

## Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung

E. Niederleithinger, A. Taffe,  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

### Kurzfassung

Die Wiedernutzung alter Fundamente ist beispielsweise bei Eisenbahnbrücken schon lange üblich. Aber auch für andere Bauwerke gewinnt sie besonders im städtischen Raum im Hinblick auf abnehmende Nutzungsdauer, knapper werdenden Raum im Untergrund und strengere Umweltauflagen an Bedeutung.

Da Planunterlagen oft nicht vollständig sind oder bezüglich Integrität und Dauerhaftigkeit Zweifel bestehen, sind vor Wiedernutzung oft umfangreiche Untersuchungen notwendig. Aufgrund der beschränkten Zugänglichkeit und der großen Einbautiefe spielen zerstörungsfreie Prüfverfahren eine besondere Rolle.

Im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens „Rufus“ wurden an der BAM mehrere Prüfverfahren getestet und optimiert. Für Fundamentplatten gelang es, mit automatisierten Ultraschall-Messungen abhängig vom Bewehrungsgehalt Dicken von bis zu 125 cm zuverlässig zu messen. Unter einer Platte von 75 cm Dicke konnten auch noch die Lage von Streifenfundamenten und Pfahlköpfen bestimmt werden. Für Bohrpfähle wurden die sich ergänzenden Messverfahren „Low-Strain-Integritätsprüfung“ (PIT) und „Parallel Seismic“ (PS) näher betrachtet. Zahlreiche Praxismessungen und numerische Simulation ergaben neue Erkenntnisse zum Einfluss von Pfahlalter und Pfahltyp auf die Messergebnisse (PIT) und lieferten die Grundlage für neue Auswerteverfahren (PS). Für beide Methoden wurde die Zuverlässigkeit der Ergebnisse signifikant verbessert.

### 1 Einleitung

Durch immer kürzere Nutzungsdauer von Bauwerken – in Zentren europäischer Metropolen von z. T. nur 25 Jahren – ist es auch wirtschaftlich sinnvoll, so viele Bauteile wie möglich wiederzunutzen. Dies gilt insbesondere für Gründungsbauwerke im innerstädtisch durch Versorgungsleitungen und unterirdische Verkehrswege intensiv genutzten Baugrund. Vorhandene und ungenutzte Tiefgründungen alter Bauwerke stellen ungenutzte Ressourcen dar, deren Verbleib im Baugrund eine erhebliche Last für kommende Baugrundnutzungen bedeuten.

Erfahrungsgemäß wird eine Wiedernutzung innerstädtischer Fundamente von abgebrochenen Gebäuden der Nachkriegszeit nur in Ausnahmefällen erwogen. Dabei werden häufig technische und nichttechnische Hinderungsgründe angeführt, die nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst sind.

Technische Hinderungsgründe:

- Örtliche Lage, Abmessungen und Zustand vorhandener Gründungen unbekannt
- Fehlende oder unvollständige Aufzeichnungen über Bestand an Gründungen
- Unzureichende Angaben über zu erwartende Tragfähigkeit von Tiefgründungen

- Dauerhaftigkeit und zu erwartende Restnutzungsdauer schwer abschätzbar

Nichttechnische Hinderungsgründe:

- Versicherungstechnische Überlegungen
- Rechtliche Aspekte bzgl. Haftungsübernahme

Im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens RuFUS (Re-use of Foundations on Urban Sites) [2] arbeiteten acht Institutionen aus fünf europäischen Staaten an Lösungen. Ein Ziel ist die Erstellung eines Praxishandbuchs, das im Sommer 2006 veröffentlicht wird.

Dieser Artikel befasst sich mit der Ermittlung der Geometrie und des Zustands vorhandener Fundamente durch Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau-Verfahren). Dabei steht bei Fundamentplatten die Dickenmessung, die bildgebende Ermittlung der Geometrie sowie das Lokalisieren tieferliegender Bewehrung und Fehlstellen im Vordergrund. Bei Pfahlgründungen ist die Ermittlung der Pfahllänge und der Pfahlintegrität, z. B. durch nennenswerte Abweichungen des Pfahls von der geplanten Geometrie, Gegenstand der hier vorgestellten Verfahren.

