

Ernst Niederleithinger, Julio Cesar Galindo Guerreros
Rolf Katzenbach

**Untersuchung des Zustands von
Bestandsfundamentierungen
und Etablierung von
Entscheidungsbäumen zur
wirtschaftlich optimierten Weiter-
und Nachnutzung („REFUND“)**

F 3020

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0012-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Untersuchung des Zustands von Bestandsfundamentierungen und Etablierung von Entscheidungsbäumen zur wirtschaftlich optimierten Weiter- und Nachnutzung („REFUND“)

Vorhaben	8202
Dokumentart	Forschungsbericht
Projekträger	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Referat II 3, Deichmanns Aue 31-37, 53179 Bonn
Förderprogramm	Forschungsinitiative Zukunft Bau
Kennzeichen	SWD 10.08.18.07-14.02
Laufzeit	Juli 2014 – Juli 2016
Datum	2016-12-20
Projektleiter	Dr. Ernst Niederleithinger
Bearbeiter	Julio Cesar Galindo Guerreros, M.sc. In Kooperation mit TU Darmstadt (Co-Projektleiter Prof. Dr- Ing. Rolf Katzenbach); SKP Ingenieure, Berlin; Implenia Construction AG, Mannheim; GSP mbH, Mannheim

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau- Stadt- und Raumforschung gefördert.

(SWD 10.08.18.07-14.02)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorbemerkung	3
2.	Zielstellung des Vorhabens	3
3.	Arbeitspakete und Ergebnisse	3
3.1.	Arbeitspaket 1: Grundlagen	3
3.2.	Arbeitspaket 2: Entscheidungsstrukturen	4
3.2.1.	Entwicklung der Entscheidungsstrukturen	4
3.2.2.	Testprojekt 1: Sohlplatte Parkhaus	5
3.2.3.	Testprojekt 2: Pfahlgründung von Masten	10
3.3.	Arbeitspaket 3: Untersuchungsmethoden	15
3.3.1.	Vorbemerkung	15
3.3.2.	Zerstörungsfreie Prüfverfahren (Stand der Technik)	15
3.3.3.	Zerstörungsfreie Prüfverfahren (innovative Methoden)	15
3.3.4.	Nicht-zerstörungsfreie Prüfverfahren	17
4.	Zusammenfassung und Ausblick	17
5.	Literatur	18

1. Vorbemerkung

Dieser Bericht fasst die wesentlichen Arbeitsschritte und Ergebnisse des Forschungsprojektes REFUND zusammen. Dieses wurde im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau gemeinsam mit dem Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt sowie den Industriepartnern Implenia Construction GmbH, SKP Ingenieure GmbH und GSP mbH durchgeführt.

Das wesentliche Produkt dieses Vorhabens ist ein Handbuch (Anhang 1). Es soll Planern und anderen Projektbeteiligten im Rahmen von Weiter- und Nachnutzungsprojekten die Arbeit erleichtern. Es erscheint parallel als „Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft Nr. 98, 2016“ [1]. Das vorliegende Dokument liefert die zur Berichterstattung an den Projektträger notwendigen Informationen und Daten, wiederholt die im Handbuch zusammengetragenen Informationen aber nicht.

2. Zielstellung des Vorhabens

Bei einer geplanten Weiter- oder Wiedernutzung von Bestandsfundamentierungen stellt sich die Frage nach der Lage, der Geometrie und dem Zustand der im Baugrund nur selten direkt sichtbaren Bestandsfundamentierung. Diese Informationen sind erforderlich, um die erforderlichen Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit im Zuge der aktuellen Baumaßnahme führen zu können. Mit Hilfe von unterschiedlichen zerstörungsfreien Prüfverfahren können wesentliche Informationen über die Bestandsfundamentierungen gewonnen werden, wobei die jeweiligen Methoden Anwendungsgrenzen unterliegen. Methoden und Grenzen sind bisher nicht genau definiert und validiert. Die Weiter- oder Wiedernutzung von Bestandsfundamentierungen ist nur dann sicher und zuverlässig möglich, wenn zusätzlich zu den Baugrunduntersuchungen alle verfügbaren Informationen zu diesen Fundamentierungen hinzugezogen und durch Untersuchungen zu ihrem tatsächlichen, aktuellen Zustand erweitert werden. Je nach Planungsstand sind die erforderlichen Untersuchungen und ihre erforderliche Dichte unterschiedlich. Die Untersuchungsergebnisse beeinflussen die weitere Planung. Ein iterativer Prozess ist erforderlich, der nicht ausschließlich die Gründung, sondern maßgebend auch andere Gewerke einschließt.

Um die Weiter- oder Wiedernutzung in Zukunft vereinfacht und zuverlässig zu ermöglichen, sollten zum einen Abläufe für den Planungs- und Untersuchungsprozess entwickelt, getestet und dokumentiert werden. Zum anderen sollten existierende zerstörungsfreie Prüfverfahren auf die speziellen Prüfsituationen an Bestandsfundamentierungen hin erweitert und weiterentwickelt werden. Die existierenden und neuen Prüfverfahren werden an Referenzfundamentierungen, die an einem bestehenden Teststandort zum Teil zur Verfügung stehen bzw. erstellt werden, erprobt und validiert.

3. Arbeitspakete und Ergebnisse

3.1. Arbeitspaket 1: Grundlagen

Im AP1 erfolgte die Analyse der in der Literatur und bei den Industriepartnern vorliegenden Praxisbeispiele. Daraus sollte ein Detailkonzept für das weitere Vorgehen entwickelt werden, sowie Pflichtenhefte für Untersuchungskonzept, Entscheidungsstrukturen und die Untersuchungsmethoden festgelegt werden.

Für das Arbeitspaket waren drei Monate vorgesehen. Die Literaturlauswertung war auch in diesem Rahmen abgeschlossen. Die Recherche nach Praxisprojekten erwies sich jedoch als schwierig. Zwar lieferten die Industriepartner zahlreiche Hinweise, die Dokumentation war jedoch oft für die Zwecke des Vorhabens zu lückenhaft. Sowohl untersuchende Ingenieurbüros als auch Planer wissen oft nicht, welche Entscheidungen beim Bauherrn aufgrund ihrer Daten getroffen wurden und wie der Projektablauf dann letztendlich erfolgt. In finanzielle Daten geben Bauherren und Bauträger nur sehr zögerlich Einblick.

Die Recherche und die Gespräche (auch mit externen Partnern und Befragten) wurden daher bis in das zweite Projektjahr fortgesetzt. Eine Zusammenfassung zu den recherchierten Wiedernutzungsprojekten wurde durch die TU Darmstadt erstellt (Anhang 6).

Für die Pflichtenhefte zu Untersuchungskonzepten und Entscheidungsstrukturen wurden aus den vorliegenden Erfahrungen folgenden Entscheidungen getroffen:

- Trennung der Ablaufdiagramme nach Planungsprozess und Untersuchungsprozess,
- Trennung der Ablaufdiagramme nach Fundamenttyp (Einzel- und Streifenfundamente, Plattenfundamente, Pfahlgründungen),
- Trennung der Empfehlungen zu Untersuchungsmethoden nach Fundamenttyp.

Für die Fragestellungen bei der Untersuchung wurden fundamenttypabhängig Kataloge erstellt, die in den Methodenmatrizen im Kapitel 4 des Handbuchs wiedergegeben sind. Zudem wurde beschlossen, Hinweise zu Ausschreibungen und zur Dokumentation in das Handbuch aufzunehmen.

Bezüglich der Untersuchungsmethoden wurde zu Projektbeginn ausführlich mit dem externen Arbeitskreis diskutiert. Dabei stellte sich heraus, dass nach überwiegender Meinung der Praktiker die Methoden zur Untersuchung von Pfahlgründungen schon einen guten Stand erreicht haben. Für Plattenfundamente gibt es jedoch zwei wesentliche offene Fragestellungen: Wird bei einer Dickenmessung mit zerstörungsfreien Methoden eine etwa vorhandene Sauberkeitsschicht erfasst und lassen sich Hohllagen unter einer Fundamentplatte erfassen? Daher wurde der Schwerpunkt bei den Untersuchungen in AP 3 verschoben.

3.2. Arbeitspaket 2: Entscheidungsstrukturen

3.2.1. Entwicklung der Entscheidungsstrukturen

Im Arbeitspaket 2 sollte ein aus wirtschaftlicher, technischer, aber auch baustellenpraktischer Sicht optimiertes Konzept für die Untersuchung von Altfundamenten samt der notwendigen Entscheidungsstrukturen und -bäume entwickelt werden. Ein fortlaufender, iterativer Prozess unter Einbeziehung aller Beteiligten mit optimalem Informationsfluss wurde angestrebt.

Ausgangspunkt waren die Ergebnisse des EU-Projektes RUFUS (2003-2006), an dem die Projektpartner TU Darmstadt und BAM maßgeblich beteiligt waren. Damals wurden ebenfalls Abläufe und Entscheidungsbäume entwickelt und in einem Handbuch kompiliert [2]. Dies geschah aber aus internationaler Sicht mit Schwerpunkt Großbritannien. Zudem haben sich inzwischen die Untersuchungsmethoden z. T. erheblich weiterentwickelt.

Unter Berücksichtigung der in Arbeitspaket 1 entwickelten Vorstellungen und unter Berücksichtigung der aktuellen Normen und des Standes der Technik wurden, getrennt nach Fundamenttyp, neue Ablaufdiagramme entwickelt. Diese sind im REFUND-Handbuch [1] ausführlich dargestellt und erklärt. Daher werden im Folgenden nur zwei Beispiele erklärt, mit deren Hilfe die neuen Abläufe entwickelt und verbessert wurden.

3.2.2. Testprojekt 1: Sohlplatte Parkhaus

Der Projektpartner SKP ermöglichte den Zugang zu einem laufenden Projekt, in dessen Rahmen die Möglichkeit zur Weiternutzung der Sohlplatten eines Parkhauses zu untersuchen war. Die Sohlplatten des zu untersuchenden Parkhauses mit Tiefgarage aus dem Jahr 1986/87 wiesen nach einem Flutereignis Schäden (u.a. zeitweise wasserführende Risse) auf. Diese wurden auf die Hebungen und Senkungen während des Flutereignisses zurückgeführt. Dabei war nicht vollständig zu klären, ob schon Vorschäden bestanden. Ein erstes Sanierungskonzept sah den vollständigen Ersatz der Gründung vor. Der Kostenansatz belief sich auf mehrere Millionen Euro. SKP sollte in einem detaillierteren Gutachten klären ob auch eine sehr viel günstigere Teilsanierung und Weiternutzung der Gründung möglich ist. Nach Maßgabe des Auftraggebers können hier nur anonymisierte Daten in generischer Form wiedergegeben werden. Eine Zusammenfassung befindet sich in Anhang 3.

Die aus dem Handbuch enthaltenen Flussdiagramme I, IV und V zeigen die Vorgehensweise, die für die Planung einer Wiedernutzung von Plattenfundamenten beachten sollte. Im Folgenden wird anhand der Untersuchungen am Objekt dargestellt, inwieweit eine Orientierung an den Flussdiagrammen zur einer effizienten Bewertung der Sohlplatte des Parkhauses führt. In den Abbildungen sind die tatsächlich erfolgten Untersuchungsschritte rot hervorgehoben. Der Fokus liegt hierbei auf dem Flussdiagramm V „Prüfablauf Bestandsplatte“.

Diagramm I (Abbildung 1) verweist im Wesentlichen auf die Verzweigung bzgl. der unterschiedlichen Fundamenttypen (I.3). Da hier kein Neubau beabsichtigt ist, trifft I.2 nicht zu. Die gesamte Systematik lässt sich aber sinngemäß anwenden.

Diagramm I: Einstieg

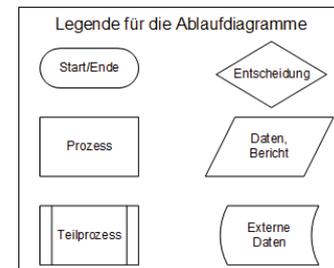
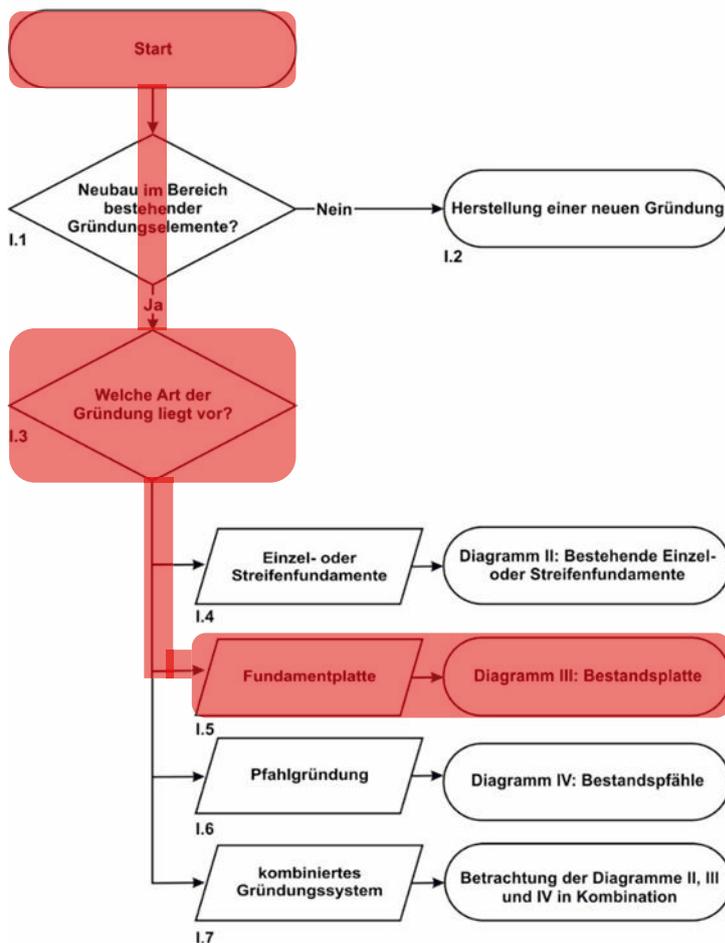


Abbildung 1: Einstiegsdiagramm aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot unterlegt.

Abbildung 2 zeigt das Diagramm IV aus dem Handbuch, das die generellen Planungs- und Untersuchungsschritte für Fundamentplatten beschreibt. Der erfolgte Ablauf (rot unterlegt) zeigt, dass einzelne Schritte übersprungen werden können, wenn eine hinreichende Begründung hierfür vorliegt.

Da es sich hier nicht um einen geplanten Neubau handelt, sind die Schritte IV.1-IV.3 hier irrelevant. Sowohl Planer wie Eigentümer des Objektes wünschten eine Weiternutzung (IV.6). Eine Sichtung der Unterlagen und eine Begehung ergaben, dass dies unter Umständen möglich ist (IV.7). Allerdings waren für eine Entscheidung und Detailplanung Fragen offen, die durch eine detaillierte Untersuchung zu beantworten waren (IV.8). Anhand der Ergebnisse (siehe unten) wurde klar, dass eine Teilsanierung der Sohlplatte möglich ist, da sich anders als früher angenommen, keine Hinweise auf eine massive Schädigung ergaben. (IV.9). Eine Baugrunduntersuchung (IV.10) war hier überflüssig, da hinreichende Informationen vorlagen. Aus den nun vorliegenden Informationen wurde ein Sanierungskonzept entwickelt, das mit Kosten von etwa 25% der ursprünglich für die Erneuerung geschätzten Kosten zu realisieren wäre (Einsparung ca. 75%) und auch von der Zeitdauer und der vorübergehenden Nutzungsbeschränkung deutlich günstiger ist als ein Ersatz der Gründung. Damit wäre das Konzept der Weiternutzung deutlich günstiger für den Bauherrn (IV.11). Die Planung liegt inzwischen beim Eigentümer vor (IV.12). Die Entscheidung über das weitere Vorgehen ist aber noch nicht gefallen.

