



Nachträgliche Bestimmung der Länge von Spundbohlen an Schiffsanlegern

Ernst NIEDERLEITHINGER, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Matthias FRITSCHKE, iff, Berlin

Kurzfassung. Aufgrund fehlender oder nicht mehr aktueller Standsicherheitsnachweise mussten für zwei Umschlagplätze an Berliner Wasserstraßen die Längen der Spundbohlen ermittelt werden. Die Planunterlagen waren in beiden Fällen unvollständig. Zunächst wurde an zahlreichen Bohlen das aus der Pfahlprüfung bekannte Verfahren der Low-Strain-Integritätsprüfung angewendet. Die Ergebnisse waren aber aufgrund der multiplen Reflexionen bei Spundwänden in einigen Fällen nicht eindeutig. Zudem fehlte die für die Methode sehr wichtige Möglichkeit zur Kalibrierung. Daher wurde in einer Studie der Einsatz des Parallel-Seismik-Verfahrens erprobt. Hierzu wurden nahe der Spundwand verrohrte Bohrungen niedergebracht. Die Laufzeiten von durch Hammerschlag auf die Bohlen ausgelösten elastischen Wellen werden im Bohrloch durch Sensoren in verschiedenen Tiefen registriert. Aufgrund der unterschiedlichen Wellengeschwindigkeiten lässt sich so die Lage der Bohlenunterkante ermitteln, wobei noch Unsicherheiten bei gestaffeltem Verbau der Spundwand vorliegen. Aus der gemeinsamen Auswertung vorhandener Unterlagen, der Integritätsprüfung und dem Parallel-Seismik-Verfahren ließen sich die Spundbohlenlängen mit der geforderten maximalen Unsicherheit von +/- 0,5 m bestimmen.

1 Einführung und Fragestellung

Die Firma CEMEX Deutschland AG betreibt in Berlin zwei Umschlagplätze an Wasserstraßen zur Lagerung und Mischung von Schüttgütern. An der Allée du Stade am Hohenzollernkanal in Wedding (Napoleonkai) ist das Ufer mit einer ca. 260 m langen einfach verankerten Spundwand befestigt, direkt am Ufer entlang findet schwerer LKW-Verkehr statt. Am Schleusenufer an der Spree in Berlin Kreuzberg ist das Ufer mit einer ca. 70 m langen unverankerten Spundwand befestigt, direkt hinter der Spundwand wird über eine Länge von 39 m ein Ladekran auf Gleisen betrieben.

Für beide Umschlagplätze musste vom Wasserschiffahrtsamt Berlin (WSA) nachträglich noch eine Genehmigung für den Betrieb erteilt werden, da die Standsicherheitsnachweise für die Spundwände fehlen oder nicht aktuell sind. Für beide Plätze sind die Längen der Spundbohlen jedoch unbekannt.

Problematisch in diesem Zusammenhang ist, dass Bauausführungen entlang der Berliner Wasserstraßen vor 1989 treuhändlerisch von der DDR verwaltet und beauftragt wurden. 1989 bis 1990 wurden die Unterlagen an die Berliner Wasserschiffahrtsämter übergeben. Einige Dokumente gingen aber offenbar verloren. Für den Umschlagplatz in Kreuzberg konnten Planungsunterlagen aufgefunden werden, für den Umschlagplatz am Napoleonkai in Wedding lagen keinerlei Unterlagen in den Ämtern.

Das Ingenieurbüro Faust & Fritsche (*iff*) wurde von der CEMEX Deutschland, Abteilung LGU, beauftragt, die Längen der Spundwandbohlen an beiden Standorten

messtechnisch zu bestimmen. Zur Lösung dieser Aufgabe wurden zunächst Integritätsmessungen nach dem Low-Strain-Verfahren angewendet. Die Ergebnisse sollten durch ein unabhängiges Verfahren bestätigt werden. Daher wurde die BAM Berlin, Fachgruppe VIII.2, mit der Durchführung einer Vorstudie zur Eignung des Parallel-Seismik-Verfahrens beauftragt. Aus Platzgründen werden nur die Ergebnisse vom Napoleonkai ausführlich vorgestellt.