Die hier erwähnten Verfahren und Aufgaben, insbesondere die Wiedernutzung in der Baupraxis, sind bereits in [1] vorgestellt worden. Weitere Informationen zu ZfPBau-Verfahren können dem BAM ZfPBau-Kompendium [3] entnommen werden.

## 2 Der Teststandort Horstwalde

Auf Initiative eines Arbeitskreises mit Mitgliedern aus Forschung und Industrie wurde in den letzten Jahren begonnen, auf dem BAM-Freiversuchsgelände Horstwalde südlich von Berlin einen Teststandort zur Fundamentprüfung zu entwickeln.



**Bild 1** Teststandort Horstwalde: Überblick und Baumaßnahmen (Fotos: BAM)

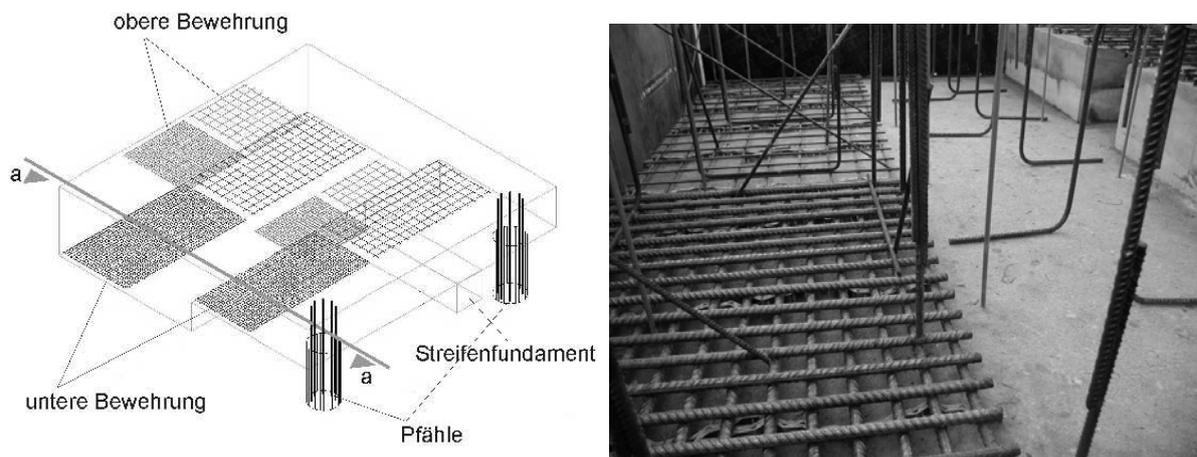
In mitteldicht bis dichtgelagerten Sanden, die vereinzelt von Schluff oder Torflagen durchzogen sind wurden bisher eine 25 m<sup>2</sup> große Fundamentplatte (s. Abschnitt 3) und 10 Bohrpfähle errichtet. Ein weiterer Ausbau ist vorgesehen. Alle Objekte stehen langfristig für Forschungs- und Ausbildungszwecke zur Verfügung.

### 3 Fundamentplatten

Zur Wiedernutzung von Fundamenten sind folgende Angaben erforderlich:

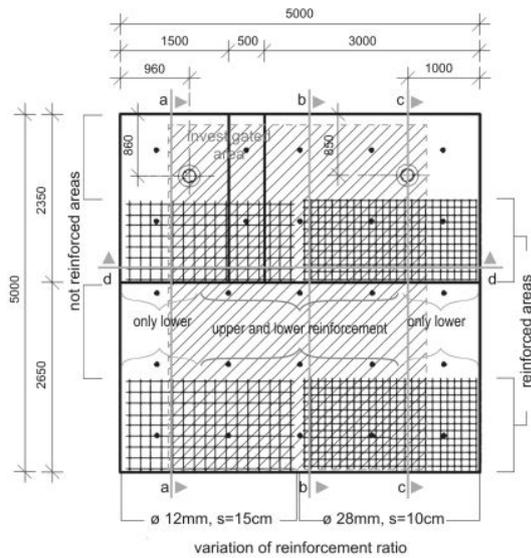
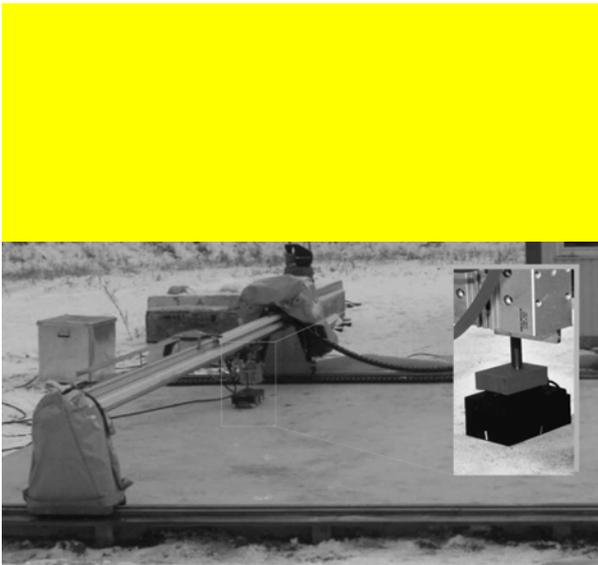
- Bauteildicke und Geometrie
- Örtliche Lage von Fehlstellen
- Örtliche Lage von Pfahlgründungen bzw. Streifenfundamenten unter der Bodenplatte
- Örtliche Lage tieferliegender Bewehrung
- Korrosionszustand der Bewehrung

Im Rahmen des genannten EU-Forschungsvorhabens wurden zu den ersten vier Punkten systematische Untersuchungen an einem Stahlbetonfundament am BAM-Standort Horstwalde durchgeführt. Das Fundament verfügt über verschieden dicke Bereiche (75 und 125 cm), unterschiedliche Bewehrungsgehalte und mehrere Unterbauten (Pfahlköpfe, Streifenfundament).



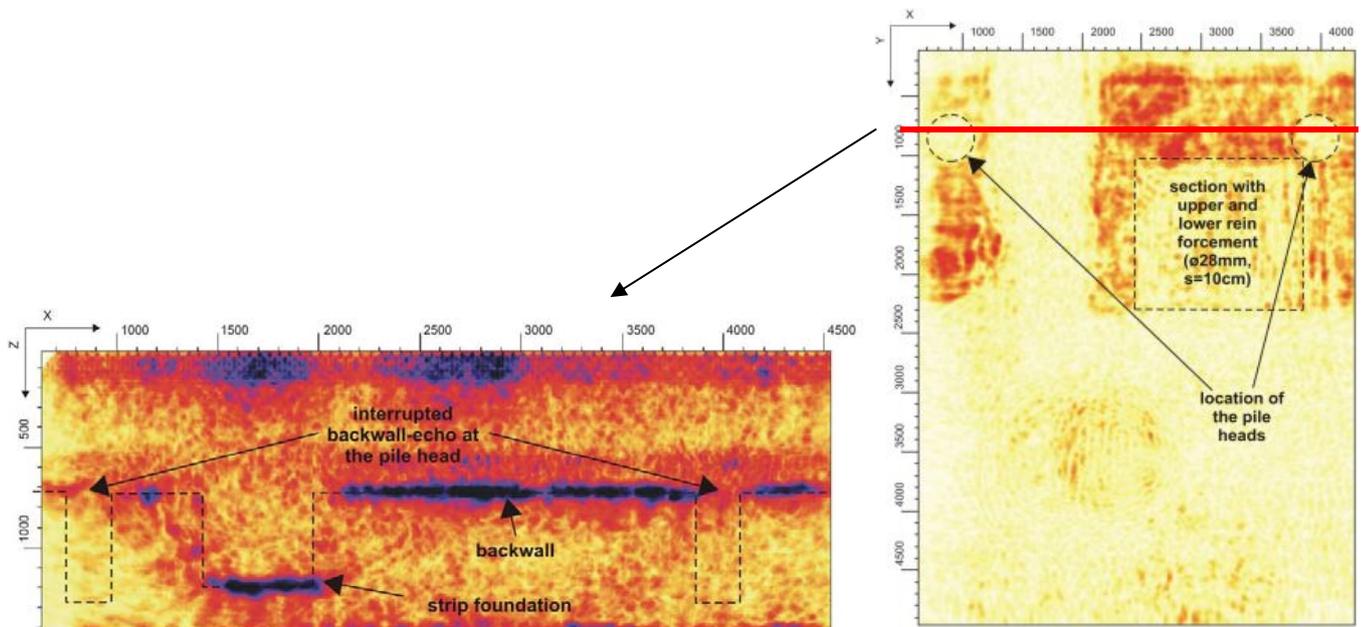
**Bild 2** Fundamentplatte in Horstwalde: Zeichnung und Einblick in die Bewehrung