Der eigentliche Untersuchungsablauf ist in Diagramm V aus dem Handbuch (Abbildung 3) dargestellt. Vor Erstellung eines Messkonzepts wurde vom Planer ein Fragenkatalog entwickelt (V.1) und die vorhandenen Bestandsunterlagen (V.2) vom Bauherrn offen gelegt. Diese waren aber nicht vollständig und deckten die benötigten Informationen (V.1) für eine Untersuchung (z.B. Bewehrungslage, Betondeckung und Betonqualität) nur teilweise ab. Daraus wurde ein Messkonzept entwickelt (V.3). Zur näheren Spezifikation möglicher Schädigungen und der Eignung von Prüfverfahren wurden in einer ersten Iteration zunächst mehrere zerstörungsfreie Prüfmethode am Objekt getestet (V.5). Zur Ermittlung der Plattengeometrie und der Detektion möglicher Schäden (inkl. Bewehrungskorrosion) wurden das Ultraschall-, Radar-, Impact-Echo- und Potentialfeld-Verfahren für unterschiedliche Aufgaben als geeignete Methoden identifiziert (über V.6-V.7-V.8 zurück zu V.3). Daraus wurde ein detaillierteres Messkonzept entwickelt und die Prüfkosten abgeschätzt (V.3). Bei der eigentlichen Untersuchung wurden neben den ZfP-Messungen (wieder V.5) auch eine vollständige visuelle Inspektion der Fundamentoberfläche zur Risskartierung und Kernbohrungen zur Bestimmung der Betondruckfestigkeit entnommen (V.6). Diese lagen im Rahmen der für Gründungen typischen Werte. Die ZfP-Messungen lieferten ausreichende Hinweise zur Plattengeometrie, zur Verankerung der Auftriebssicherung, der oberen Bewehrungslage (alle drei Themen wie erwartet) und zu Verdachtspositionen bzgl. Bewehrungskorrosion (nur sehr lokal). Bedingt durch die Sohlplattengeometrie und Verfahrenslimitationen konnten andere Fragestellungen (z. B. Zustand der unteren Bewehrungslage) nicht oder nicht vollständig beantwortet werden (V.7 über V.8. Nach V.12). Dies erforderte eine weitere Anpassung des Messkonzeptes (über V.3) zu zusätzlichen konventionellen Untersuchungen (V.6). Die enge Verzahnung von Planung, konventioneller Untersuchung und ZfP sowie die gemeinsame Arbeit vor Ort erwiesen sich dabei als sehr vorteilhaft. Insgesamt konnten ausreichende Informationen für eine Bewertung des Objektes geliefert werden (V. 13, V.14).

Die Arbeit mit den Flussdiagrammen erwies sich insgesamt als zielführend. Im Rahmen der Untersuchungen wurden darin die ursprünglich nicht genau beschriebenen Iterationsschleifen verbessert,

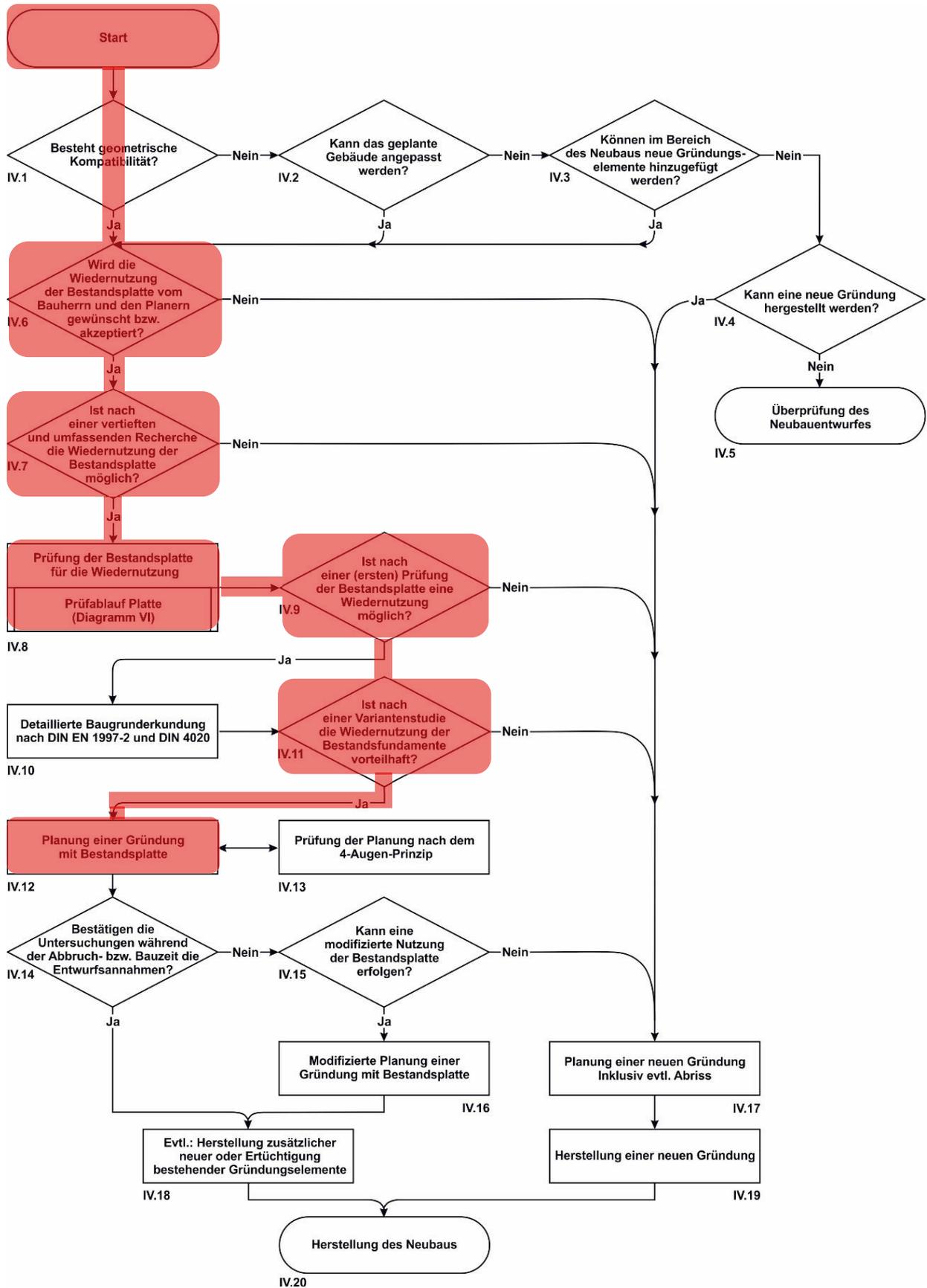


Abbildung 2: Diagramm IV aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot unterlegt.

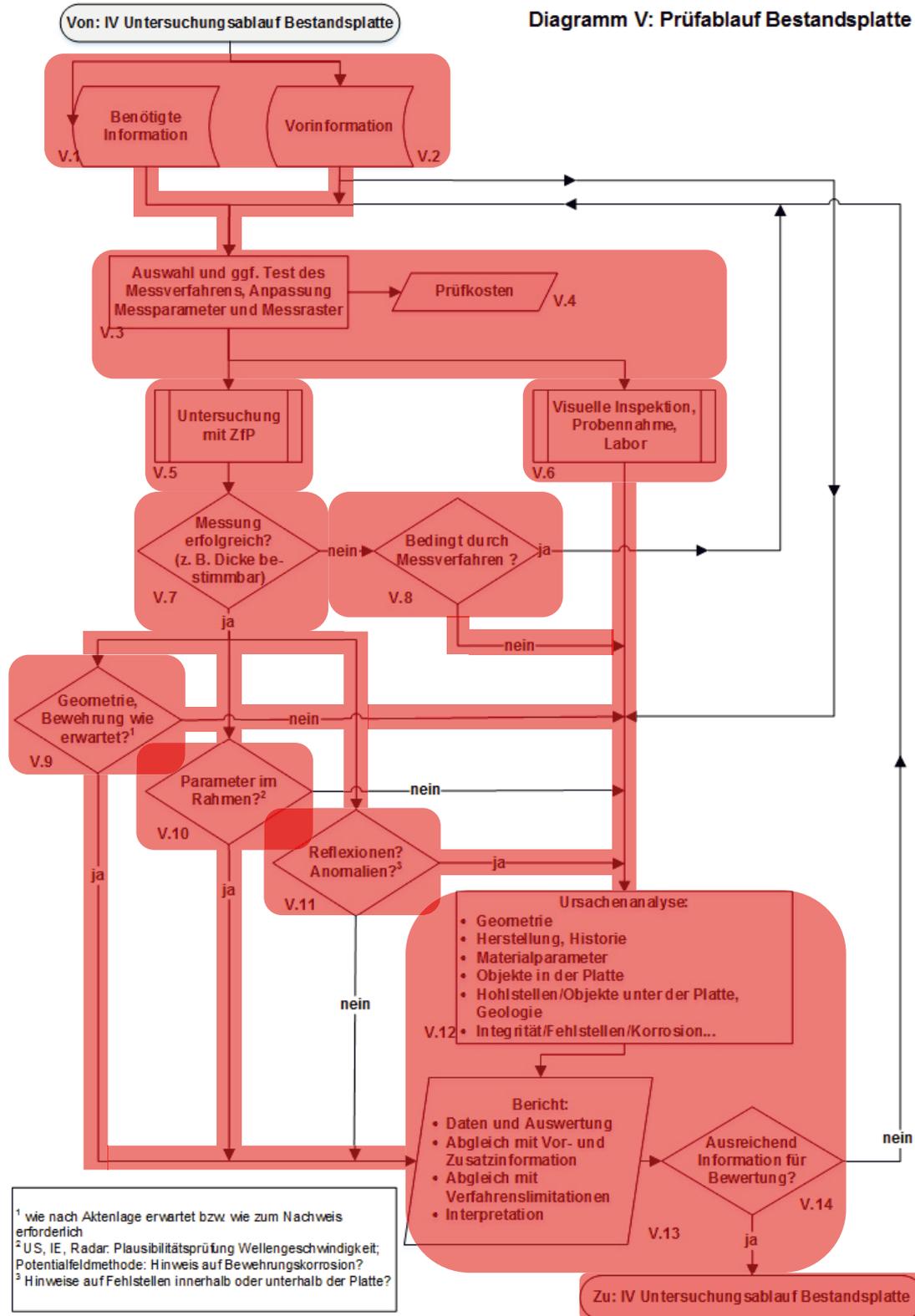


Abbildung 3: Diagramm V aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot unterlegt.

3.2.3. Testprojekt 2: Pfahlgründung von Masten

Im Rahmen der Lebensdauerverlängerung oder der Umnutzung von Masten müssen diese zum Teil neu bewertet werden. Dafür ist eine Nachrechnung für statische und dynamische Lastfälle erforderlich. Dies betrifft zum einen die Struktur selbst, die gegebenenfalls verstärkt werden muss. Aber auch die Gründung (oft Pfähle verschiedenster Typen) muss neu beurteilt werden. Nach mehreren Jahrzehnten sind jedoch für einige Bauwerke keine zuverlässigen Bestandsunterlagen verfügbar. Kann eine ausreichende Tragfähigkeit nach aktuellen Normen nicht nachgewiesen werden (sei es, dass sich die Lasten zu sehr erhöht haben oder eben keine hinreichenden Daten zum Fundament zu ermitteln sind), muss das Fundament ersetzt bzw. verstärkt werden. Bei Freileitungsmasten sind dabei Kosten von 25.000 Euro je Mast nicht untypisch. Eine vollständige Freilegung der Pfähle verbietet sich aus Kostengründen sowie Verlust an Widerstand gegen Zug. Lediglich der Pfahlanschluss kann visuell begutachtet werden, um Pfahlzahl, -typ und Durchmesser zu bestimmen. Für die Bestimmung der Pfahllänge müssen zerstörungsfreie Verfahren eingesetzt werden. Diese sind zum großen Teil etabliert und wurden anderer Stelle schon validiert. Bei der Fundamentierung von Masten gibt es jedoch eine Reihe besonderer Fundamenttypen und Randbedingungen. Daher wurden in einer Machbarkeitsstudie im Auftrag eines Netzbetreibers drei Prüfverfahren zur Pfahllängenbestimmung evaluiert [3]. Eine Zusammenfassung findet sich in Anhang 4. Dafür wurde uns Zugang zu den Fundamenten dreier Masten gewährt, wobei uns nur im ersten Fall die Bestandsunterlagen zugänglich gemacht wurden. Nach der Machbarkeitsstudie wurden an acht Masten in Süddeutschland Serienuntersuchungen durchgeführt. Die Erfahrungen wurden genutzt um die entsprechenden Ablaufdiagramme im Handbuch auf ihre Eignung zu prüfen.

Diagramm I (Abbildung 4) liefert hier wieder den Einstieg mit dem Hinweis auf die für das Projekt zutreffenden Ablaufdiagramme.

Diagramm VI (Abbildung 5) zeigt den Planungsablauf. Geometrische Kompatibilität ist hier stets gegeben, da der Mast in seiner Geometrie nicht verändert wird (VI.1). Der Netzbetreiber ist gegenüber einer Wiedernutzung vor allem aufgrund der potentiellen Zeitersparnis sehr aufgeschlossen (IV.6). Zunächst wird geprüft, ob die Bestandsfundamente unter Annahme einer üblichen Geometrie (hier Pfahltyp und -länge) die zusätzlichen Lasten nach aktuellen Normen aufnehmen könnten (IV.7). Wenn ja, erfolgt die Untersuchung (VI.8, weiter zu Diagramm VII). Wenn nein (auch in den späteren Untersuchungs- und Planungsschritten), wird entweder eine Neugründung geplant (IV.17) oder eine Gründungsverstärkung geplant, bei der ggf. die Bestandspfähle integriert werden (dann wie im Ja-Fall weiter zu IV.8). Ist das Ergebnis der Untersuchung positiv (IV.9), erfolgt eine Baugrunduntersuchung, die im Normalfall nicht nach dem aktuellen Regelwerk vorliegt. Anschließend wird erneut bewertet, ob (ggf. mit Verstärkungsmaßnahmen) eine Weiternutzung sinnvoll ist. Bei einem etwaigen Abriss oder Umbau sind hier keine Erkenntnisse bzgl. der Länge zu erwarten, da der Pfahl nicht vollständig freigelegt wird. Abschließend erfolgt die Detailplanung (VI.12 bzw. VI.17) und ggf. Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen bzw. Neugründung (VI.18 bzw. VI.19). Ein Neubau der aufgehenden Struktur (VI.20) entfällt, da der eigentliche Mast ja erhalten bleibt.

