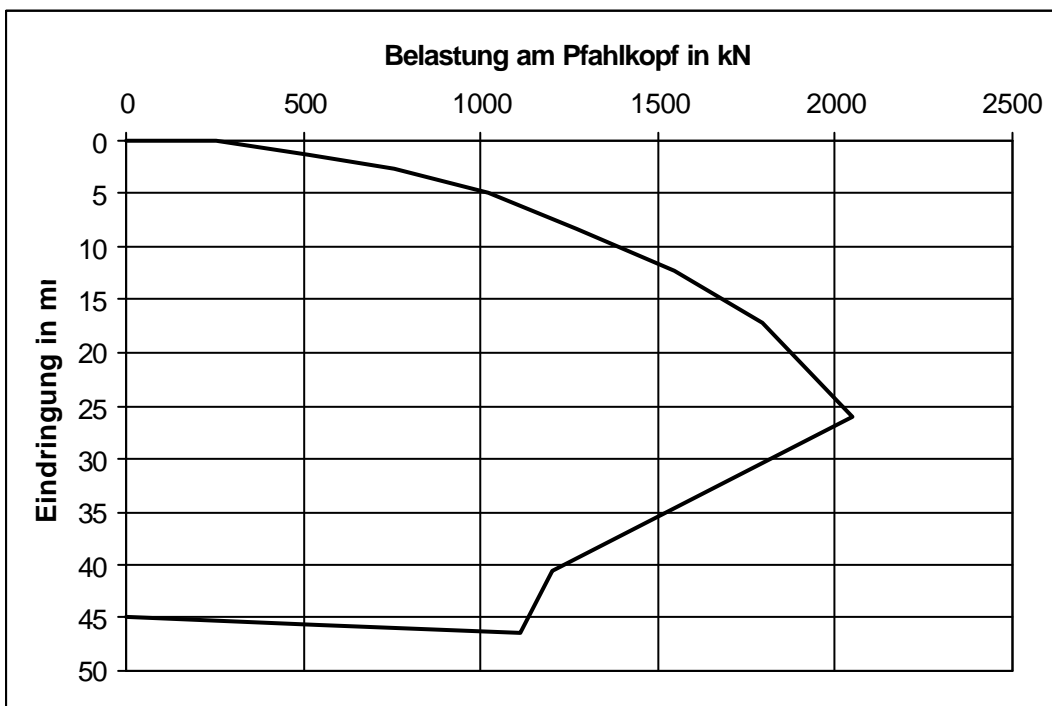


Bild 2: Last-Setzungskurve, Schneckenbohrpfahl

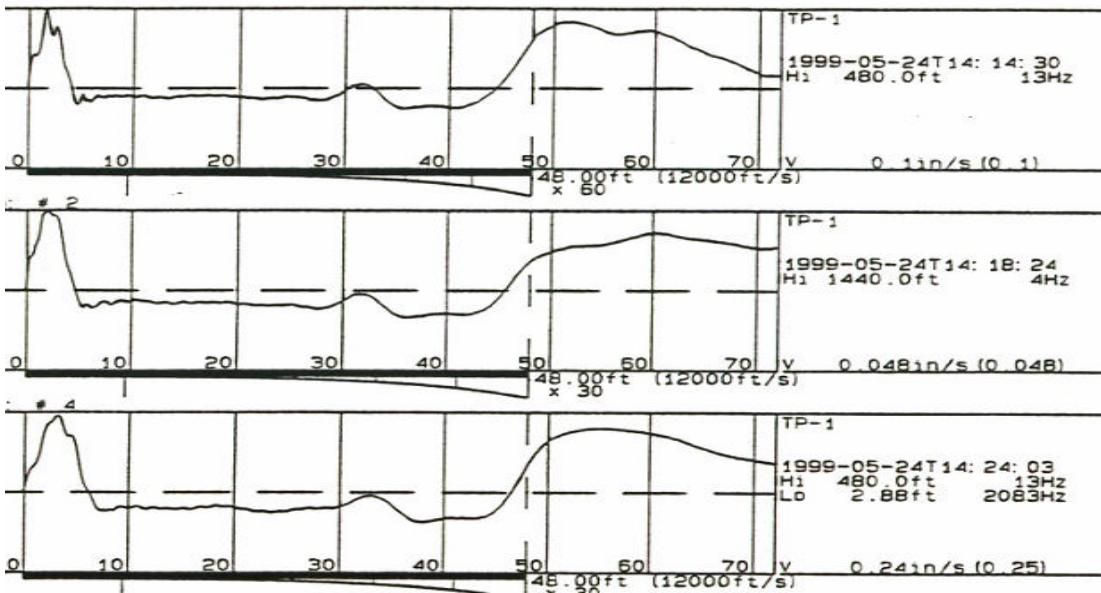


Bild 3: Schneckenbohrpfahl; Low Strain Messung mit Reflexion bei 28 ft

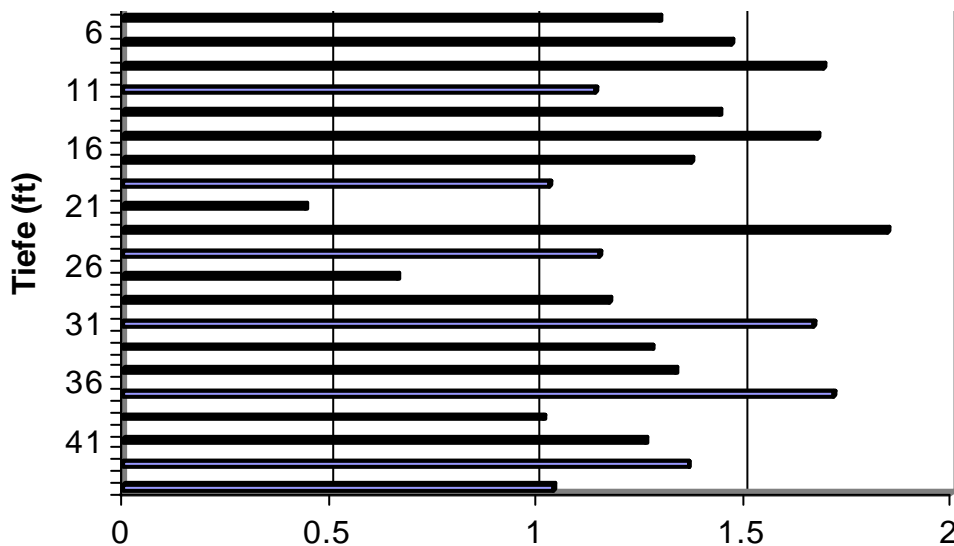


Bild 4: Schneckenbohrpfahl:
Messvolumen / Soll-Volumen

5.3 Rammpfähle und Highstrain Testing



Bild 5: Rammpfähle: PDA mit Telefonverbindung im Einsatz

Im Bundesstaat Colorado wurde eine Gründung mit insgesamt 8200 m Stahlpählen in einem Elektrizitätswerk ausgeschrieben (Frazier et al., 2002). Der Stahlspannungen unter Gebrauchslasten sollten höchstens 60 MPa sein und der Sicherheitsfaktor für die äußere Tragfähigkeit wurde mit 2.25 vorgeschrieben. Als Sondervorschlag bot ein Unternehmer höherwertigen Stahl mit 120 MPa Gebrauchsspannung an, zusammen mit einer

statischen und ungefähr 4% dynamischen Probelastungen und einem Sicherheitsfaktor 2.0. Dazu wurde auch vorgeschlagen, daß alle hochbelasteten Pfähle dynamisch getestet würden. Diese Lösung bot sich an, da die tragfähige Schicht aus einem harten Tonstein bestand, und deshalb zusätzliche Tragfähigkeit ohne großen zusätzlichen Aufwand erzielt werden konnte.

Um die Testkosten und Unterbrechungen des Baustellengeschehens in erträglichen Maßen zu halten, wurde weiterhin vorgeschlagen, daß die dynamischen Tests „Remote“, d.h. per drahtloses Telefon durchgeführt würden. Die Dehnungs- und Beschleunigungsgeber wurden daher vom Rammpersonal an den Pfählen befestigt und über ein Kabel mit einem PDA, Model PAL-R verbunden. Dieses Gerät wurde dann an ein „Handy“ angeschlossen. Während die Proberammungen abliefen, erhielt der Testingenieur die Signale im Büro in Ohio und wertete sie sofort aus. Der Meßbericht wurde noch am selben Tag geschrieben und dem Kunden zugeschickt. Die gesamte Pfahlgründung konnte somit auf 5500 m reduziert werden, was einer Ersparnis von ungefähr \$180,000, nach Abzug der Testkosten, entsprach.