Abbildung 1: Anlegestelle Napoleonkai

2 Messverfahren

Für die zerstörungsfreie Untersuchung von Fundamentpfählen gibt es seit mehrere Jahrzehnten eine Reihe von Messverfahren [1]. Sie haben sich in der Praxis vor allem bei der Qualitätssicherung von neuen Pfählen bewährt. Für ihren Einsatz in Deutschland gibt es Empfehlungen der DGGT [1]. Zur Untersuchung anderer Fundament – und Gründungstypen, sowie von alten Fundamenten z. B. im Rahmen von Wiedernutzungsprojekten liegen inzwischen ebenfalls zahlreiche Erfahrungen vor [3][4][5].

Für die vorliegende Fragestellung wurde aufgrund der einfachen Anwendung und Kostenvorteilen zunächst die Low-Strain-Pfahlintegritätsprüfung angewendet. Da die Ergebnisse nicht in allen Fällen eindeutig zu interpretieren waren und zudem eine unabhängige Bestätigung erfolgen sollte, wurde zusätzlich das Parallel-Seismik-Verfahren eingesetzt. Für andere, ebenfalls aus einem Bohrloch anzuwendende Messverfahren wie Magnetfeldmessung oder Induktionsmessung war in der Kürze der Zeit keine Messausrüstung verfügbar.

2.1 Low-Strain-Pfahlintegritätsprüfung

Zweck der Prüfungen ist der Nachweis von Länge und Integrität von Gründungspfählen. Mit dem „Low-Strain“-Verfahren kann nicht die Tragfähigkeit nachgewiesen werden, aber Fehlstellen in der Pfahlbeschaffenheit, sowie eine zu geringe Länge oder mangelhafte Betonqualität können erkannt werden. Im Vergleich zu den Tragfähigkeitsuntersuchungen mit schweren Fallgewichten wird bei diesem Verfahren mit kleinen mechanischen Spannungen („low strain“) gearbeitet.

Durch einen Hammerschlag auf den Pfahlkopf wird eine Stoßwelle erzeugt, die den Pfahlschaft axial durchläuft und am Pfahlfuß, aber auch an Störstellen reflektiert wird (Abbildung 2 und Abbildung 3, links). Gemessen werden die zugehörigen Laufzeiten der reflektierten Stoßwellen am Pfahlkopf (Messort) und die Intensitäten der Reflexionen. Aus den Ankunftszeiten der Reflexionen kann über die Wellengeschwindigkeit auf die Tiefe der Störungen geschlossen werden. Die stärkste Reflexion geht meistens vom Pfahlfuß aus.

Die Pfahllänge berechnet sich aus der gemessenen Laufzeit t und der Wellengeschwindigkeit c nach:

$$L = \frac{c \cdot t}{2}$$

Für c sind dabei Erfahrungswerte anzusetzen oder besser eine Kalibrierung durch eine unabhängige Methode durchzuführen. Im vorliegenden Fall wurde konservativ für Stabwellen eine Geschwindigkeit von 5200 m/s angesetzt, was ggf. zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Bohlenlängen führen kann.