Diagramm I: Einstieg

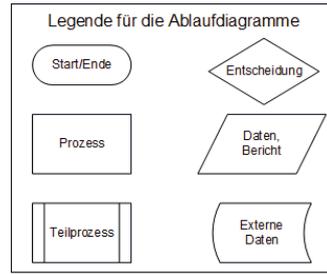
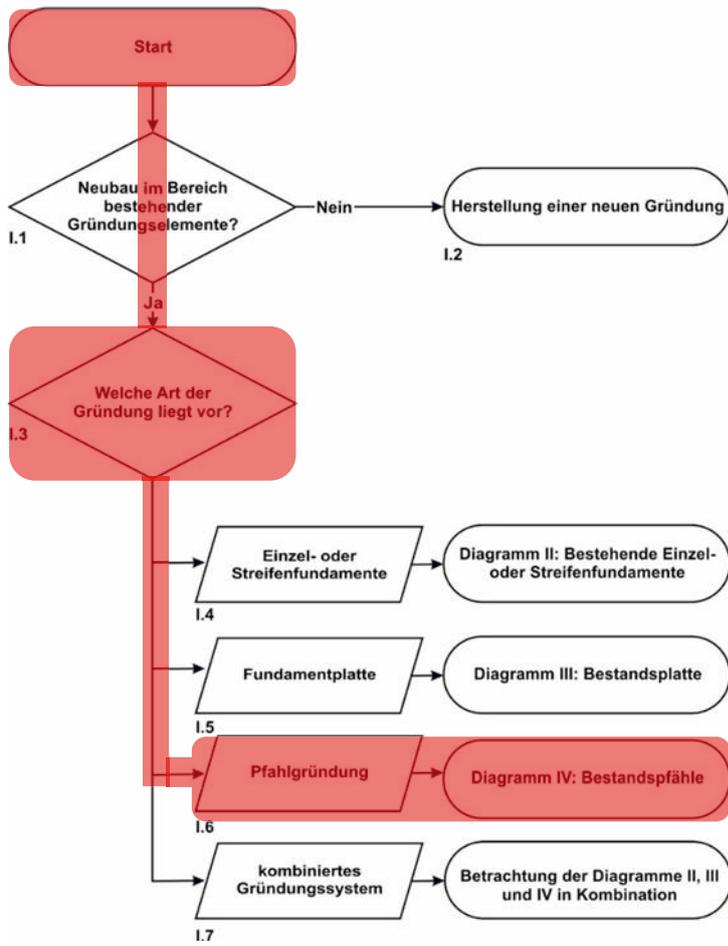


Abbildung 4: Einstiegsdiagramm aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot unterlegt.

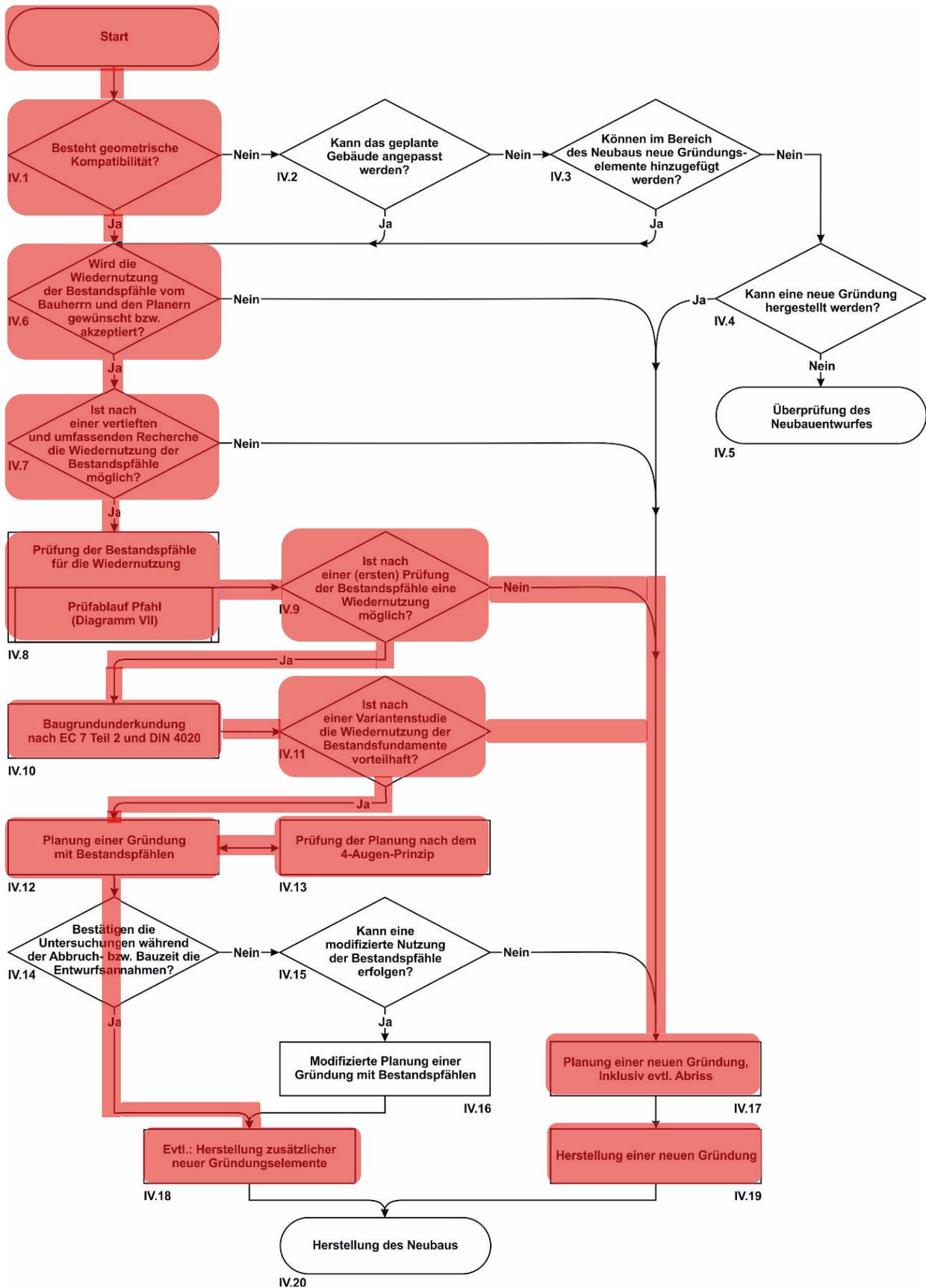


Abbildung 5: Diagramm VII aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot hervorgehoben.

Für die eigentliche Untersuchung (Diagramm VII, Abbildung 6) wurden der damals vom Netzbetreiber beauftragten Institution die vorhandenen Unterlagen inkl. Baugrunduntersuchung übergeben und die Untersuchungsziele klargestellt. (VII.1, VII.2). In der zunächst durchgeführten Machbarkeitsstudie wurde so konzipiert (VII.3), dass mehrere Untersuchungsmethoden (Pfahlintegritätsprüfung, Mehrkanalmethode und Parallel-Seismik) zunächst an Masten mit bekannter Gründung getestet wurden (VII.5). Dabei zeigte sich, dass einige Methoden die gesuchte Pfahllänge nicht zuverlässig bestimmen können (VII.7, VII.8). Dies führt für die eigentlich zu untersuchenden Masten zu einem angepassten Untersuchungskonzept (zurück zu VII.3) mit der in der Machbarkeitsstudie erfolgreichen Methode (Parallel-Seismik). Zusätzlich zu den Messungen wurden dann Schachtungen vorgenommen, um Informationen zum Pfahlkopf, Pfahltyp und ggf. Riegelgeometrie und Pfahlzahl zu erhalten. Diese Informationen konnte die ZfP nicht liefern. Primäres Ziel war die Längenbestimmung (VII.9). An fünf von acht untersuchten Masten entsprach sie den Erwartungen und Anforderungen, in den übrigen nicht. Die Wellengeschwindigkeit lag stets im Erwartungsbereich (VII.10). Fehlstellen kann das Verfahren nicht zuverlässig orten (daher VII.11 nicht markiert). Die Ergebnisse wurden für jeden Einzelmast zusammen mit den Vor- und Randinformationen ausgewertet (VII.12) und in einem Bericht festgehalten (VII.13). Daraus ergaben sich jeweils die für die Entscheidung notwendigen Informationen (VII.14).

Durch die Wiedernutzung von fünf von acht Mastgründungen ergab sich im vorliegenden Fall unter Berücksichtigung der Untersuchungskosten eine Ersparnis von 50% gegenüber der sonst fälligen vorbeugenden Ertüchtigung aller Fundamente.

Die Ablaufdiagramme zeigten sich auch hier als zielführend, nach dem Optimierungen bei den Iterationschleifen vorgenommen wurden und die Verzahnung zu Planung und nicht zerstörungsfreien Untersuchungen betont wurde.

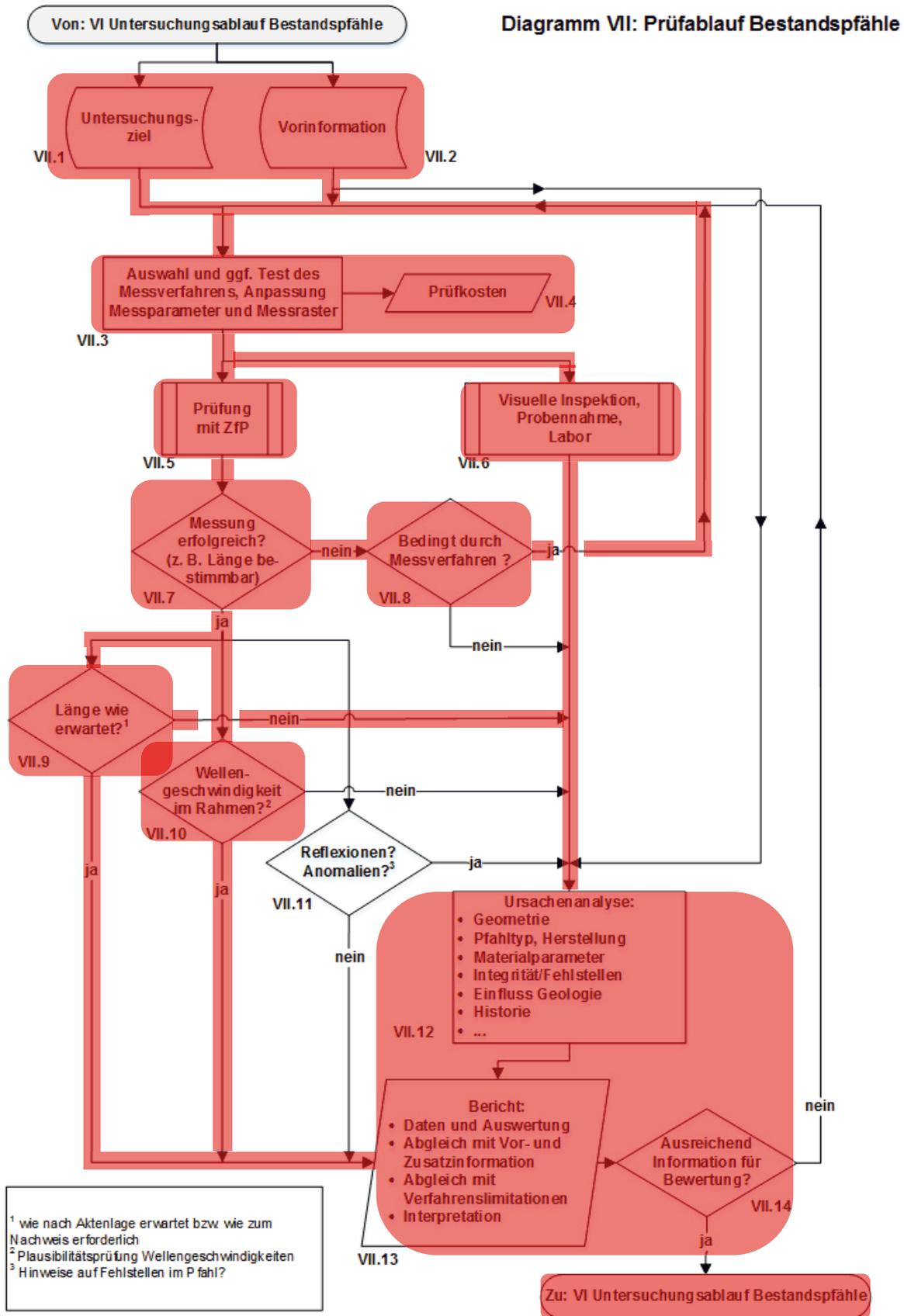


Abbildung 6: Diagramm VII aus dem Handbuch. Verfolgter Ablauf rot hervorgehoben.

3.3. Arbeitspaket 3: Untersuchungsmethoden

3.3.1. Vorbemerkung

In AP3 sollten die zur Verfügung stehenden technischen Untersuchungsverfahren evaluiert und ggf. optimiert werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf zerstörungsfreien Prüfmethoden. Möglichkeiten und Grenzen sowie der notwendige Zeitaufwand wurden beleuchtet. Ein weiterer Fokus lag auf der optimalen Nutzung von Vorinformationen zur Methoden- und Parameterauswahl sowie der für den Baupraktiker nutzbaren Aufbereitung der Messergebnisse. Die Evaluierung (soweit erforderlich und nicht durch Literatur oder Regelwerke ausreichend belegt) geschah primär am BAM-TTS in Horstwalde (dort wurde speziell für das Vorhaben eine Testplatte hergestellt, s. Anhang 2), aber auch im Rahmen der beiden in den Abschnitten 3.2.2 und 3.2.3 erläuterten Testprojekten.

Bei den Untersuchungsmethoden wurden sowohl Verfahren berücksichtigt, die bereits in Regelwerken und der Praxis etabliert sind (z. B. Pfahlintegritätsprüfung), als auch innovative Methoden, die in jüngerer Zeit in Forschungsprojekten vielversprechende Ergebnisse lieferten (z. B. Parallel-Seismik, Bohrlochradar, Ultraschall-Echo).

In diesem Abschnitt des Berichts werden lediglich grundsätzliche Bemerkungen gesammelt und die Arbeitsweise im Projekt erläutert. Die Ergebnisse sind inklusive einiger Messbeispiele und Angaben zu Regelwerken und Literatur im Handbuch enthalten. Dort werden die Methoden im Einzelnen kurz beschrieben und ihre Eignung für bestimmte Fragestellungen in Anwendungstabellen bewertet.

Die Arbeiten wurden von BAM, SKP, GSP und Implenia ausgeführt.

3.3.2. Zerstörungsfreie Prüfverfahren (Stand der Technik)

Unter dieser Rubrik werden zerstörungsfreie Prüfverfahren verstanden, die in Normen oder anderen Regelwerken beschrieben und in der Praxis eingeführt sind. Dazu gehören:

- Bewehrungssucher,
- Rückprallhammer,
- Radarverfahren,
- Potentialverfahren,
- Impact-Echo,
- Ultraschall-Echo,
- Pfahl-Integritätsprüfung.

Mehrere spezialisierte Ingenieurbüros bieten diese Verfahren an. Für diese Verfahren sind Merkblätter der DGZfP erhältlich, die über Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen informieren. Daher war hier in der Regel keine ausführliche Evaluierung notwendig.

3.3.3. Zerstörungsfreie Prüfverfahren (innovative Methoden)

Zusätzlich zu den oben aufgelisteten Methoden wurden auch Prüfverfahren in Betracht gezogen, die bisher nur in der Wissenschaft eingesetzt werden oder bei denen zumindest in Deutschland noch wenig Praxiserfahrung vorliegt.

1) Automatisierte Messungen mit scannenden Systemen:

Auf der REFUND-Testplatte in Horstwalde wurden neben konventionellen Handmessungen auch Prüfungen mit einem Scanner-System der BAM vorgenommen, das Prüfköpfe zum Ultraschall-Echo, Impakt-Echo und zum Radarverfahren tragen kann. Es ermöglicht eine hochpräzise Verortung und ein enges Messraster, ist aber nicht kommerziell erhältlich. Die Evaluierung zeigte, dass sich die Abbildungsqualität damit im Vergleich zu Handmessungen deutlich erhöht (siehe z. B. Radarbeispiel zur REFUND-Testplatte, Anhang 1 des Handbuchs). Nicht immer ist der Aufwand aber gerechtfertigt (siehe z. B. Impakt-Echo, gleicher Abschnitt des Handbuchs). Da derartige Geräte bei Ingenieurfirmen noch nicht verfügbar ist, wurde auf eine Empfehlung verzichtet. Ein zukünftiger Einsatz ist aber zu erwarten. Bei der in 3.2.2 beschriebenen Studie wurde es für das Ultraschall-Echo-Verfahren eingesetzt und hat sich hier bewährt.