5.4 Bohrpfähle

Auf einer Baustelle im Norden der USA kamen Bohrpfähle mit Durchmesser 1070 mm zur Ausführung. Die etwa 20 m langen Pfähle wurden ca. 1.5 m tief in den harten Kalkstein eingebunden. Eine statische O-Cell Probelastung an einem Versuchspfahl ergab mehr als 50 MN Tragfähigkeit. An den Produktionspfählen wurden dann stichprobenweise Ultraschallprüfungen durchgeführt; sie zeigten an mehreren Pfählen Fehlstellen im Beton.

Die Ultraschallmethode wird i.a. als verlässlicher als die Low Strain Methode erachtet. Obwohl das billigere LS Verfahren auch an den fraglichen Pfählen angewendet wurde und keine nennenswerten Fehler zeigte, wurde es daher nicht zur Beurteilung der Pfahlqualität zugelassen. Erschwerend war in diesem Fall, daß die Fehlstellen in verschiedenen Querschnittszonen und Höhen vorkamen und daher mit Kernbohrungen nicht sehr leicht erschlossen werden konnten. Deshalb wurden High Strain Tests mit 18 MN Probelastung und gleichzeitiger Überprüfung der inneren Tragfähigkeit verlangt. Der Unternehmer füllte als Schlaggewicht ein Bohrohr mit ca. 25 Mg Alteisen und verwendete

ein zweites, etwas größeres Bohrrohr als Führung. Die Freifallhöhe konnte auf 3.5 m gesetzt werden, weil das Fallgewicht (das Alteisen) relativ „weich“ war. Insgesamt wurden dann 16 Probelastungen durchgeführt, dreizehn davon an einem Tag. Ihre Kosten beliefen sich pro Pfahl auf ca. € 3000. Die Pfähle hatten unter den dynamischen Belastungen keine bleibende Eindringung, d.h. also, dass unter der dynamischen Belastung weder die innere noch die äussere Tragfähigkeit voll aktiviert wurde. Bilder 6 und 7 zeigen die Ergebnisse der CAPWAP® Auswertung der Messungen an drei verschiedenen Pfählen als statische Last-Setzungskurven und als Verteilung der Bodenwiderstandskräfte (die unterste Linie ist der Spitzendruck) .