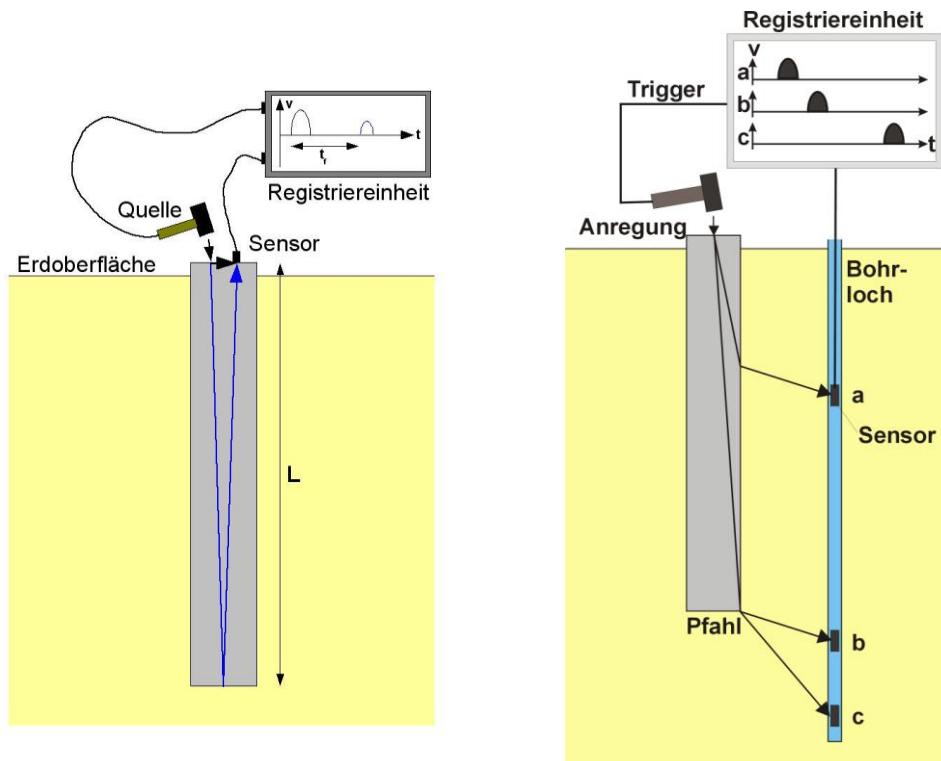


Abbildung 2: Prinzip der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung (links) und der Parallel-Seismik-Methode (rechts).

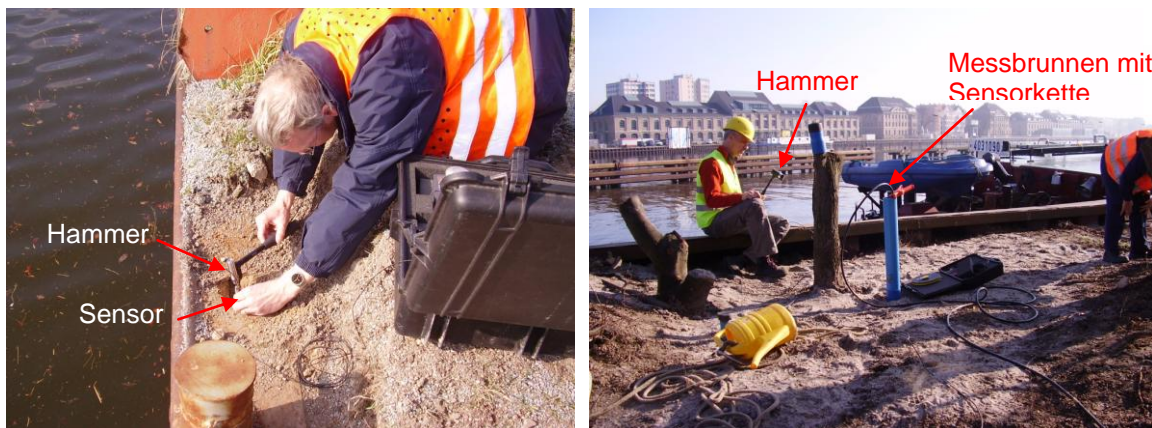


Abbildung 3: Durchführung der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung (links) und der Parallel-Seismik-Methode (rechts).