2) Parallel-Seismik und Mehrkanal-Pfahlintegritätsprüfung

Diese beiden Verfahren sind in der DGGT EA Pfähle bereits erwähnt, aber noch nicht ausführlich beschrieben. Inzwischen verfügen aber etliche Ingenieurfirmen über entsprechendes Gerät und erste Erfahrungen. Im Rahmen von REFUND wurden sowohl Messungen auf dem BAM-TTS als auch in weiteren Machbarkeitsstudien ausgewertet (siehe Abschnitt 3.2.3 und Anhang Handbuch). Das Mehrkanal-Verfahren wurde durch die BAM in Prüfaufträgen erfolgreich eingesetzt, blieb aber an den Freileitungsmasten erfolglos. Daher wird es im Handbuch erwähnt, aber nur mit Einschränkungen empfohlen. Das Parallel-Seismik-Verfahren war in den meisten Fällen erfolgreich und wird inzwischen an Freileitungsmasten in Serie eingesetzt. Daher wurde es in den Verfahrenskatalog aufgenommen und empfohlen.

3) Bohrlochradar-Verfahren

In einem Test auf dem BAM-TTs wurde das Bohrlochradarverfahren erfolgreich getestet. Die Länge eines Pfahles konnte aus einem parallelen Bohrloch mit hinreichender Genauigkeit ($\pm 0,25$ m) bestimmt werden. Allerdings war ein Einsatz an Stufenfundamenten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie erfolglos. Daher wurde das Verfahren zum jetzigen Zeitpunkt nicht in das Handbuch aufgenommen.

4) Ultraschall-Echo und Radar zur Lokalisierung von Hohlstellen unter Fundamentplatten

Diese Fragestellung wurde vom externen Arbeitskreis an das Konsortium herangetragen. In der Literatur gibt es vereinzelte Hinweise, dass eine Lokalisierung mit Radar möglich ist. Verifizierbare Messbeispiele wurden aber nicht dokumentiert. Daher wurde die REFUND-Testplatte in Horstwalde mit „Schubkästen“ ausgerüstet, um unter der Sauberkeitsschicht unterschiedliche Situationen (Bodenkontakt, luftgefüllter Hohlraum, wassergefüllter Hohlraum) simulieren zu können. Die Anwendung des Radarverfahrens scheiterte jedoch schon daran, dass die Unterkante der Fundamentplatte nicht im Messergebnis zu erkennen war. Niederfrequente Antennen vermögen die Bewehrung nicht zu durchdringen, hochfrequente Antennen haben keine ausreichende Reichweite, insbesondere bei der in Fundamentplatten oft erhöhten Feuchtigkeit. Auch bei den Experimenten im Parkhaus gab es kein Ergebnis.

Ultraschall-Echo zeigte in Laborversuchen hoffnungsvolle Ansätze (Änderung der Reflexionsamplitude bei Messung auf einem unbewehrten Balken, der nacheinander auf Sand, Wasser und Luft gesetzt wurde). An der REFUND-Testplatte (siehe Messbeispiel im Anhang des Handbuchs) ließ sich dies aber nicht nachvollziehen. Die beschriebenen Messungen wurden mit der heute üblichen Messanordnung (Scherwellen, enger, fester Abstand Sender-Empfänger) durchgeführt. Aus der Geophysik ist ein Ansatz bekannt, mit dem sich Reflexionsamplituden in Abhängigkeit vom Sender-Empfänger-Abstand zur Charakterisierung von Grenzflächen nutzen lässt. Erste Simulationen zeigen, dass dies womöglich auf die hier behandelte

Fragestellung übertragbar ist. Da hierfür aber erst neue Messausrüstung und ein Auswertesystematik entwickelt werden muss, kann diese Arbeit nicht im Rahmen des Projektes REFUND erfolgen. Es wurde daher ein BAM-interner Forschungsantrag entworfen, der im Frühjahr 2017 zur Entscheidung ansteht.

5) Sauberkeitsschicht unter Fundamentplatten, Dickenmessung mit Ultraschall-Echo

Viele Fundamentplatten bauen auf einer unbewehrten Sauberkeitsschicht aus Magerbeton auf. Insbesondere bei akustischen Messungen stellt sich die Frage, ob die Messverfahren nur den eigentlichen Ort beton erfassen, die Gesamtstärke messen oder beide Schichten getrennt auflösen. Impakt-Echo erkannte in allen Versuchen, so auch in denen auf der REFUND-Testplatte, nur eine Schicht. Aufgrund des guten Kontaktes zwischen Platte und Sauberkeit war es in diesem Fall die Gesamtstärke (siehe Messbeispiel im Handbuch). Ultraschall-Echo war an der REFUND-Testplatte in der Lage, die Schichten zu trennen (siehe wiederum Handbuch). Allerdings ist die Reflektion von der Zwischengrenze schwach. Bei der REFUND-Testplatte wurden beide Schichten von der ausführenden Firma besonders sorgfältig ausgeführt. In der Praxis ist damit zu rechnen, dass nur ein geringer Verbund vorliegt und nur der Plattenbeton erfasst wird. Im Zweifelsfall muss das Messergebnis durch eine Kernbohrung geprüft und kalibriert werden. Eine solche Kalibrierung wird im Handbuch ohnehin empfohlen.

6) Pfahlintegritätsprüfung durch Temperaturmessungen

Der Projektpartner GSP brachte ein weiteres Messverfahren zur Integritätsprüfung ein. Es besteht aus Ketten von Temperatursensoren, die vor Betonage am Bewehrungskorb von Fundamentpfählen befestigt werden. Bei zu geringer Betondeckung zeigen sich bei der Erhärtung des Betons Anomalien. Das Verfahren wurde an der REFUND-Testplatte erfolgreich geprüft. Künstlich eingebrachte Anomalien wurden sicher erkannt. Da das Verfahren aber nur für Neufundamente geeignet ist, wurde es im Handbuch erwähnt, aber nicht weiter ausgeführt.

3.3.4. Nicht-zerstörungsfreie Prüfverfahren

Bei diesen Verfahren beschränkte sich Recherche und Einordnung im Handbuch auf eingeführte und in Normen und Regelwerken beschriebene Verfahren. Besonderen Wert wird darauf gelegt, dass diese Verfahren stets in Abstimmung mit den zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden einzusetzen sind, um einen optimalen Untersuchungserfolg zu gewährleisten.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ziele des Forschungsvorhabens REFUND wurden weitestgehend erreicht. Wie vorgesehen wurden nach einer umfangreichen Recherche zu vorliegenden Erfahrungen Entscheidungskriterien und -abläufe für Projekte zur Wieder- und Nachnutzung von Fundamenten entwickelt. Zahlreiche, insbesondere zerstörungsfreie Prüfverfahren wurden gesichtet und falls notwendig getestet und optimiert. Dies geschah zum Teil an eigens hergestellten Prüfobjekten. Anschließend folgten eine Bewertung und eine Einordnung bezüglich des entwickelten Fragenkatalogs. Die entstandene Vorgehensweise wurde an zwei Praxisprojekten geprüft und optimiert. Das Ergebnis ist ein umfangreiches Handbuch, das Planer und anderen Projektbeteiligten bei der Abwicklung derartiger Vorhaben hilft.

Nicht alle von den Praktikern aufgeworfenen Fragestellungen bei der Untersuchung von Bestandsfundamenten lassen sich durch die derzeit zur Verfügung stehenden Verfahren lösen. Hieraus ergeben sich Aufgaben für die weitere Forschung und Entwicklung (z. B. zu Hohlstellen unter Fundamentplatten).

Die Autoren sind sich bewusst, dass dabei nicht alle Eventualitäten berücksichtigt werden können. Daher sind die Nutzer aufgefordert, die Abläufe kritisch zu hinterfragen und ggf. an das eigene Projekt anzupassen. Wichtig ist in jedem Fall eine enge, offene und vertrauensvolle Zusammenarbeit der Beteiligten, ggf. über mehrere Iterationszyklen bis zu einer optimalen Lösung.

Zu erwartende Neuerungen in den Regelwerken und neue Entwicklungen bei den Untersuchungsmethoden machen eine Fortschreibung des Handbuchs wünschenswert.

5. Literatur

- [1] Niederleithinger, E., R. Katzenbach, J. Galindo, J. Gutwald, S. Hillmann, M. Schallert und M. Willmes: Handbuch zur Weiter- und Nachnutzung von Fundamenten. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft Nr. 98, 2016.
- [2] Butcher, A. P., J. Powell, und H. Skinner. *Re-Use of Foundations for Urban Sites – A Best Practice Handbook*. IHS BRE Press, Bracknell, UK, 2006.
- [3] Niederleithinger, Ernst, Jens-Peter Ertel, Michael Sochor, und Holger Unseld. „Nachbestimmung von Pfahlängen am Beispiel von Masten“. In *34. Baugrundtagung*. Bielefeld: DGGT, 2016.

Anhänge

- Anhang 1: Handbuch
- Anhang 2: Testplatte „REFUND“
- Anhang 3: Parkhaus
- Anhang 4: Mastenfundamente
- Anhang 5: Hinweise zu Ausschreibung und Vergabe
- Anhang 6: Ausgewertete Quellen AP1

Anhang 1 : Handbuch

Erscheint parallel als:

Niederleithinger, E., R. Katzenbach, J. Galindo, J. Gutwald, S. Hillmann, M. Schallert und M. Willmes: Handbuch zur Weiter- und Nachnutzung von Fundamenten. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft Nr. 98, 2016.

Inhalt

Anhang 1 : Handbuch	- 1 -
Inhalt	- 2 -
1 Einführung	4
2 Typologie von Bestandsfundamenten.....	6
2.1 Allgemeines.....	6
2.2 Einzel- und Streifenfundamente.....	7
2.2.1 Allgemeines	7
2.2.2 Geometrie und Aufbau	7
2.2.3 Materialien	7
2.2.4 Herstellverfahren	8
2.2.5 Tragwirkung	8
2.3 Plattenfundamente.....	10
2.3.1 Allgemeines	10
2.3.2 Geometrie, Aufbau und Materialien	10
2.3.3 Herstellverfahren	10
2.3.4 Tragwirkung	10
2.4 Pfehlgründungen	11
2.4.1 Allgemeines	11
2.4.2 Herstellverfahren und Pfehltypen	11
2.4.3 Tragwirkung	13
3 Voraussetzungen für die Untersuchung von Bestandsfundamenten	15
3.1 Allgemeines.....	15
3.2 Geometrie	15
3.3 Materialeigenschaften.....	15
3.3.1 Allgemeines	15

3.3.2	Einzel- und Streifenfundamente sowie Fundamentplatten	16
3.3.3	Pfähle	17
3.4	Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.....	17
3.5	Erste Planungsschritte sowie Kosten-Nutzenanalyse.....	18
4	Untersuchungsmethodik	20
4.1	Bestandsunterlagen	20
4.2	Visuelle Inspektion (Sichtprüfung).....	20
4.3	Zerstörungsfreie Prüfung.....	21
4.3.1	Generelle Aspekte	21
4.3.2	Der Rückprallhammer	22
4.3.3	Der Bewehrungssucher	22
4.3.4	Das Radarverfahren	24
4.3.5	Das Ultraschall-Echo-Verfahren	26
4.3.6	Das Impakt-Echo Verfahren	28
4.3.7	Das Potentialfeld-Verfahren	30
4.3.8	Pfahlintegritätsprüfung und Mehrkanalmethode	31
4.3.9	Parallel-Seismik-Verfahren	34
4.3.10	Andere Prüfverfahren für Pfähle, Pfahl-, Schlitz- und Spundwände	36
4.4	Bewertung der zerstörungsfreien Verfahren	36
4.4.1	Prüfverfahren zur Untersuchung von Einzel- und Streifenfundamenten	37
4.4.2	Prüfverfahren zur Untersuchung von Plattenfundamenten	39
4.4.3	Verfahren zur Untersuchung von Pfahlgründungen	41
4.4.4	Tieferliegende Hohlräume	42
4.5	Kalibrierung zerstörungsfreier Untersuchung.....	44
4.5.1	Kalibrierung der Geometrie	44
4.5.2	Kalibrierung der Materialparameter	44

4.5.3	Kalibrierung Fehlstellen	44
4.6	Labormethoden	45
4.7	Experimentelle Statik.....	45
5	Durchführung der Untersuchungen und Entscheidungsfindung	46
5.1	Grundsätze.....	46
5.2	Ablauf der Untersuchung.....	47
5.2.1	Einzel- und Streifenfundamente	48
5.2.2	Fundamentplatten	55
5.2.3	Pfahlgründungen	62
5.3	Anforderungen an die Dokumentation der Untersuchungen	71
6	Sanierung und zusätzliche Gründungselemente	72
6.1	Vorspannbare Stabverpresspfähle (SVV).....	72
6.2	Press- oder Segmentpfähle.....	73
6.3	Düsenstrahlverfahren	74
7	Schlussbemerkungen und Ausblick	76
8	Danksagung	76
9	Literaturverzeichnis.....	77

1 Einführung

Eine dauerhaft tragfähige Gründung ist eine wesentliche Voraussetzung für jede Baukonstruktion. Aber nicht immer ist eine vollständig neue Gründung notwendig, wenn ein Gebäude ersetzt, erweitert oder umgenutzt wird. Die Wiedernutzung der vorhandenen Gründungskörper, gegebenenfalls ergänzt um neue Elemente, kann aus mehreren Gründen sinnvoll sein. Oft lassen sich Zeit und Kosten einsparen, Lärm- und Staubemissionen verringern sowie die Energiebilanz verbessern. Davon können alle Beteiligten profitieren - Bauherren, Planer, Auftragnehmer, Nutzer und Anwohner.

Eine Wiedernutzung ist aber auch mit Risiken behaftet. Bei älteren Bauwerken sind nicht immer zuverlässige Bestandsunterlagen vorhanden. Zudem kann sich durch Degradation oder spezifische Schadensereignisse der Zustand des Bauteiles verschlechtert haben. Eine visuelle Inspektion und Probennahme ist, bedingt durch die schwere Zugänglichkeit von Gründungsbauwerken, im Untergrund aufwändig oder schlicht unmöglich. Wer ist verantwortlich, wenn später Mängel auftreten? Wie wird die Gewährleistungsfrage vertraglich geregelt? Die Entscheidung, Elemente der vorhandenen Gründung zu nutzen, ist daher nicht einfach. Sie muss mit Bedacht getroffen werden.

Hierzu sind in einer frühen Projektphase die Planungsbeteiligten in die Überlegungen einzubinden, damit frühzeitig Untersuchungen durchgeführt werden können und die ggf. wieder zu nutzenden Gründungskörper sinnvoll Eingang in die Variantenabstimmung, im Rahmen der Tragwerksplanung, finden können. Insbesondere der Bauherr ist dafür zu sensibilisieren, dass hier Kosten für Untersuchungen, Gutachten und Studien anfallen, deren Nutzen sich ggf. erst zu einem späteren Zeitpunkt zeigen wird.

Das vorliegende Handbuch soll Bauherren und Planern bei dem Weg durch den Entscheidungsprozess helfen. Es kann aber auch ausführenden Firmen und gutachterlich tätigen Ingenieurbüros, im Dialog mit ihren Kunden oder Verwaltungen, helfen.

Systematische Forschung zur Wiedernutzung von Fundamenten ist selten. Im, von der EU im 5. Rahmenprogramm geförderten Projekt RuFUS („Re-use of Foundations on Urban Sites“, 2004-2007), wurden wertvolle Grundlagen gelegt und in einem Best Practice Handbook (Butcher et al. 2006) veröffentlicht. Zwei der Herausgeber dieses Handbuches waren Mitglieder des damaligen Konsortiums.

Inzwischen hat sich die Messtechnik zur Untersuchung von Fundamenten signifikant weiterentwickelt und es liegen neue Erfahrungen aus Praxisfällen vor. Daher wurde im Rahmen des BBR-Programms „Zukunft Bau“ ein neues Projekt aufgelegt: REFUND („Untersuchung des Zustands von Bestandsfundamentierungen und Etablierung von Entscheidungsbäumen zur wirtschaftlich optimierten Weiter- und Nachnutzung“, 2014-2016). Aufgabe war es, Lücken in der bisherigen wissenschaftlich-technischen Vorgehensweise

zu schließen und die Entscheidungsbäume zu optimieren sowie an die Situation in Mitteleuropa anzupassen.