Die Messungen wurden mit den Verfahren Radar, Ultraschallecho und Impakt-Echo vorgenommen. Alle Sensoren wurden auf ein automatisches Scannersystem montiert, um eine genaue Positionierung und Vergleichbarkeit der Messungen untereinander zu gewährleisten [4].



**Bild 3** Scanner-Messungen mit Ultraschall-Echo auf der Fundamentplatte in Horstwalde: Foto und erfasster Bereich

Beispiele für Ergebnisse von Ultraschall-Echo-Messungen sind in Bild 4 dargestellt. Die Daten wurden mit Scherwellen-Punktkontaktprüfköpfen in einem Raster von 2,5 cm aufgenommen und anschließend 3D-SAFT rekonstruiert. In B- und C-Bild sind sowohl die Rückwand der Platte als auch die wichtigsten geometrischen Elemente (Pfahlköpfe und Streifenfundament) gut zu erkennen. Bei sehr starker Bewehrung gibt es allerdings Abschattungen (C-Bild Bild 4, oben rechts).



**Bild 4** Ergebnisse der Ultraschallecho-Messungen nach SAFT-Rekostruktion (Vertikalschnitt/B-Bild bei  $y = 80$  cm) und Horizontalschnitt/C-Bild (75 cm Tiefe)

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Messungen sind:

- Dickenmessungen an Stahlbetonfundamenten sind bewehrungsabhängig mindestens bis 125 cm möglich
- Bis 75 cm ist z. T. sogar Unterscheidung untere Bewehrung/Rückwand möglich
- Mit Radar ist die Kartierung der oberflächennahen Bewehrung hochgenau möglich
- Eine Lokalisierung von Konstruktionselementen wie Streifenfundamenten und Pfählen ist möglich, zumindest wenn keine Horizontalfugen vorliegen.

Da zudem Möglichkeiten der Lokalisierung von Fehlstellen wie Kiesnestern und Bewehrungskorrosion bestehen, können Fundamentplatten mit ZfPBau-Verfahren im Allgemeinen gut auf ihre Wiedernutzbarkeit geprüft werden. Entsprechende Praxismessungen wurden von der BAM beispielsweise an der Fundamentplatte eines Berliner Hotels oder an Maschinenfundamenten durchgeführt.