2.2 Parallel-Seismik-Verfahren

Bei der Parallel-Seismik-Messung wird auf dem Pfahlkopf oder am Schaft nahe des Kopfes mittels Hammerschlag ein mechanischer Impuls ausgelöst (Abbildung 2 und Abbildung 3, rechts). Die resultierende elastische Welle breitet sich im Pfahl nach unten aus. Dabei wird auch kontinuierlich eine Welle in den umliegenden Boden abgestrahlt. Diese Welle wird von Sensoren in einem naheliegenden Bohrloch registriert. Die Laufzeiten werden in einem

Diagramm (Tiefe über Laufzeit) aufgetragen. Die sich dabei zeigenden geraden Laufzeitäste entsprechen über dem Pfahlkopf der Ausbreitung im Pfahl, darunter im Boden, was die verschiedenen Steigungen erklärt. Die Länge des Pfahls kann durch Ermittlung der Knickpunkttiefe oder besser durch interaktive Kurvenanpassung mit Berücksichtigung der Pfahl-Bohrlochgeometrie bestimmt werden [6].

Die Methode wurde bisher meist an Betonbohrpfählen durchgeführt. Bei der Anwendung und Auswertung wurden dabei in den letzten Jahren kontinuierlich Fortschritte erzielt [6]. Über die Messung an Spundwandbohlen liegen nur vereinzelte Erfahrungen aus den USA vor [7].

3 Ergebnisse

3.1.1 Allgemeines

Am Napoleonkai war ein etwa 260 m langer Spundwandabschnitt zu untersuchen (Abbildung 4). Als Messstellen konnten für das Integritätsverfahren lediglich Löcher im Prallbord genutzt werden, da das Prallbord nicht entfernt werden durfte. 5 Messstellen standen zur Verfügung. Weiterhin wurden 4 Messbrunnen für das Parallel-Seismik-Verfahren mit jeweils 22 m Tiefe im Abstand von 1,0 bis 1,6 m zur Spundwand abgeteuft. Die Spundwand ist offenbar einfach verankert. Angaben zur Länge der Spundbohlen gab es nicht. Ein gestaffelter Einbau (jede zweite Bohle 1 m verkürzt) ist möglich.

6 Rammkernsondierungen wurden zur Bodenerkundung abgeteuft. Bis in eine Tiefe von maximal 2,4 m wurden Auffüllungen angetroffen, versetzt mit Beton und Ziegelbruch. Darunter liegen bis in eine Tiefe von 12 m meist mitteldichte Fein- und Mittelsande