Aus Gründen des Umfangs und der Häufigkeit des Auftretens, beschränken sich die Ausführungen auf Konstruktionen aus (Stahl-) Beton. Die Untersuchung von Fundamenten aus Mauerwerk oder Holz spielt im Wesentlichen, im Rahmen des Erhalts historischer (oder zumindest älterer) Bauwerke, eine Rolle. Hierfür sei auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen (z. B. Goldscheider und Eckert 2003).

2 Typologie von Bestandsfundamenten

1. Allgemeines

Die Aufgabe einer Gründung ist es, die Bauwerkslasten unter den Aspekten Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit (z.B. Verformungen) in den Baugrund einzuleiten. Es wird grundsätzlich unterschieden zwischen Flach- und Tiefgründungen.

Flachgründungen werden dadurch charakterisiert, dass die auftretenden Lasten flächig über Sohlspannungen in den Baugrund eingetragen werden. Dazu gehören Streifen- und Einzelfundamente sowie großflächige Fundamentplatten.

Als Tiefgründungselemente kommen Pfähle und Schlitzwandelemente in Frage. Nachfolgend wird im Bereich der Tiefgründungen, aufgrund der hohen Praxisrelevanz, ausschließlich auf Pfahlgründungen eingegangen.

Bei einer Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) findet ein gemeinsamer Lasteintrag in den Boden über die Fundamentplatte und die darunterliegenden Tiefgründungselemente statt. Bei einer reinen Pfahlgründung werden nur die Tiefgründungselemente für den Lastabtrag angesetzt.

Eine der wesentlichen Herausforderungen der Wiedernutzung von Bestandsgründungen besteht in der Ermittlung der Materialkennwerte, welche für die Standsicherheitsnachweise notwendig sind. Diese können teilweise und idealerweise aus vorliegenden Planunterlagen oder einer Herstellungsdocumentation ermittelt werden. Da diese jedoch häufig unvollständig sind und sich Materialeigenschaften über die Nutzungsdauer verändern können, sind in den meisten Fällen weiterführende Untersuchungen notwendig. Außerdem ist es erforderlich, Informationen über das Verhalten der Gründung während der vorhergehenden Nutzung zu erhalten. Bei der Untersuchung müssen geometrische Parameter, verwendete Materialien und aktuell vorherrschende Materialeigenschaften ermittelt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Gründungssysteme genauer beschrieben und es wird auf die spezifischen Parameter für die Wiedernutzung eingegangen.

2. Einzel- und Streifenfundamente

2.2.1 Allgemeines

Einzel- und Streifenfundamente stellen die einfachste Art einer Gründung dar. Da sie, abhängig von der Geometrie, auch unbewehrt funktionsfähig sind, sind sie eine schon bei historischen Bauten übliche Gründungsform. Einzelfundamente werden eingesetzt, um Punktlasten abzutragen, wohingegen Streifenfundamente für den Abtrag von Linienlasten verwendet werden (Bild 1).

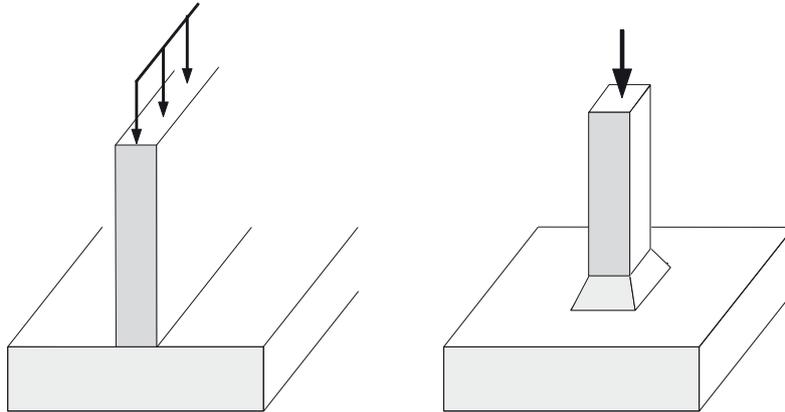


Bild 1 Streifenfundament und Einzelfundament.

2.2.2 Geometrie und Aufbau

In vielen Fällen handelt es sich um doppelsymmetrische Querschnitte. Einzelfundamente haben meist einen (annähernd) quadratischen oder runden Querschnitt, Streifenfundamente einen entsprechend rechteckigen. Neben der Aufstandsfläche spielen, für die Tragfähigkeit, die Einbindetiefe und der Bewehrungsgrad eine wesentliche Rolle.

2.2.3 Materialien

Heutzutage werden Einzel- und Streifenfundamente meist aus bewehrtem oder unbewehrtem Beton hergestellt.

Bei historischen Bauwerken wurden häufig auch andere Materialien verwendet. Dazu gehören Fundamente aus Holzschwellen, (Natur-) Stein und Mauerwerk.

2.2.4 Herstellverfahren

Die Herstellung von Einzel- und Streifenfundamenten erfolgt heute meist in Ortbetonbauweise. Bei Einzelfundamenten sind auch Fertigteile üblich, z. B. sog. Köcherfundamente, in die die aufgehenden Stützen eingestellt werden.

Einzel- und Streifenfundamente müssen frostsicher gegründet werden. Dafür ist ein Mindestabstand zwischen der Sohlfläche und der umliegenden Geländeoberkante von mindestens 0,8 m einzuhalten. Alternativ kann der Nachweis der Frostsicherheit der Sohlfläche durch andere Nachweise erbracht werden oder eine Wärmedämmung angeordnet werden (DIN EN ISO 13793).

2.2.5 Tragwirkung

Die Last einer Stütze oder Wand verteilt sich, in Abhängigkeit von der Steifigkeit des Fundaments, auf die Fundamentfläche. Diese Bauwerkslast muss der anstehende Baugrund sicher und schadlos abführen. Dies ist gewährleistet, wenn die Nachweise der äußeren Tragfähigkeit (i.d.R. Grundbruch-, Kipp-, und Gleitsicherheit) erfüllt und die Setzungen systemverträglich sind.

Sohlspannung

Die Sohlspannungsverteilung ist abhängig von der Baugrund-Tragwerk-Interaktion, die z. B. durch die Systemsteifigkeit K erfasst wird. Grenzfälle sind das starre und das schlaffe Fundament (Bild 2). Die Sohldruckverteilung eines schlaffen Fundaments entspricht der Lastverteilung auf das Fundament, wohingegen bei einem starren Fundament ein nichtlinearer Verlauf mit Spannungsspitzen an den Kanten auftritt. Die Systemsteifigkeit berechnet sich wie folgt:

$$K = \frac{1}{12} \frac{E_b}{E_s} \left(\frac{h}{l} \right)^3 \quad (1)$$

Mit:	E_b	Elastizitätsmodul des Fundamentbetons [kN/m ²]
	E_s	Steifemodul des Baugrunds [kN/m ²]
	l	Länge des Fundaments [m]
	h	Höhe des Fundaments [m]

Die Unterscheidung, ob es sich um ein schlaffes oder starres Fundament handelt, werden i.d.R. folgende Grenzen angesetzt:

Systemsteifigkeit	Fundamenttyp
$K \geq 0,1$	starres Fundament
$0,001 \leq K < 0,1$	Zwischenbereich
$K < 0,001$	schlaffes Fundament

Tabelle 1 Unterscheidung zwischen starren und schlaffen Fundamenten

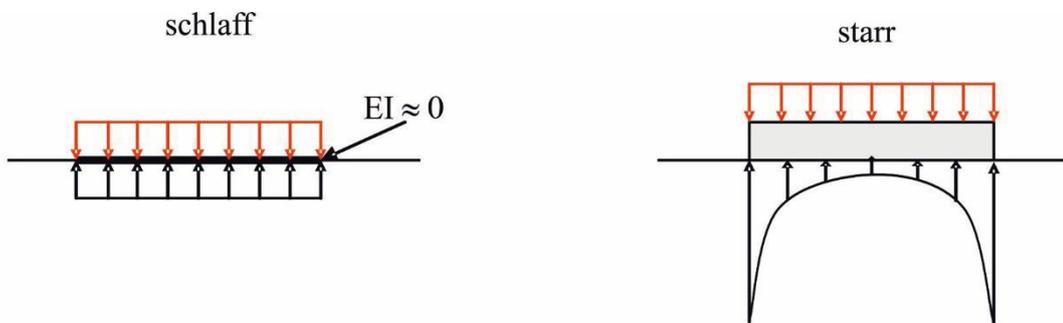


Bild 2 Sohldruckverteilungen für schlaffe und starre Fundamente.

Die Sohldruckverteilungen können mit den folgenden Verfahren ermittelt werden:

- Sohldruckverteilung nach Boussinesq für starre Fundamente,
- Spannungstrapezverfahren,
- Bettungsmodulverfahren,
- Steifemodulverfahren,
- Numerische Methoden.

Die Sohldruckverteilung ist für die statischen Nachweise, die Setzungsberechnungen und die Bemessung der Fundamentplatte (innere Tragfähigkeit) relevant.

3. Plattenfundamente

2.3.1 Allgemeines

Plattenfundamente bestehen aus einer Fundamentplatte, welche sich i.d.R. über den kompletten Grundriss des Bauwerks erstreckt. Diese wird maßgeblich von ihren geometrischen Abmessungen (Länge, Breite und Dicke) charakterisiert.

2.3.2 Geometrie, Aufbau und Materialien

Die Geometrie von Fundamentplatten ergibt sich i.d.R. aus der Gebäudeform, wobei die Dicke variieren kann. Fundamentplatten bestehen heutzutage i.d.R. aus bewehrtem Beton.

2.3.3 Herstellverfahren

Die Herstellung einer Fundamentplatte erfolgt ähnlich wie bei Einzel- und Streifenfundamenten.

2.3.4 Tragwirkung

Plattenfundamente ermöglichen, infolge ihrer Biegetragwirkung, eine Lastverteilung und -vergleichmäßigung in der Sohlfuge. Aufgrund der großen Ausdehnung sind die erdstatischen Nachweise (Grundbruch etc.) i.d.R. nicht bemessungsrelevant. Die Sohlspannungsverteilung ist für die innere Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten der Platte maßgebend.

Die Sohlspannungsverteilung unter einer Fundamentplatte berechnet sich analog zur Vorgehensweise bei Einzel- und Streifenfundamenten (Kapitel 2.2.5), wobei heutzutage überwiegend Berechnungen nach der Finite-Element-Methode (FEM) durchgeführt werden.

4. Pfahlgründungen

2.4.1 Allgemeines

Pfahlgründungen sind die am häufigsten ausgeführte Art der Tiefgründung. Sie kommen immer dann zum Einsatz, wenn der unter der Gründungsebene anstehende Baugrund nicht ausreichend tragfähig ist und/oder systemunverträgliche Setzungen zu erwarten sind. Dies ist dann der Fall, wenn die Lasten groß und/oder die im Gründungsbereich anstehenden Böden gering tragfähig sind (z.B. weiche oder locker gelagerte Böden).

Nachfolgend wird eine vereinfachte Darstellung über die Pfahlgründungen gegeben. Weiterführende Informationen können der EA-Pfähle entnommen werden.

Je nach Geometrie und Lastabtrag, können Einzelpfähle direkt unter den lasteintragenden Bauteilen (z.B. Stützen) oder mehrere Pfähle, die durch einen Balken oder eine Platte verbunden sind, angeordnet werden.

Bei der Kombinierten Pfahl-Plattengründung kommen ebenso einzeln oder gruppenförmig angeordnete Pfähle unterhalb der Fundamentplatte zum Einsatz.

Pfähle lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien einteilen: Art der Einbringung in den Boden, Fertigteil- oder Ortbetonpfahl, Übertragung der Lasten in den Boden (über Spitzendruck und/oder Mantelreibung).

2.4.2 Herstellverfahren und Pfahltypen

Pfähle können grundsätzlich durch ein bohrendes, ein rüttelndes und ein rammendes Verfahren oder auch unter einer Vertikalkraft in den Boden eingebracht werden. Nachfolgend werden die gängigen Herstellungsverfahren Bohren und Rammen näher beschrieben.

Bohrpfähle

Als Bohrpfähle bezeichnet man grundsätzlich alle Pfähle, die mit einem bohrenden Verfahren in den Boden eingebracht werden. Man unterscheidet Bohrpfähle mit einem Durchmesser kleiner 0,3 m (z. B. verpresste Mikropfähle) und solche, mit einem größeren Durchmesser (gängige Durchmesser z. B. 0,6 und 0,9 m, sogenannte Großbohrpfähle werden auch bis ca. 3,0 m Durchmesser ausgeführt).

Beim „klassischen Bohrpfahl“ wird der Boden vollständig entnommen, die Bohrung mit einem Rohr oder einer Suspension gestützt, dann i.d.R. die Bewehrung eingestellt und beim Ziehen des Rohres Beton eingebracht. Das Bohrwerkzeug kann, an den zu durchbohrenden Boden, angepasst werden und auch die Beseitigung massiver Hindernisse ist mit diesem Verfahren möglich.

Als Teilverdrängungsbohrpfähle werden solche bezeichnet, die mit einer Bohrschnecke hergestellt werden. Da diese innen ein sog. Seelenrohr hat, in das Bewehrung eingebaut werden kann, wird der Boden teilweise verdrängt und teilweise oben herausgefördert. Beim Ziehen der Bohrschnecke wird gleichzeitig betoniert.

Weiterhin gibt es sog. Schraubenbohrpfähle (Vollverdrängungsbohrpfähle). Bei diesen wird ein Vortriebsrohr mit einer Spitze unter statischem Druck, meist auch drehend, in den Boden eingebracht, wobei der Boden vollständig verdrängt wird. Dann wird Bewehrung eingestellt und beim Ziehen / Herausdrehen des Rohres betoniert, wobei die Spitze im Boden verbleibt.

Sowohl Teil- als auch Vollverdrängungsbohrpfähle können nur im weitgehend hindernisfreien Boden hergestellt werden.

Rammpfähle

Klassische Rammpfähle, wie Sie schon vor langer Zeit, z. B. im Hafenaufbau, verwendet wurden, sind solche, bei denen ein Fertigteil (aus Holz, Stahl oder Beton) mit einer Ramme in den Boden getrieben wird.

Rammpfähle gehören auch zu den Vollverdrängungsbohrpfählen. Sie haben durch die Bodenverdrängung i.d.R. eine höhere Traglast als durch Bodenentnahme hergestellte Bohrpfähle mit vergleichbarem Durchmesser.

Es gibt weiterhin die Möglichkeit Fertigteilpfähle vibrierend, rüttelnd oder statisch pressend in den Boden einzubringen.

Wie die oben beschriebenen Verdrängungsbohrpfähle, können auch Rammpfähle nur im weitgehend hindernisfreien Boden hergestellt werden. Ein stark begrenzender Faktor für die Auswahl von Rammpfählen, sind die große Lärmentwicklung und die bei der Herstellung auftretenden Erschütterungen. Diese sind bei rüttelnden, vibrierenden oder pressenden Verfahren i.d.R. geringer.

2.4.3 Tragwirkung

Die Tragfähigkeit eines Pfahls ergibt sich aus der Mantelreibung und dem Spitzendruck. In Abhängigkeit der überwiegenden Kraftgröße, wird zwischen Mantelreibungspfählen und Spitzendruckpfählen unterschieden. Mantelreibungspfähle tragen überwiegend über Mantelreibung. Diese Art der Gründung wird auch „schwimmende Pfahlgründung“ genannt. Pfähle mit einem überwiegenden Lastabtrag über den Pfahlfuß sind Spitzendruckpfähle. Sie werden auch „stehende Pfahlgründungen“ genannt. Diese werden häufig eingesetzt, um eine weniger tragfähige Schicht zu überbrücken, indem sie bis zu einem tragfähigen Horizont reichen. Eine besonders hohe Traglast aus Spitzendruck kann z. B. erreicht werden, wenn bei einem Ortbetonrammpfahl ein „Betonpfropfen“ am Pfahlfuß ausgerammt wird. Die beiden Arten des Lastabtrags von Pfählen sind in Bild 3 dargestellt.