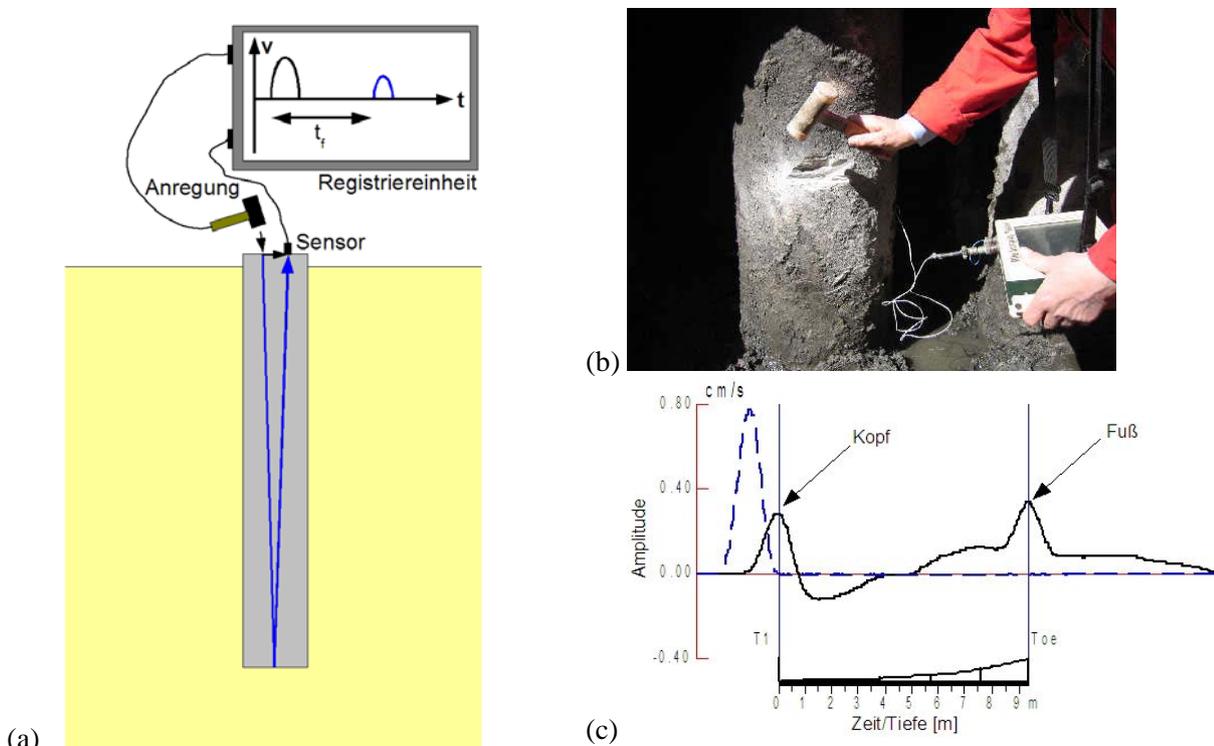
#### 4 Pfahlgründungen

Vor der Wiedernutzung von Pfahlgründungen müssen Geometrie (vor allem Länge) und Zustand (Integrität) geprüft werden. Letzteres ist nahezu unerlässlich, da im Verlauf des Rückbaus der Altsubstanz es immer wieder zur Beschädigung der Fundamentpfähle kommt (Bild 5).



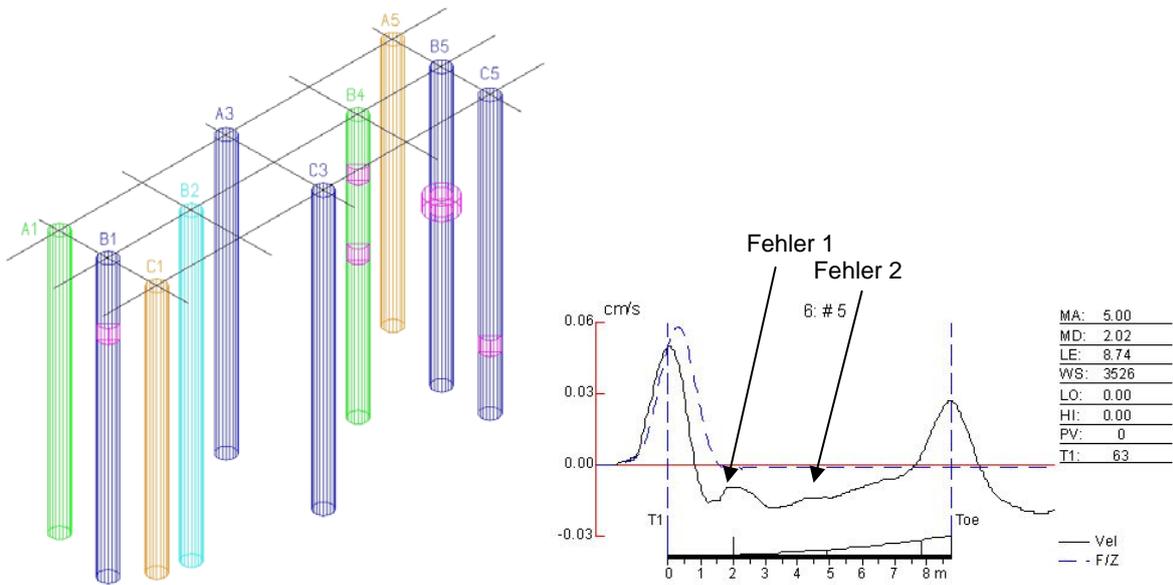
**Bild 5** Beim Abriss beschädigter Pfahl. Die Schaufel steckt in einem bei der Integritätsprüfung erkannten durchgehenden Riss (Foto: BAM)