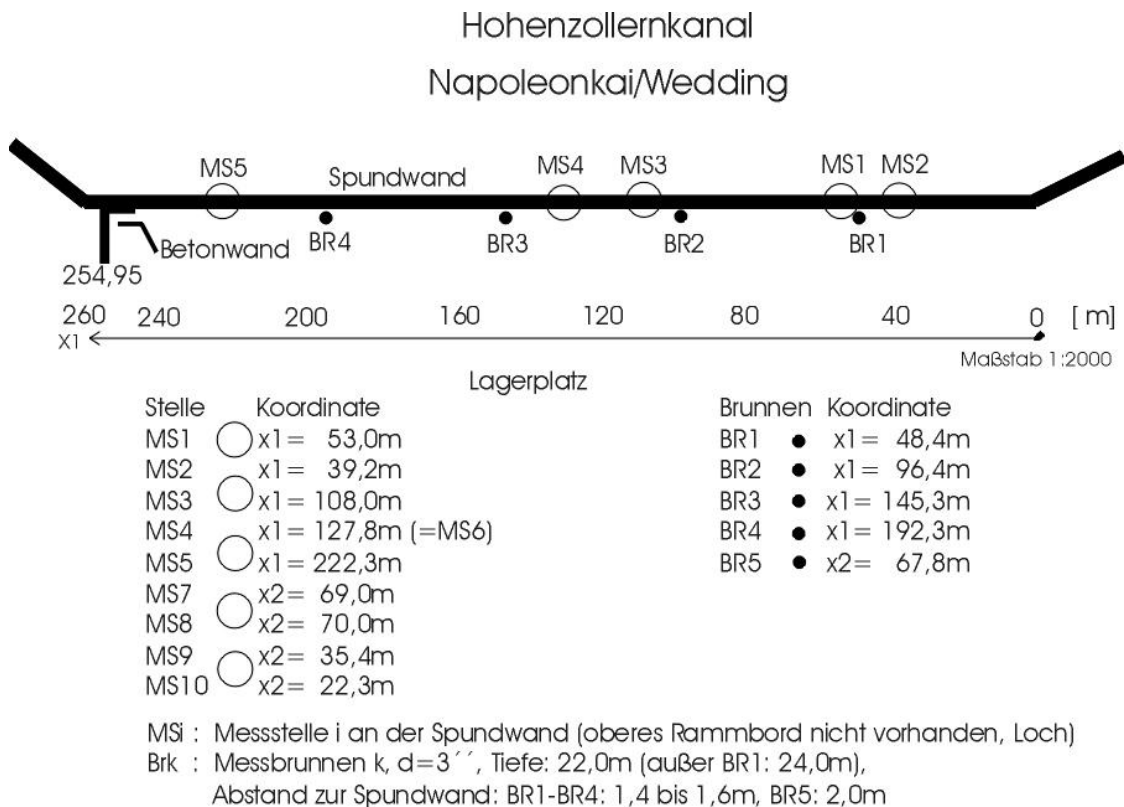


Abbildung 4: Lageplan Napoleonkai

3.1.2 Integritätsprüfung

Abbildung 5 zeigt Beispiele für Messergebnisse der Integritätsprüfung am Napoleonkai. In vielen Fällen ist ein Echo von der Spundbohlenunterkante nicht oder nur schwer zu identifizieren (oberes Beispiel). An einigen Positionen ist das Echo aber sehr klar (mittleres Beispiel). Beide Messungen wurden an der gleichen Messstelle auf benachbarten Bohlen erzielt. Das untere Beispiel zeigt ein schwaches, aber deutliches Echo. Die hier ermittelte Bohlenlänge von 6,4 m weist auf den schon vermuteten gestaffelten Einbau hin.