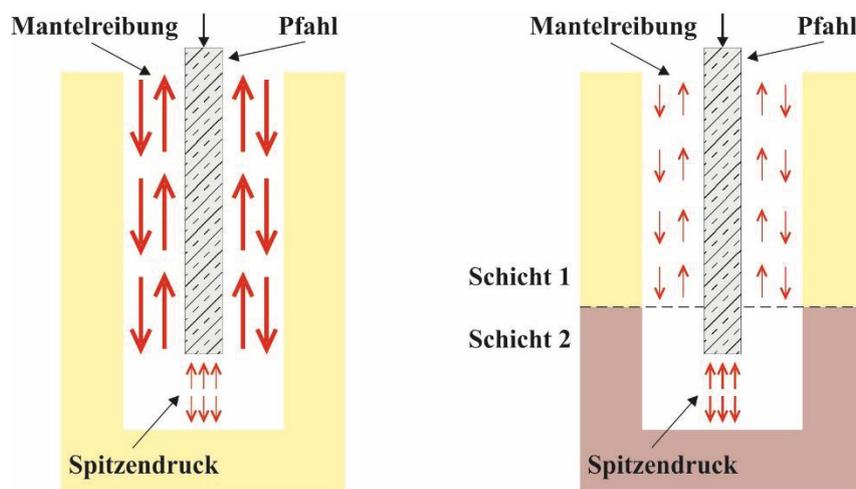


Bild 3 Mantelreibungspfahl (links) und Spitzendruckpfahl (rechts).

Anhand einer entsprechend instrumentierten Pfahlprobebelastung, welche in Bild 4 dargestellt ist, wird die Aufteilung des Pfahlwiderstands in Mantelwiderstand und Spitzendruckwiderstand deutlich. Es ist erkennbar, dass der Spitzendruckwiderstand kontinuierlich mit der Pfahlkopfsenkung ansteigt, wohingegen der Mantelwiderstand relativ schnell seinen Maximalwert erreicht.

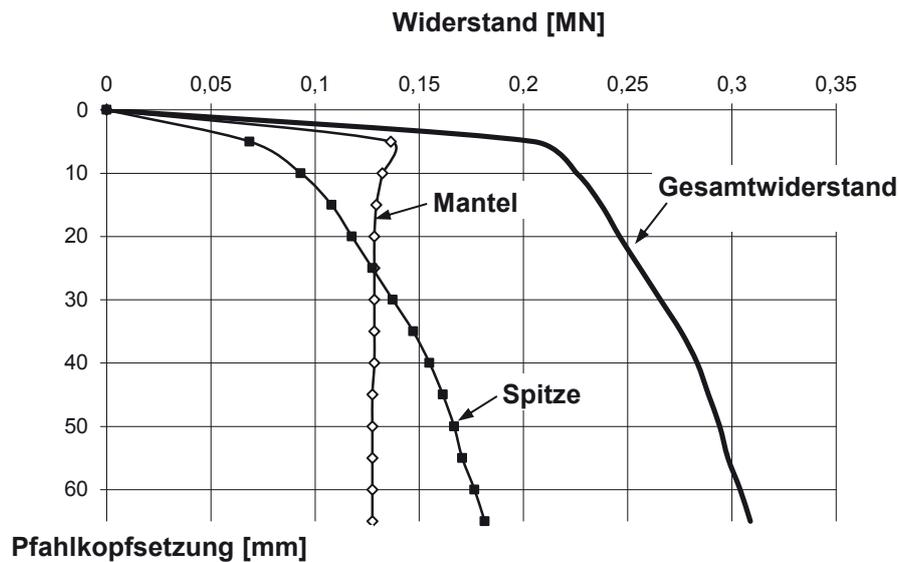


Bild 4 Ergebnisse einer Pfahlprobebelastung.

Die Festlegung der Tragfähigkeit eines Pfahles kann anhand von Erfahrungswerten für Spitzendruck und Mantelreibung erfolgen. Diese Werte aus Normen und Fachbüchern liegen oft auf der sicheren Seite. Wenn diese Werte nicht anwendbar sind, z. B. in schwierigen oder unbekanntenen Bodenformationen oder wenn höhere Tragfähigkeiten erreicht werden sollen, werden Pfahlprobebelastungen durchgeführt, aus denen dann Bemessungswerte abgeleitet werden.

Die Tragfähigkeit von Verdrängungs- und Rammpfählen wird vielfach anhand sogenannter „Herstellungskriterien“ nachgewiesen. Diese basieren auf hergeleiteten Korrelationen zwischen Einbringwiderstand (z.B. Rammschläge pro Längeneinheit oder aufzubringendes Drehmoment beim Bohren) und der Traglast.

Ob es sich um einen Einzelpfahl oder einen Gruppenpfahl handelt, hängt damit zusammen, wie dicht die Pfähle zusammenstehen und wie der Lastabtrag in den Boden (Anteil Mantelreibung und Spitzendruck) stattfindet. Stehen die Pfähle dicht beieinander, beeinflussen sie sich gegenseitig und Mantelreibung sowie Spitzendruck müssen ggf. abgemindert werden. Eine grobe Erfahrungsregel besagt, dass Pfähle, deren Achsabstand 3 bis 5 Pfahldurchmesser beträgt, als Einzelpfähle behandelt werden können. Das Tragverhalten von Pfahlgruppen kann anhand von komplexen FEM-Berechnungen mit entsprechenden Boden-Bauwerks-Modellen wirklichkeitsnah erfasst werden.

3 Voraussetzungen für die Untersuchung von Bestandsfundamenten

1. Allgemeines

Die Bewertung von Bestandsgründungen hinsichtlich der Möglichkeit einer Wiedernutzung erfolgt auf Grundlage von Untersuchungen vor Ort. Es ist notwendig, die Bestandsgründung hinsichtlich ihrer Geometrie und Materialeigenschaften sowie daraus resultierend die Tragfähigkeit zu bewerten. Für die Ermittlung der Tragfähigkeit ist es zusätzlich notwendig Informationen über den Baugrund zu erhalten.

Prinzipiell sind die Untersuchung und der Entwurf einer Gründung mit Bestandsfundamenten, aufgrund der hohen Komplexität und den damit verbundenen Anforderungen, in die Geotechnische Kategorie 3 nach DIN EN 1997-1 einzuordnen. Dies liegt am hohen Schwierigkeitsgrad dieser Baumaßnahmen bezüglich der Baugrund-Tragwerk-Interaktion.

2. Geometrie

Die Geometrie ist eine elementare Eingangsgröße für den Nachweis der Tragfähigkeit der Gründung. Bei Einzel- und Streifenfundamenten sowie bei Fundamentplatten müssen hierfür Länge, Breite und Dicke sowie gegebenenfalls die Anzahl der Gründungselemente erkundet werden. Angaben über die Länge und Breite können je nach Tiefenlage und Erreichbarkeit durch Freilegen ermittelt werden. Um die Bauteildicke festzustellen, muss dieses bis zur Gründungssohle freigelegt werden. Wenn dies nicht möglich ist, kann die Dicke der Gründung über geeignete Messverfahren ermittelt werden. Bei der Auswertung von derartigen Messungen ist zu berücksichtigen, dass gegebenenfalls nicht die gesamte ermittelte Materialdicke zur statisch relevanten Tragkonstruktion gehört, da sich oft eine unbewehrte Sauberkeitsschicht aus Magerbeton darunter befindet.

Die Geometrie von (Einzel-) Pfählen wird über die Länge und den Durchmesser bzw. die Querschnittsform definiert. Pfahlgruppen werden beschrieben über die Anzahl und Anordnung der (Einzel-) Pfähle.

3. Materialeigenschaften

3.3.1 Allgemeines

Das Material der Bestandsgründung beeinflusst die Tragfähigkeit in entscheidendem Maße. Zur Feststellung der ursprünglichen Materialeigenschaften sind Bestandsunterlagen und Herstellungsprotokolle eine gute Grundlage. Darauf aufbauend oder auch unabhängig davon ist der ak-

tuelle Zustand des Materials zu ermitteln, der sich über die Einsatzdauer verändern kann. Wesentlich für die Feststellung der Tragfähigkeit eines Bauteils ist z. B. dessen Integrität, das heißt dessen einwandfreie Funktionsweise und der ungestörte Aufbau.

3.3.2 Einzel- und Streifenfundamente sowie Fundamentplatten

Für die Bewertung des aktuellen Zustands ist es notwendig, Veränderungen der Bestandsfundamente über die Lebensdauer zu betrachten. Daher muss recherchiert werden, ob es beispielsweise zu Umbauten oder Schädigungen kam. Mögliche Schadensereignisse, die neben der Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion auch deren Tragfähigkeit maßgeblich beeinflussen können, können z. B. Setzungen, Erdbebenschäden oder Unterspülungen sein. Schäden am Materialgefüge und damit der Betonfestigkeit können auch durch chemischen Angriff, Korrosion, dauerhafte Feuchtigkeit oder Alkali-Kieselsäure-Reaktionen entstehen. Bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion kommt es zu einer Reaktion zwischen Siliziumdioxid und Alkali- und Hydroxid-Ionen. Dies führt zur Bildung eines Alkali-Kieselgels mit einem hohen Wasseraufnahmepotential. Dadurch können sich bei entsprechender vorhandener Feuchtigkeit das Volumen des Alkali-Kieselgels vergrößern und große Quelldrücke entstehen, welche den Beton innerlich und äußerlich schädigen.

Die Tragfähigkeit eines Betonbauteils wird maßgeblich durch die verwendete Betonrezeptur (Druckfestigkeit) und die Menge und Güte der verwendeten Bewehrung (Zugfestigkeit) beeinflusst.

Die Tragbewehrung kann durch Carbonatisierung des Betons und die damit verbundene Depassivierung geschädigt werden. Dabei sinkt der pH-Wert des Betons und es kann bei ständiger Feuchte zur Bewehrungskorrosion kommen. Der Zustand der Bewehrung muss daher untersucht und bewertet werden. Die Betondeckung ist für die Dauerhaftigkeit eines Bauteils entscheidend. Sie schützt die Bewehrung vor Korrosion und sorgt für einen sicheren Verbund zwischen Bewehrung und Beton.

Neben der beschriebenen Feststellung der Materialeigenschaften, die relevant für die Bemessung („innere Tragfähigkeit“) eines Gründungsbauteiles ist, ist (z.B. Grundbruch, Kippen = „äußere Tragfähigkeit“) die Beschaffenheit des unter dem Fundament anstehenden Bodens für die statischen Nachweise relevant. So kann es z. B. bei Hohlräumen unter einer belasteten Fundamentplatte zu weiteren Bodenumlagerungen kommen, die die äußere Tragfähigkeit verringern und Setzungen verursachen können.

3.3.3 Pfähle

Die unter 3.3.2 gemachten Ausführungen zu Schadenseinflüssen auf Beton- und Stahlbetonbauteile gelten auch für Pfahlgründungen sinngemäß.

Zusätzlich dazu können bei Pfahlgründungen weitere Schäden aus der Herstellung und während der Nutzung entstanden sein. Bei Fertigteilverdrängungspfählen aus Beton kann es beispielsweise durch das Rammen zu Schäden am Pfahl gekommen sein. Änderungen des Grundwasserspiegels sind vor allem bei Holzpfählen besonders kritisch zu bewerten, da es durch den Kontakt mit Luft in der Wasserwechselzone zu Zersetzungserscheinungen kommt.

Wie bereits in Kapitel 3.3.2 beschrieben, muss der Zustand des Betons und der Bewehrung untersucht werden.

Das Freilegen von Gründungspfählen zu Untersuchungszwecken ist allenfalls im oberflächennahen Bereich praktisch durchführbar und sinnvoll.

4. Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Nachweise der Stahlbetonteile sowie die geotechnischen Nachweise sind in der DIN EN 1992 (EC 2) und der DIN EN 1997 (EC 7) geregelt.

Die Tragfähigkeit eines Gründungsbauteils ergibt sich aus der Geometrie, den Materialeigenschaften und den Baugrundverhältnissen. Weiterhin ist im Rahmen der Planung die Gebrauchstauglichkeit (z. B. Verformungen und Rissbreiten) zu untersuchen.

Die zugehörigen Grenzzustände sind nach Eurocode (EC) 7-1 wie folgt definiert:

- Der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS - Ultimate Limit State) ist der Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreiten es zu einem rechnerischen Einsturz oder anderen Formen des Versagens kommt. Der Grenzzustand (GZ) kann durch mehrere Versagensformen erreicht werden: inneres Versagen des Bauteils (GZ STR) und äußeres Versagen durch Verlust der Lagesicherheit (GZ EQU), Versagen oder große Verformungen des Baugrundes (GZ GEO), Versagen infolge Aufschwimmen (GZ UPL) und hydraulischer Grundbruch (GZ HYD).
- Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS - Serviceability Limit State) ist der Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreiten die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind.

Die Nachweise werden nach den in den Regelwerken und der Fachliteratur angegebenen Berechnungsverfahren unter Ansatz der zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (Lasten etc.) und Widerstände (Materialeigenschaften etc.) geführt.

Eine Bestandsgründung, deren Wiedernutzung angestrebt wird, ist dabei im Rahmen der Planung wie eine neu zu erstellende Gründung zu betrachten, d. h. es gelten die gleichen Nachweise, Bemessungszustände und Sicherheitsniveaus.

Eine gute Grundlage für die Nachweise der wiederzunutzenden Bestandsgründung sind die ursprünglichen Planungsunterlagen (Pläne und statische Berechnungen). Ausgehend davon kann, unterstützt durch weitere Untersuchungen, ermittelt werden, welche Lasten die Bauteile aktuell tragen können.

Wenn Informationen darüber vorliegen, ob sich die Bauwerkslasten über die Nutzungsdauer verändert haben, z. B. durch eine Nutzungsänderung des Bauwerkes, können daraus ggf. weitere Schlüsse gezogen werden.

Falls für die Dimensionierung einer Pfahlgründung Probelastungen durchgeführt wurden, geben die dabei ermittelten Widerstand-Setzungs-Linien Aufschluss über die ursprüngliche Tragwirkung des Pfahls. Ebenso sind Bohr- und Prüfprotokolle hilfreich, um die Herstellungsschritte der Pfähle nachzuvollziehen. Im Idealfall hat eine Instrumentierung von einzelnen Pfähle stattgefunden, sodass aktuelle Messwerte erfasst werden können.

5. Erste Planungsschritte sowie Kosten-Nutzenanalyse

Neben der grundsätzlichen Prüfung, ob die Weiter- bzw. Wiedernutzung von bestehenden Gründungselementen überhaupt zielführend sein kann ist die frühzeitige Einbindung aller relevanten Planungsbeteiligten ist eine wesentliche Grundlage für die erfolgreiche Planung .

Für den Bauherrn haben die Wirtschaftlichkeit einer technischen Lösung sowie das Risiko bei der Planung und der Ausführung i.d.R. höchste Priorität. Daher ist durch die fachkundigen Planer frühzeitig eine Variantenstudie durchzuführen, in der Lösungen mit und ohne Nutzung der Bestandsgründung enthalten sind. Der Bauherr ist dafür zu sensibilisieren, dass qualifizierte Entscheidungen für die Nutzung von Bestandsbauteilen oft erst dann getroffen werden können, wenn Voruntersuchungen (Sichtung von Bestandsunterlagen, Bauteiluntersuchungen, zusätzliche Bodenuntersuchungen etc.) durchgeführt wurden. Hierfür fallen Kosten an, denen, sofern sich herausstellt, dass eine Nutzung der Bestandsgründung nicht weiter verfolgt werden soll, kein unmittelbar qualifizierbarer Nutzen gegenübersteht. Auf der anderen Seite sind, sofern die Untersuchungsergebnisse positiv sind, erhebliche Einsparungen bei der Gründung möglich. Besonders gut zu kommunizieren ist auch der Umstand, dass die Geometrie und Materialbeschaffenheit von Bestandsgründungen auch dann, wenn umfangreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, nie so sicher dokumentierbar ist, wie bei einer neu hergestellten Gründung. Dies hat Auswirkungen auf vertragliche Fragen (Risikoübernahme, Haftung, Gewährleistung etc.).