Zur Prüfung der Pfahlintegrität wird meist das Low-Strain-Verfahren angewendet, das vielfach auch bei der Qualitätskontrolle von neuen Pfählen eingesetzt wird. Das Verfahren ist in einigen Ländern genormt, wobei in Deutschland lediglich Empfehlungen einer Fachgesellschaft existieren [5]. Das Verfahrensprinzip ist in Bild 6 dargestellt. Durch einen Hammerschlag wird eine Impulswelle ausgelöst, die durch den Pfahl nach unten läuft und an Fehlstellen und dem Pfahlfuß reflektiert wird. Die Reflexionen werden durch einen Sensor oben am Pfahlkopf beobachtet, die Zeitdifferenzen zwischen Impuls und Reflexion gemessen und in Tiefe umgerechnet. Ist der Pfahlkopf nicht zugänglich, können Hammerschlag und Messung auch in Kerben am Pfahlschaft erfolgen (Bild 6 b). Die Interpretation ist oft schwierig. Die Auswertung der Impulsformen benötigt umfangreiche Erfahrung, die zur Tiefenermittlung notwendige Wellengeschwindigkeit ist oft nur näherungsweise bekannt.



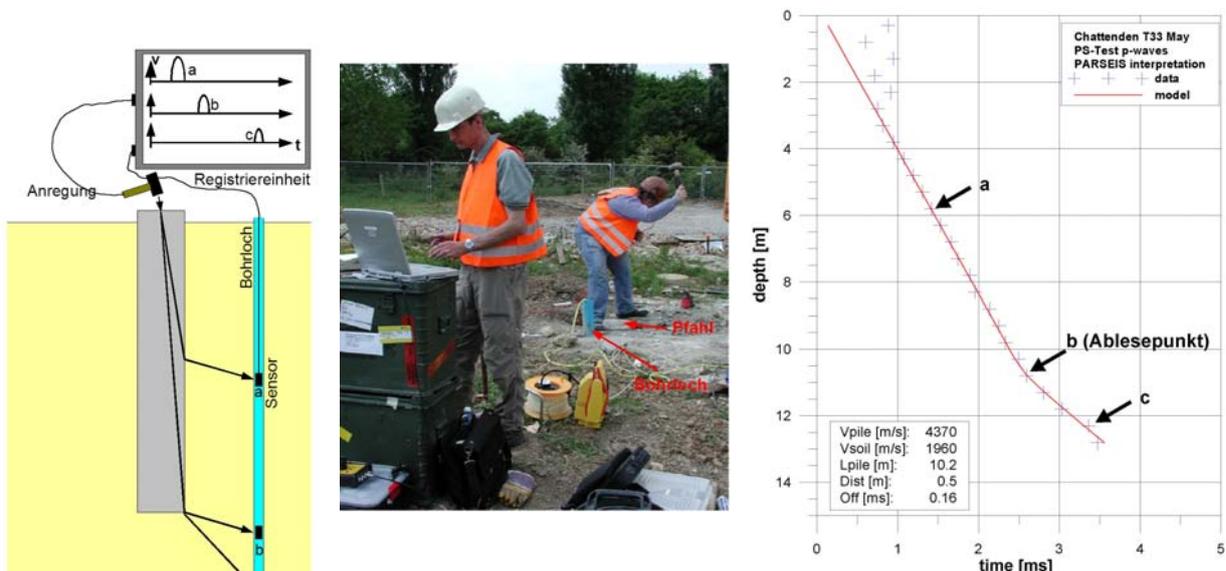
**Bild 6** Prinzip der Low-Strain-Pfahlintegritätsprüfung. (a) Prinzip, (b) Messdurchführung (Foto GSP Mannheim, aus [1]), (c) typischer Messschrieb.