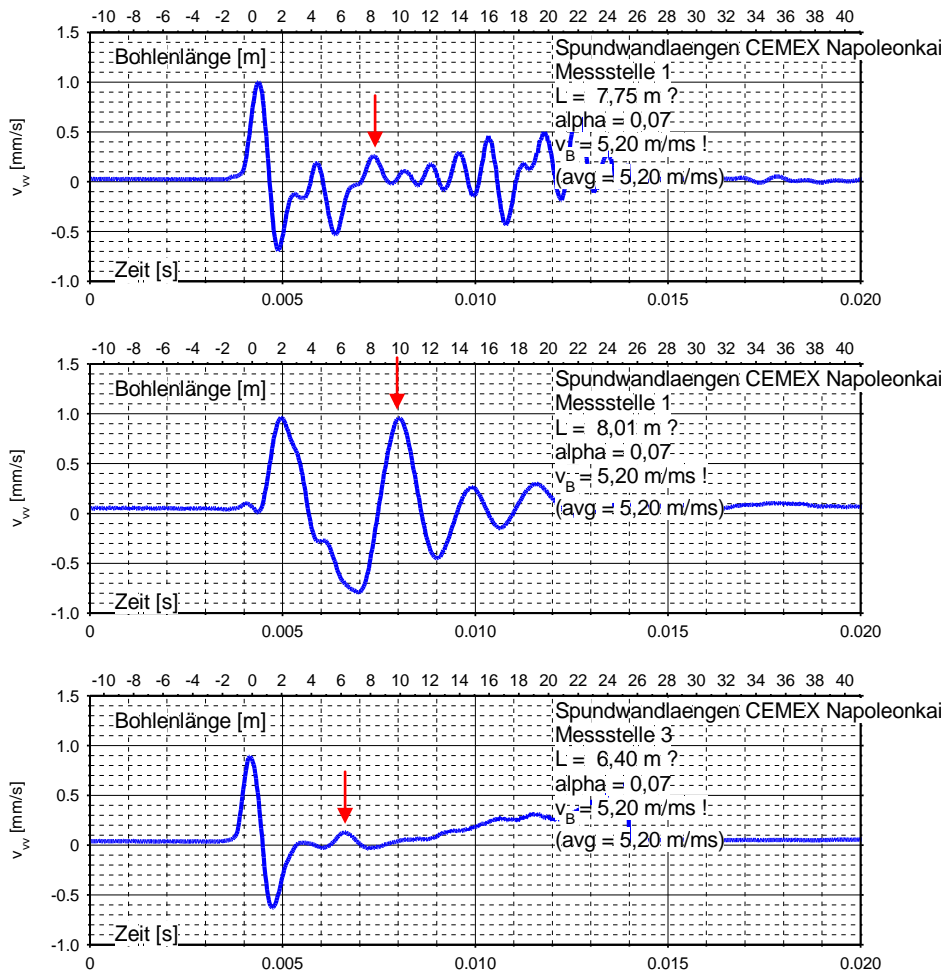


Abbildung 5: Ergebnisse von Integritätsprüfungen am Napoleonkai

Als Mittelwert aus allen plausiblen Messungen ergibt sich aus dem Integritätsverfahren eine Bohlenlänge von 7,25 m mit der Standardabweichung von 0,46 m. Bei Annahme eines gestaffelten Verbaus ergaben sich nach Aufteilung der Ergebnisse für lange und kurze Bohlen mit Bezug auf den Mittelwert die Längen 6,83 m und 7,78 m mit Standardabweichungen von nur noch 0,23 m. Daher lag die Vermutung nahe, dass die Längen im gestaffelten Verbau bei 6,8 m und 7,8 m liegen. In diesem Fall dürfte die Bohlenlänge von 7,8 m für die gesamte Wandlänge angesetzt werden.

3.1.3 Parallel-Seismik

Insgesamt wurden an den vier Messbrunnen neun Messungen durchgeführt. Zwei Messungen (Seismogramme) sind in Abbildung 6 dargestellt. An Messstelle BR1 (linkes

Seismogramm) sind sie Einsätze ab ca. 2,5 m Tiefe (Grundwasserspiegel) gut zu erkennen, ebenso wie ihr Abknicken ab etwa 8 m Tiefe. An Messstelle BR4 (rechts) sind die Signale erst ab 5 m Tiefe gut zu erkennen (Ursache wahrscheinlich Hohlstellen in Bohrlochhinterfüllung). Daher ist hier die Auswertung erschwert. Da der Knick in den Laufzeitkurven aber jeweils klar zu erkennen ist, können trotzdem Tiefenangaben gemacht werden.