In Einzelfällen kann es vorkommen, dass überlegt wird, ein nicht in der Dienstbarkeit des Bauherrn liegendes Gründungselement zu nutzen, z. B. ein Tunnelbauwerk, welches das Grundstück

quert. Hierfür sind umfangreiche Abstimmungen und nachbarrechtliche Vereinbarungen erforderlich.

Da sich die Belastbarkeit einer Bestandsgründung aus den vorhandenen Randbedingungen ergibt, kann dies Einfluss auf die erforderliche Anordnung der lasteintragenden Bauteile (Stützen und Wände oberhalb der Gründung) haben. Bei einer neu hergestellten Gründung ist es i.d.R. so, dass diese Anordnung sich nach den statischen Erfordernissen des Hochbaus und den Gestaltungswünschen der Objektplaner (Architekt) richtet. Auch dies ist frühzeitig in den Planungs- und Abstimmungsprozess mit einzubeziehen.

Abschließend ist hervorzuheben, dass ein sachkundiges Team, bestehend aus den unterschiedlichen Fachplanern und ein vertrauensvoller Umgang untereinander sowie mit dem Bauherrn grundsätzlich die Basis für eine erfolgreiche Planung ist, diese aber bei der Planung unter Einbeziehung von bestehenden Gründungselementen noch elementarer ist.

4 Untersuchungsmethodik

1. Bestandsunterlagen

Um einen Überblick über die vorhandenen Gründungselemente zu bekommen, sind zunächst Bestandsunterlagen zu sichten. Als Quellen kommen unter anderen in Frage:

- Eigentümer,
- Nutzer, Mieter,
- Ggf. ursprünglicher Bauherr,
- Planer,
- Bauunternehmen (ggf. Generalunternehmer und Ausführende),
- Genehmigungsbehörden,
- Archive.

Wichtig ist dabei, Ausführungspläne (am besten Bestandspläne) zu erhalten. Sind nur Planungsunterlagen vorhanden, sind diese am Bauwerk zu überprüfen. Bei älteren Unterlagen ist zu überprüfen, ob später Änderungen erfolgt sind. Zudem ist (unabhängig von der Wiedernutzung) ein geotechnisches Gutachten erforderlich.

2. Visuelle Inspektion (Sichtprüfung)

Soweit möglich sollten die vorhandenen Informationen durch eine visuelle Inspektion geprüft und ggf. ergänzt werden. Bei Gründungen kann dies nur in wenigen Fällen direkt erfolgen (z. B. Oberseite einer Gründungsplatte). I.d.R. wird eine Freilegung (z. B. Schurf seitlich am Bauwerk) oder Kernbohrungen erforderlich sein. Letztere sind meist ohnehin notwendig, um Proben für Laboruntersuchungen zu gewinnen. Das Bohrloch sollte dann, je nach Durchmesser und Tiefe, visuell direkt oder mit einem Endoskop inspiziert werden, um z. B. Hinweise auf Risse oder andere Schwachstellen zu dokumentieren. Das DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung) Merkblatt B06 gibt Hinweise zur Durchführung und Interpretation von Sichtprüfungen. Es kann auch analog zur „handnahen“ Untersuchung bei der Brückenprüfung (entsprechende Abschnitte der DIN 1076) vorgegangen werden.

Zu dokumentieren sind z. B.

- Geometrie (z. B. erbohrte Plattendicke),
- Material,
- Materialwechsel,
- Zustand,
- Schwachstellen.

Schachtungen zur Inspektion von Fundamenten sind oft aufwendig (z. B. bei notwendiger Wasserhaltung) und abseits freier Bauwerksränder meist unmöglich. Kernbohrungen z. B. durch

Gründungsplatten bergen die Gefahr, Sperrschichten zu perforieren oder bei anstehendem Grundwasser einen Wassereinbruch zu provozieren. Ein sicherer Verschluss ist möglich, erfordert aber Sorgfalt und Sachkenntnis. DIN 18195-9 ist zu beachten.

3. Zerstörungsfreie Prüfung

4.3.1 Generelle Aspekte

Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) dient der Ermittlungen von Informationen zu Geometrie, Struktur und Zustand von Bauteilen. Sie liefert Daten aus Bereichen des Bauwerks, die nicht direkt einer visuellen Inspektion zugänglich sind. Während eine Probennahme nur punktuelle Informationen liefert, kann sie je nach Verfahren und Objekt flächen- oder volumendeckende Daten liefern und so die Lücken konventioneller Untersuchungen schließen. Allerdings werden oft indirekte Parameter gemessen (z. B. Wellengeschwindigkeiten), die dann i. d. R. durch bauwerksspezifische Kalibration (z. B. an Bohrkernen) in für die Bauwerksbeurteilung relevante Parameter übersetzt werden müssen. Detektierte Anomalien, die auf Schäden hinweisen, sind ggf. durch Probennahme zu überprüfen. Die Bewertung der einzelnen Verfahren erfolgt in Kapitel 4.

Im deutschsprachigen Raum existieren, anders als z. B. in den USA (ASTM), kaum Normen zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren. Regelwerke in Form von Merkblätter wurden von verschiedenen fachlichen oder industriellen Vereinigungen (DAfStB, DBV, DGGT, DGZfP, RILEM) herausgegeben (siehe Kapitel 9, Regelwerke). Einen Überblick über verschiedenen Verfahren geben das DBV-Merkblatt zerstörungsfreie Prüfverfahren und die DGGT EA Pfähle.

In diesem Kapitel werden folgende zerstörungsfreie Prüfmethode beschrieben:

- Der Rückprallhammer,
- Der Bewehrungssucher,
- Das Radarverfahren,
- Das Ultraschall-Echo Verfahren,
- Das Impakt-Echo Verfahren,
- Das Potentialfeld-Verfahren,
- Die Pfahlintegritätsprüfung (Hammerschlagmethode) und Mehrkanalmethode,
- Das Parallel-Seismik-Verfahren,
- Andere Prüfverfahren für Pfähle, Pfahl-, Schlitz- und Spundwände.

An Fundamentplatten kann u. U. auch eine Feuchtemessung notwendig werden. Deren Behandlung würde den Rahmen dieses Handbuchs sprengen. Für passende Methoden sei hier auf das ZfP-Wiki der TU München verwiesen.

4.3.2 Der Rückprallhammer

Der Rückprallhammer (auch: „Schmidthammer“) ist ein Handgerät zur Prüfung der Druckfestigkeit von Beton. Durch eine gespannte Feder wird ein Gewicht gegen einen auf die Betonoberfläche aufgesetzten Schlagbolzen geschleudert. Dieser prallt je nach Härte des Betons einen bestimmten Weg zurück („Rückprallwert“). Dieser Messwert wird mit der Druckfestigkeit korreliert. Die Durchführung einer Messung ist in DIN EN 12504-2 geregelt. Die Kalibrierung erfolgt bei Bestandsbauwerken anhand der Druckfestigkeiten von entnommenen Bohrkernen (i.d.R. bei Bestandsbauwerken). Das Aufstellen einer Beziehung zwischen Prüfergebnis und Druckfestigkeit ist in der DIN EN 13791 geregelt. Nach dem nationalen Anhang kann in Deutschland auch ohne der Entnahme von Bohrkernen oder Würfeldruckfestigkeiten aus Rückprallwerten auf Betondruckfestigkeiten nach Eurocode geschlossen werden, indem je Messstelle und Prüfbereich (enthält alle Messstellen des Bauteils) Mindestwerte der entsprechenden Tabellen der Norm eingehalten werden.



Bild 5 Rückprallhammer. Links: Handgerät in der Anwendung. Rechts: Digitale Version mit Datenaufzeichnung und integrierter Kalibrierung. Bilder: www.proceq.com.

Der Rückprallhammer erfasst Werte nur im oberflächennahen Bereich. Diese sind durch eine evtl. vorhandene Karbonatisierung beeinflusst. Bei einer Karbonatisierungstiefe von über 5 mm muss der karbonatisierte Beton entfernt werden. Alternativ kann die Bezugskurve nach DIN EN 13791 korrigiert werden oder eine eigene Kalibrierung ausgestellt werden. Ist dies nicht möglich oder gewünscht, können nur vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung von Schwachstellen mit deutlich reduzierter Betondruckfestigkeit erfolgen.

4.3.3 Der Bewehrungssucher

Die Verfahren zur Bewehrungsortung und Betondeckungsmessung sind im Merkblatt B2 der DGZfP beschrieben.

Man unterscheidet hier zwischen zwei Funktionsprinzipien: magnetischen Gleichfeld- und Wechselfeldverfahren. Ersteres Verfahren nutzt den Streuflusseffekt zur Bewehrungsortung. Dabei erfolgt die Magnetisierung der Bewehrung mit einem Permanentmagneten. Das durch die ferromagnetische Bewehrung gestreute Magnetfeld und ihre Abweichung vom Referenzfeld kann linear mit der Betondeckung in Zusammenhang gebracht werden.

Im Fall des Wechselfeldverfahrens wird eine Erregerspule genutzt um ein primäres magnetisches Wechselfeld zu erzeugen. Bei Vorhandensein von Bewehrung kommt es zur Wechselwirkung der Bewehrung mit dem Primärfeld, sodass ein sekundäres Magnetfeld entsteht. Je nachdem ob das zu untersuchende Objekt ferromagnetisch ist oder nicht, kann ein größeres bzw. kleineres sekundäres Magnetfeld erzeugt werden, das in gleicher Richtung mit dem Primärfeld verläuft. Eine entgegengesetzte Richtung beider Felder entsteht bei der Induktion von Kreisströmen in elektrisch leitenden Materialien, die eine Phasenverschiebung des Sekundärfeldes verursachen. Beide Effekte sind frequenzabhängig.

Kommerzielle Produkte nach dem Stand der Technik (Bild 6) erlauben meist eine erweiterte Signalverarbeitung und -speicherung, graphische Darstellung und neben einer Ortung von Bewehrungsstäben auch die Ermittlung der Betondeckung und (nach Kalibrierung) die Messung des Stabdurchmessers. Die Eindringtiefe ist meist auf ca. 10 cm begrenzt. Für größerer Detektionstiefen ist z. B. das Radarverfahren heranzuziehen.



Bild 6 Typische Messgeräte nach dem Wirbelstromprinzip zur Bewehrungssuche. Links: Handgerät (Profoscope, Proceq/Schweiz). Rechts: Gerät mit getrennten Sensor-/Auswerteeinheiten zur flächenhaften Datenaufnahme (Ferroskan PS 250, Hilti/Liechtenstein). Bilder: www.proceq.com, www.hilti.com

4.3.4 Das Radarverfahren

Das Radarverfahren wird in den Merkblätter DGZfP B10 und FGSV 443A beschrieben. Das Verfahren zählt zu den Impuls-Echo-Methoden und kann auch für Transmissionsmessungen verwendet werden. Eine ausführliche Beschreibung der Funktion des Radarverfahrens ist in Kind und Maierhofer 2004 nachzulesen.

Eine Radarantenne wird über die Oberfläche des zu untersuchenden Bauteils geführt und sendet dabei sehr kurze elektromagnetische Impulse aus. Diese Impulse werden an der Oberfläche zum Teil reflektiert, der größere Anteil dringt jedoch in das Bauteil ein und wird dort an weiteren Grenzflächen von Materialien mit unterschiedlicher relativer Permittivität ϵ_r (auch: relative Dielektrizitätszahl), wie z. B. Hohlstellen, metallischen Einschlüssen oder auch der Rückseite des Bauteils reflektiert (Bild 7). Diese reflektierten Impulse werden dann von der Antenne empfangen und mit Hilfe von Software verarbeitet und gespeichert sowie auf dem Monitor simultan dargestellt. Die ausgesandten Impulse werden besonders gut an Metallen reflektiert, sodass das Verfahren zur Ortung metallischer Objekte, wie Bewehrungseisen, sehr gut geeignet ist (Kind und Maierhofer 2004). Zu beachten ist, dass es nicht möglich ist, Objekte unter metallischen Reflektoren zu detektieren, da die elektromagnetischen Wellen von diesen vollständig reflektiert werden (z.B. Bewehrungsmatten deren Stababstand im Bereich der Größenordnung der Wellenlänge liegt). Bewehrungsstäbe, die senkrecht zu ihrer Ausrichtung überfahren werden, bilden sich als typische Reflexionshyperbeln ab (Bild 9 oben). Der Stab befindet sich jeweils im Scheitelpunkt der Hyperbel. Aus der Laufzeit der reflektierten Impulse kann auf die Tiefe des Reflektors geschlossen werden. Für eine bildgebende Darstellung ist eine geometrisch und laufzeittechnische Korrektur (Fachbegriffe Migration, Rekonstruktion oder Imaging) erforderlich (Bild 9 unten). Hierzu wird meist die SAFT-Methode (Synthetic Aperture Focusing Technique) eingesetzt (Seydel 1982; Burch 1984; Krautkrämer und Krautkrämer 1986; Langenberg et al. 2010).

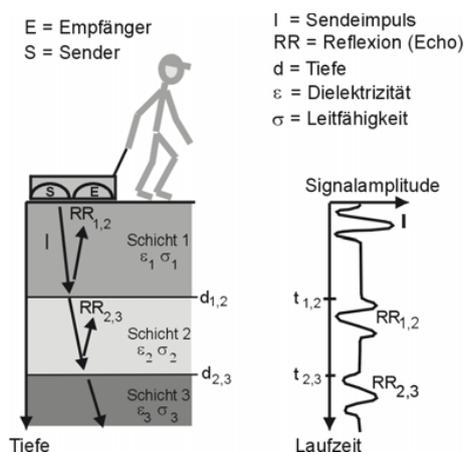


Bild 7 Prinzip der Radar Impuls-Echo-Methode: Ausbreitung und Reflexion einer Impulswelle. Aus Merkblatt B10 der DGZfP.



Bild 8 Typische Messgeräte für das Radarverfahren. Links: Universelles Radargerät mit hochfrequenter Antenne (GSSI, USA). Rechts: Kompaktes Spezialgerät zur Bewehrungssuche und Spannkanallokalisierung bis 25 cm (Ferroskan PS 1000, Hilti/Liechtenstein). Bilder: www.hilti.com.