An einem Teststandort in England und in Horstwalde wurden und werden systematische Messungen zur Verfahrensvalidierung durchgeführt (Bild 7 links). Dabei ergaben sich nicht nur Erkenntnisse zur Identifizierung von Fehlern (Bild 7 rechts), sondern auch wichtige Hinweise zur Abhängigkeit der Prüfergebnisse von der Pfahlbauweise. So werden bei Pfählen mit Stahlmantel oder bei Schraubenpfählen systematisch zu kleine Längen ermittelt, wenn die üblichen Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten angesetzt werden. Bei dem Low-Strain-Verfahren ist also stets eine Kalibrierung notwendig. Die Messunsicherheit (Standardabweichung bei Längenmessung) liegt nach Kalibrierung bei unter 5%, ohne bei etwa 10%.



**Bild 7** Skizze der Testpfähle am Standort Horstwalde und Ergebnis der Integritätsprüfung von Pfahl B4.

Ein aufwändigeres, aber dafür von einer Kalibrierung unabhängiges Messverfahren ist die Parallel-Seismic-Methode (Bild 8). Hierbei werden die Ankunftszeiten des durch Hammerschlag auf den Pfahlkopf ausgelösten Impulses in einem zum Pfahl parallelen Bohrloch beobachtet. Die Standardunsicherheit bei der Pfahl längenermittlung lässt sich bei Anwendung von neu entwickelten Auswerteverfahren teilweise auf unter 3% reduzieren. Gleichzeitig kann das Verfahren zur Kalibrierung der Low-Strain-Ergebnisse dienen.



**Bild 8** Prinzip der Parallel-Seismic-Methode. (Skizze, Messdurchführung und typisches Ergebnis).

## 5 Zusammenfassung

Die Wiedernutzung von Fundamenten wird mit zunehmender Bebauungsdichte im Untergrund und abnehmender Nutzungsdauer an Bedeutung zunehmen. Eine umfangreiche Untersuchung der für eine weitere Nutzung vorgesehenen Elemente ist dringend erforderlich, da oft nur eine unzureichende Dokumentation vorliegt und Beschädigungen beim Abriss des alten Bauwerks nicht auszuschließen sind.

Für alle üblichen Fundamentarten stehen ZfPBau-Verfahren zur Verfügung. Sie haben jeweils spezifische Stärken und Grenzen. Bei der Inspektion von Fundamentplatten hat sich das Ultraschallechoverfahren besonders bewährt. Wenn der Bewehrungsgehalt nicht zu groß ist, konnten bis 125cm Dickenmessungen vorgenommen werden. Bei Pfahlgründungen kommt in der Regel das Low-Strain-Verfahren zur Längenmessung und Integritätsprüfung zum Einsatz. Da die Ergebnisse aber stark von einer guten Schätzung der Wellengeschwindigkeit, Kenntnis des Pfahltyps und anderen Faktoren abhängig sind, ist eine projektspezifische Kalibrierung, etwa durch das Parallel-Seismic-verfahren anzuraten.

## 6 Danksagung

Die beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens "Re-use of Foundations on Urban Sites" RUFUS (Contract no. EVK4-2002-00099) durchgeführt. Die Autoren danken den zahlreichen an den Messungen vor Ort beteiligten Kollegen aus der BAM Fachgruppe VIII.2.

## 7 Literatur

1. Taffe, A., Katzenbach, R., Klingmüller, O. und Niederleithinger, E.: Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. Beton- Stahlbetonbau V. 100, Heft 9, 2005, S. 757-770.
2. EU-gefördertes Projekt "Re-use of Foundations on Urban Sites" RUFUS (Contract no. EVK4-2002-00099), Internetpräsenz: <http://www.webforum.com/rufus/> (2004).
3. Schickert, G., Krause, M. und H. Wiggerhauser: ZfPBau-Kompendium, Internetpräsenz: <http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm> (2004).
4. Taffe, A.: Automatisierung von zerstörungsfreien Prüfverfahren für das Bauwesen. ZfP-zeitung 86 (2003) , S. 36-41
5. DGGT, Arbeitsgruppe 2.1: Empfehlungen für Statische und Dymische Pfahlprüfungen (1998).
6. Niederleithinger, E., Taffe, A., & Fechner, T., 2005: Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment. Proceedings of SAGEEP 2005, Atlanta, USA.