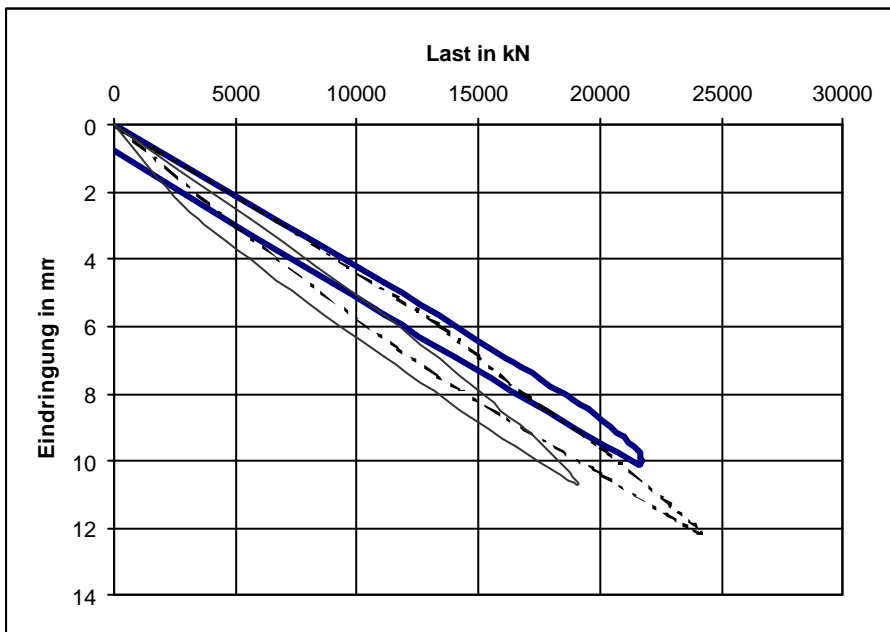


Bild 6: Dynamisch ermittelte Last-Setzungskurven von 3 Bohrpfählen

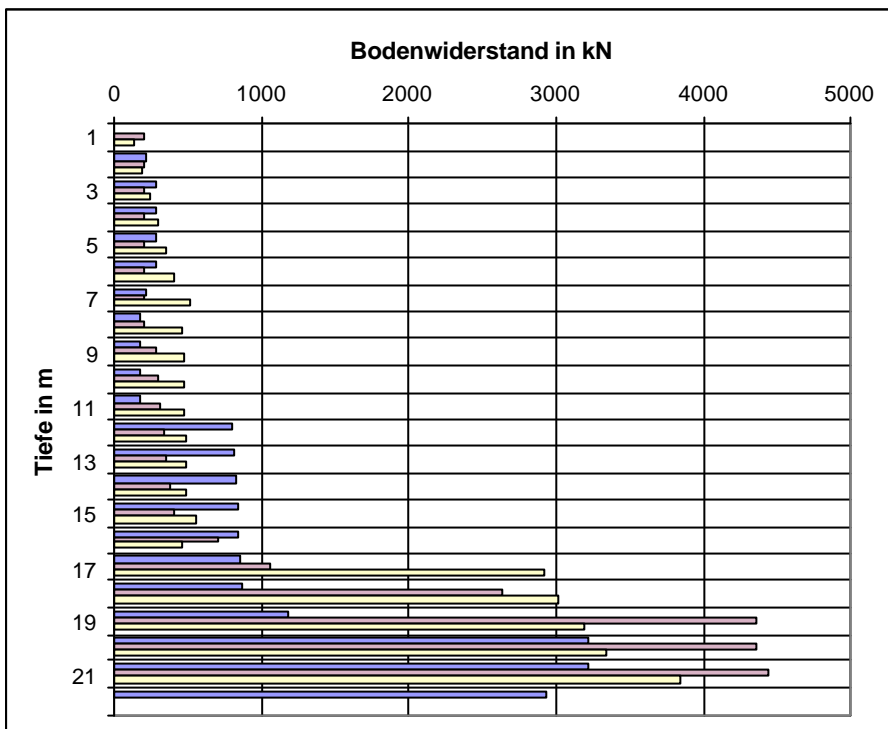


Bild 7: Dynamisch ermittelte Bodenwiderstandsverteilung von 3 Bohrpfählen

6 ZUSAMMENFASSUNG

Tiefgründungen sind teuer, wichtig für die Qualität und Integrität eines Bauprojekts und schwierig zu überwachen. Es gibt aber eine Reihe von Verfahren zur Qualitätssicherung. Am wirtschaftlichsten ist die automatische Überwachung während des Einbaus; leider steht sie aber nur für Ramm- oder Schneckenbohrpfähle zur Verfügung. Low Strain Messungen können auch schnell und einfach an Betonpfählen durchgeführt werden; mit ihnen können große Fehlstellen entdeckt werden. Allerdings sind diesem Verfahren bei großen Pfahllängen oder bei komplexen Pfahlgeometrien Grenzen gesetzt. Für Bohrpfähle ist das genaueste Verfahren zur Betonprüfung die Ultraschallmessung. Bei diesem Verfahren besteht sogar die Gefahr, dass man zu viel sieht. Wenn diese Verfahren Zweifel an der Pfahlintegrität aufkommen lassen, müssen entweder Kernbohrungen oder dynamische Probelastungen eingesetzt werden. Bei

Rammpfählen sind die dynamischen Probelastungen immer anwendbar, nicht nur zur Qualitätssicherung, sondern auch zur Erzielung einer besseren Wirtschaftlichkeit. Mit Hilfe drahtloser Datenübertragung können Messungen in kürzester Zeit ausgewertet werden und über die Pfahlqualität Auskunft geben.

7 LITERATUR

Frazier, J., Likins, G., Rausche, F., und Goble, G., 2002. Improved pile economics: high design stresses and remote pile testing; Deep Foundations Institute, 27th Annual Conference on Deep Foundations, San Diego, 169-175.

Likins, G., Piscsalko, F. Rausche, und G., Morgano, M., 2000. Detection and prevention of anomalies for augercast piling. Sixth International Stress Wave Conference, Sao Paolo, A.A. Balkema, 205 -209.

McVay, M., Ellis, R., Birgisson, B., Consolazio, G., Putcha, S., and Lee, S.M., 2003. Use of LRFD, cost and risk to design a drilled shaft load test program in Florida limestone. Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting, Jan. 12-16, Washington, D.C.

Rausche, F. und Grävare, C-J., 1999. Dynamische Pfahlprüfungen im Dritten Jahrtausend. Pfahlsymposium 1999, Technische Universität Braunschweig.

Dr., Dipl.-Ing. Frank Rausche, Brent Robinson

GRL Engineers, Inc.

4535 Renaissance Parkway

Cleveland, OH 44128, USA

Dr.-Ing. Oswald Klingmüller

GSP

Kaefertalerstraße 164

6800 Mannheim