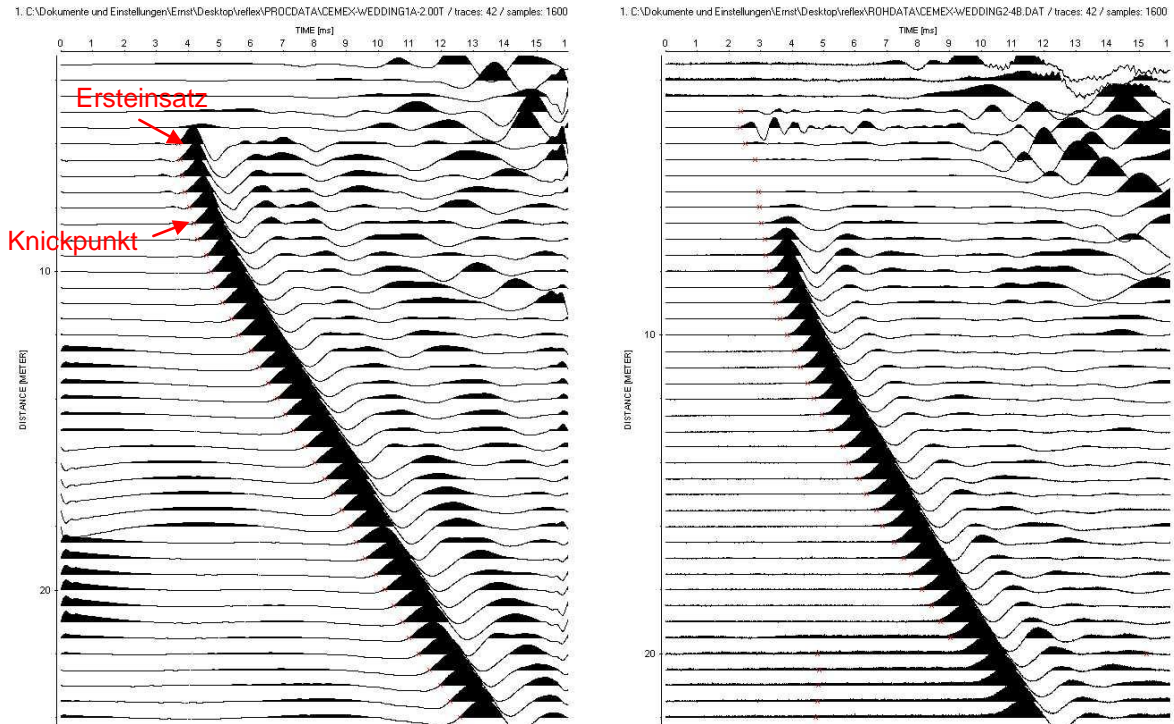


Abbildung 6: Messdaten Parallel Seismik Napoleonkai (Seismogramme), Messstellen BR1 (links) und BR4 (rechts). Vertikal Sensortiefe in m, horizontal Impulslaufzeit in ms.

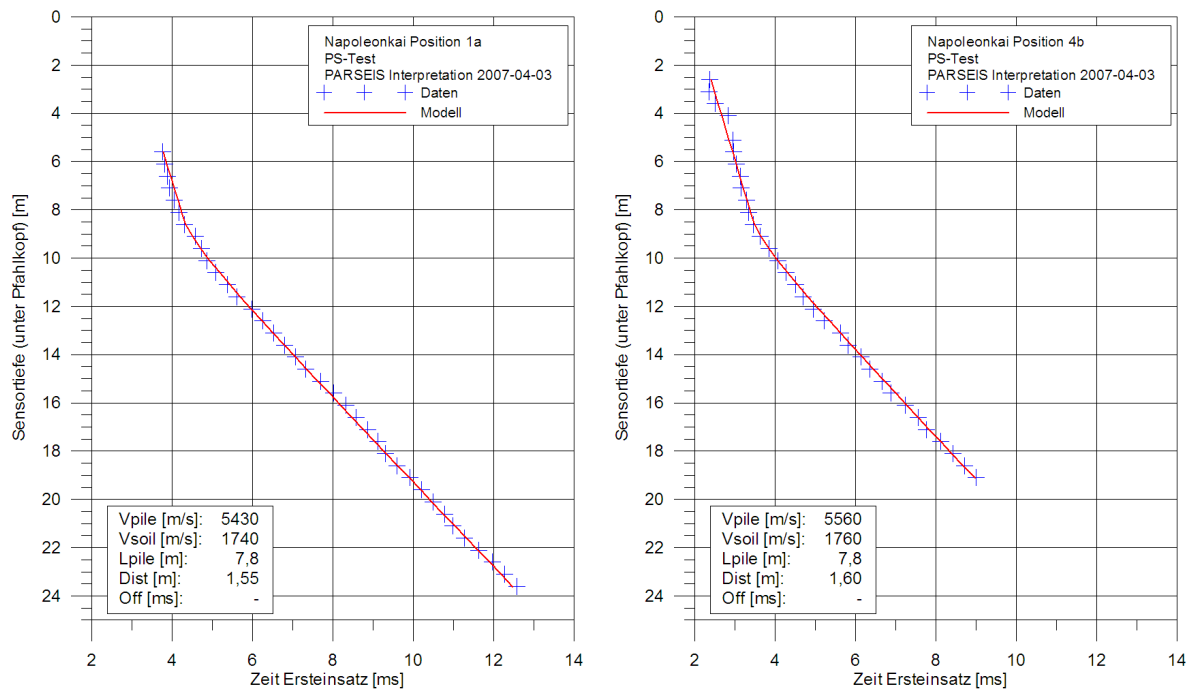


Abbildung 7: Auswertung der Daten aus Abbildung 6.

Mit dem Parallel Seismik-Verfahren ergaben sich an der vier Messstellen Spundbohlenlängen von 7,1 m bis 7,8 m (Mittelwert 7,5 m, Standardabweichung 0,3 m). Dies stimmt mit der Ergebnissen der Integritätsprüfung gut überein.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Beide eingesetzten Messverfahren, Pfahlintegritätsprüfung und Parallel-Seismik-Methode, haben ihre prinzipielle Eignung zur Bestimmung von Spundbohlenlängen bestätigt. An beiden Standorten konnten die Längen mit für die zu erbringenden Standsicherheitsnachweise notwendigen Genauigkeiten ermittelt werden. Für den Standort Schleusenufer (hier nicht ausführlich vorgestellt) ergab sich eine Abweichung von den Planunterlagen von lediglich 10 cm.

Generell ist aber eine Streuung der Ergebnisse von etwa +/- 0,5 m zu verzeichnen. Dies liegt wohl vor allem an den stark schwankenden Ankopplungsbedingungen (Messtechnik zu Spundbohle und Spundbohlen untereinander und wechselnden Bettungsbedingungen). Daher ist es unabdingbar, je Standort eine hinreichend große Zahl von Prüfungen vorzunehmen. Wir schlagen hierbei mindestens zehn Integritätsprüfungen und drei Parallel-Seismik-Messungen vor.

Wünschenswert wäre eine unter kontrollierten Bedingungen durchgeführte Studie, die die Einflüsse von Ankopplung und Bettung genau untersucht und auch weitere mögliche Messverfahren mit einbezieht

5 Danksagung

Die Autoren danken der CEMEX AG für die Erlaubnis zu Publikation. Dipl. Ing. Markus Stoppel und cand.-ing. Anne Dobat halfen bei den Parallel-Seismik-Messungen.

6 Referenzen

- [1] DGGTT AK 2.1: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA Pfähle). Ernst& Sohn, Berlin, 2007.
- [2] Turner, M. J: Integrity testing in piling practice. Ciria Report 144, London, 1997.
- [3] Klingmüller, O.: Pfahlintegritätsprüfung - Sicherheit für Alt- und Neubauten. Bauwerksdiagnose 2006, Berlin, <http://www.ndt.net/article/bau-zfp2006/v10.pdf>
- [4] Butcher, T, & Powell, J., 2006: Re-use of foundations – a best practise handbook. BRE Press, Watford, UK.
- [5] Niederleithinger, E., Taffe, A., Klingmüller, O., & Katzenbach, Rolf: Zerstörungsfreie Untersuchung von Gründungselementen im Rahmen von Wiedernutzungsprojekten. *geotechnik*, Jg.: 29 (2007), Nr.3, p. 146-157.
- [6] Niederleithinger, E., Taffe, A., & Fechner, T.: Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment. Proceedings of SAGEEP 2005, Atlanta, USA.
- [7] Niederleithinger, E., 2006: Numerical Simulation of Non-Destructive Foundation Pile Tests. Proceedings of ECNDT 2006, Berlin, Germany.
- [8] Jalinoos, F., Gibson, A., Diehl, J., Hadfield, P., Gordon, G.: Determination of unknown length of sheet piles using three different geophysical logging tools. Proceedings of Highway Geophysics, 2006. St. Louis.