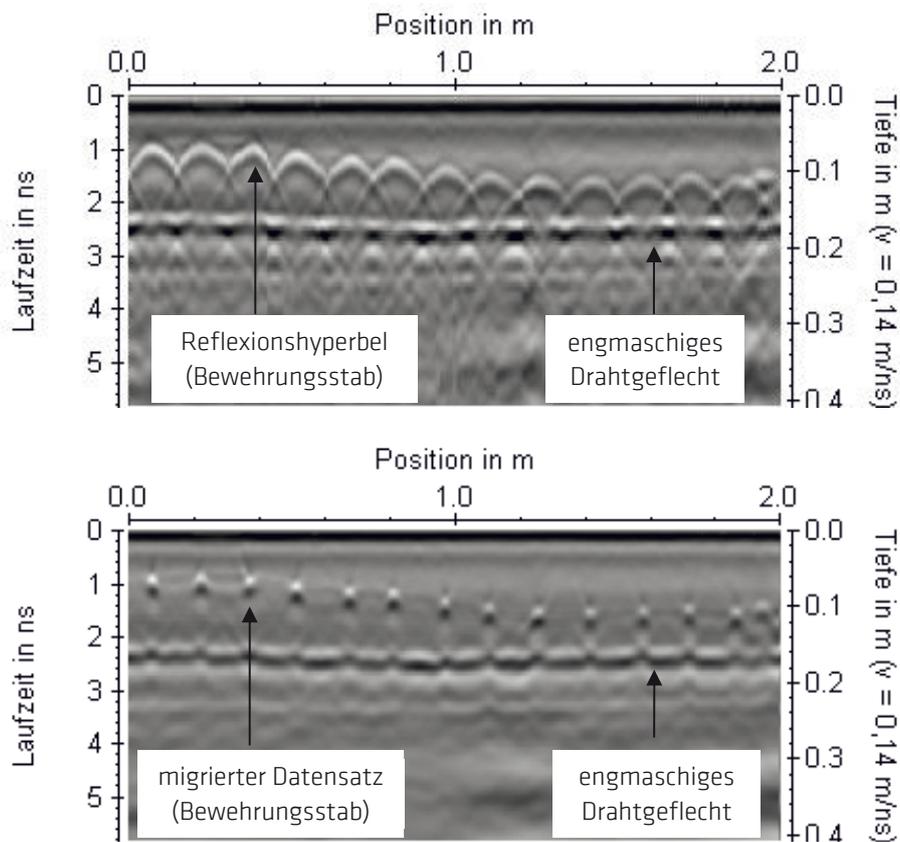


Bild 9 Radargramm (B-Bild) entlang einer Messspur mit den sich an Bewehrungsseisen abzeichnenden Reflexionshyperbeln – Roh- (oben) und migrierte Messdaten (unten) (Krause und Borchardt 2012).

4.3.5 Das Ultraschall-Echo-Verfahren

Das Ultraschall-Echo-Verfahren wird im Merkblatt B4 der DGZfP beschrieben. Grundlagen werden u. a. in (Reinhardt, 2007) erläutert.

Das Prinzip (Impuls-Echo-Methode) ähnelt der des Radars. Die Funktionsweise beruht hier aber auf der gerichteten Ankopplung von Ultraschallimpulsen im Frequenzbereich von 20 bis 200 kHz. Die Schallwellen werden bei der Änderung der akustischen Impedanz (abhängig von der Schallausbreitungsgeschwindigkeit und der Rohdichte des Mediums) im untersuchten Bauteil reflektiert. An Außenflächen, Hohlräumen und Rissen, d. h. an Übergängen bzw. Grenzflächen zur Luft, erfolgt nahezu eine Totalreflexion. Die Tiefe des Reflektors kann über die Laufzeit bestimmt werden. Im Vergleich zum Radarverfahren ist die Auflösung einzelner Objekte beim Ultraschallverfahren etwas niedriger, die Messgeschwindigkeit deutlich geringer, die Reichweite aber deutlich höher. Dies liegt an den überlagernden Streuungen der Wellen an der Gesteinskörnung. Sehr dichte oberflächennahe Bewehrung erschwert eine Detektion tieferliegender Objekte mit dem Ultraschallverfahren, allerdings weniger als beim Radarverfahren. Neben dem verwendeten klassischen Prüfsystem, bestehend aus einem Prüfkopf und einer Steuereinheit, kann bei Untersuchungen auch ein Ultraschallarray (mehrere automatisch angesteuerte Sendee- und Empfangsköpfe in einem Gerät) zum Einsatz kommen. Für eine bildgebende Darstellung ist eine geometrisch und laufzeittechnische Korrektur erforderlich (Fachbegriffe Migration, Rekonstruktion oder Imaging). Hierzu wird analog zum Radarverfahren meist die SAFT-Methode (Synthetic Aperture Focusing Technique, (Bild 11 und Bild 12) eingesetzt (Kind und Maierhofer 2004; Krause und Borchardt 2012; Seydel 1982; Burch 1984).

Eine Hauptanwendung ist die Dickenmessung von Fundamentplatten, die heute auch bei Dicken von über einem Meter meist gut machbar ist. Bei der Datenanalyse ist zu prüfen, ob eine eventuell unter der Platte befindliche Sauberkeitsschicht abgebildet wird. Eine Sauberkeitsschicht hoher Qualität mit gutem Verbund zur eigentlichen Platte ist im Ultraschallbild oft nur schwer separat zu erkennen.



Bild 10 Typische Messgeräte für das Ultraschallverfahren Links: Einkanaliges Gerät mit je einer 9-köpfigen Sende und Empfangseinheit in einem gemeinsamen Gehäuse mit separater Bedieneinheit (Pundit PL-200PE, Proceq/Schweiz). Rechts: Ultraschallarray mit 10 je 4-köpfigen, automatisch umschaltbaren Sende- und Empfangseinheiten und integrierter Auswertung. (A1040 Mira, ACS Ltd/Russland). Bilder: www.proceq.com, www.acsys.ru.

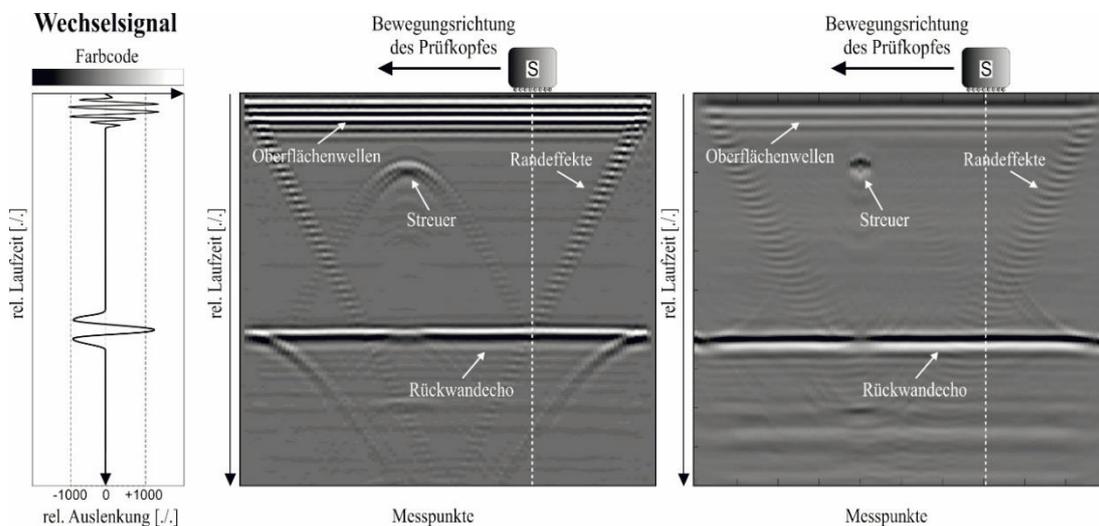


Bild 11 V.l.n.r.: Ultraschall-Echo-Daten: A-Bild (einzelnes Messsignal), B-Bild Rohdaten (kombinierte A-Scans) und B-Bild mit dem SAFT-Algorithmus rekonstruierten Datensatz (vertikaler Schnitt). Die weiß gestrichelte Linie in den B-Bildern zeigt die laterale Position des A-Bildes. (Quelle: BAM).

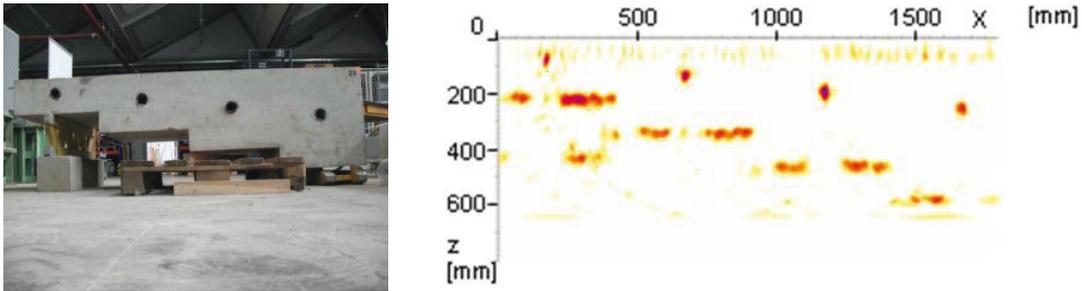


Bild 12 Links: Stufen-Testkörper aus Beton mit Hüllrohren. Rechts: Mit SAFT ausgewertetes Ultraschall-Echo-Linienprofil. Stufen und Hüllrohre erkennbar (Quelle: BAM).

4.3.6 Das Impakt-Echo Verfahren

Das Impakt-Echo-Verfahren (IE) wird im Merkblatt B11 der DGZfP beschrieben. IE ist ein Schallverfahren, das eine Analyse im Frequenzbereich für die Interpretation der Daten nutzt (Reinhardt, 2007).

Durch Aufbringen eines punktuellen mechanischen Stoßes (mit einem kleinen Hammer oder einer Stahlkugel (Bild 13), auf die Oberfläche des Testobjektes, wird eine transiente Druckwelle erzeugt, die sich im Beton ausbreitet. Die Schallwellen, die sich im Material ausbreiten, werden an inneren akustischen Grenzflächen (z. B. Diskontinuitäten wie Stahlbewehrung, Spannkanälen, Fehlstellen und Ablösungen) reflektiert, gestreut bzw. gebrochen. Diese Wellen werden beinahe vollständig reflektiert, wenn das zweite Material Luft ist, z. B. bei einer Hohlstelle oder an den äußeren Grenzflächen des untersuchten Bauteils. Im Falle einer planparallelen Platte kommt es dadurch nach der klassischen Vorstellung zu Vielfachreflexionen und zur Ausbildung einer Art stehenden Welle. Ein Sensor in unmittelbarer Nähe der Anregung nimmt diese Vielfachreflexionen auf, sodass Ankünfte von Longitudinalwellen dominant sind. Eine Wellenform wird so im Zeitbereich durch die erste und die folgenden Reflexionsankünfte gebildet. Die Frequenzen liegen üblicherweise im hörbaren Bereich und damit sehr viel niedriger als beim Ultraschallverfahren.

Die Analyse der Daten wird im Frequenzbereich durchgeführt, nachdem das Frequenzspektrum der Wellenform dargestellt worden ist (eine Darstellung der Amplitude über den Frequenzkomponenten, die mit Hilfe einer Fourier-Transformation aus der zeitlichen Wellenform erzeugt wird). Die periodischen Reflexionen führen zu Anzeigen im Frequenzspektrum. Ist die Schallgeschwindigkeit (v) und die dominante Frequenz (f) bekannt, so kann die Tiefenlage (d) eines Reflektors über die einfache Beziehung $d = v/(2f)$ ermittelt werden. Eine schematische Darstellung des Impakt-Echo-Verfahrens ist in Bild 13 dargestellt. Impakt-Echo wird zur Untersuchung von Betonbauteilen eingesetzt, um z. B. die Betondicke zu bestimmen und Hohlstellen und andere Inhomogenitäten zu orten (Taffe und Wiggenhauser 2005). Eine genauere

Analyse des Verfahrens zeigt, dass die Vorstellung von einer Vielfachreflektion nicht zutrifft. Vielmehr handelt es sich um die Ausbreitung einer Lambwelle. Es ergibt sich ein Korrekturfaktor für die Plattendicke, der von der Poissonzahl des Mediums abhängig ist, aber meist mit 0,96 angegeben wird (DGZfP B11).

Wie Bild 14 zeigt, wird das Verfahren von Randeffekten (nahe Plattenränder, lokale Dickenänderungen etc.) erheblich beeinflusst. Hierbei wurden Impact-Echo Messungen in einem 50 x 50 cm Raster auf einer 45-60 cm mächtigen Fundamentplatte durchgeführt. Die Überlagerung des Dickenplots auf dem Übersichtsplan zeigt große Übereinstimmungen mit den lokalen Mächtigkeitsvariationen der Fundamentplatte.

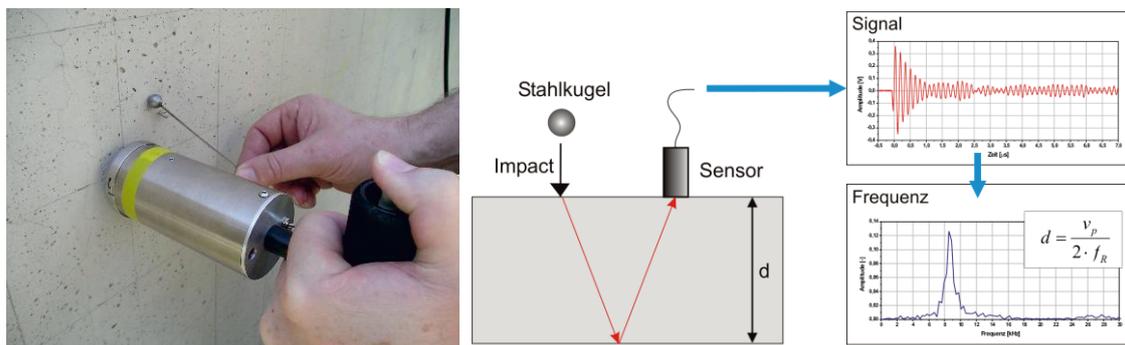


Bild 13 IE Sensor mit Kugel-Impaktor (links) und IE Verfahren, Zeitsignal und Spektrum (rechts).

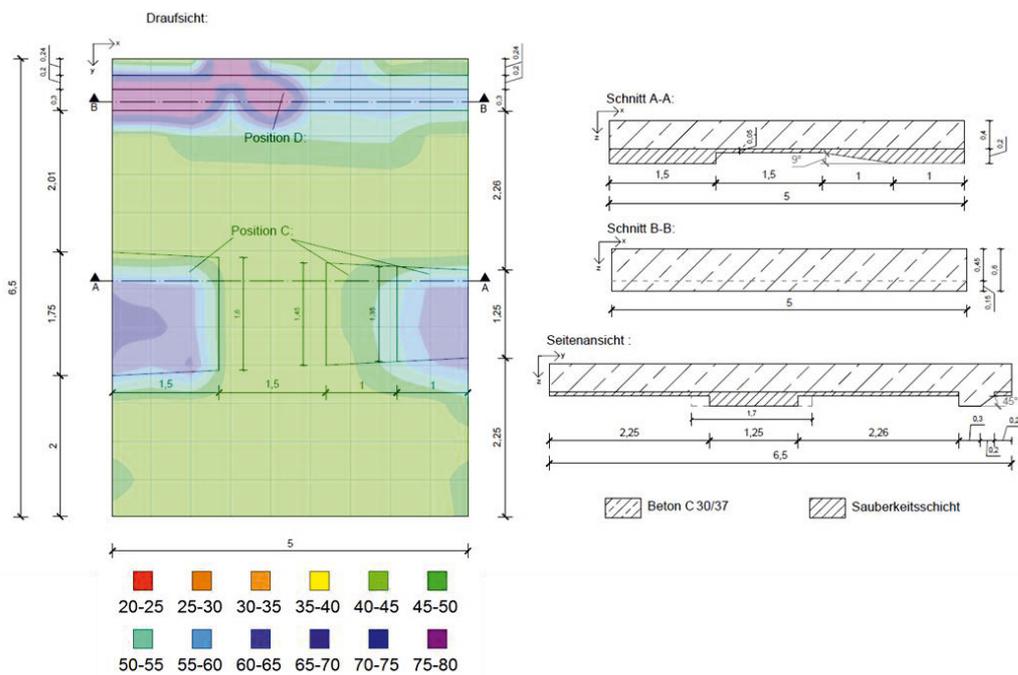


Bild 14 Impact-Echo abgeleitete Fundamentmächtigkeiten gemessen im 50 x 50 cm Raster auf einer 45-60 cm mächtigen Fundamentplatte.

4.3.7 Das Potentialfeld-Verfahren

Zur Ortung aktiver Korrosion an Bewehrungsstäben im Beton wurden Halbzellen-Potentialmessungen durchgeführt. Die Funktionsweise des Verfahrens wird in DGZfP Merkblatt B3 beschrieben (Zur Verwertung und zum Einsatz im Lebensdauermanagement siehe auch DAfStb-Heft 621).

Durch aktive Korrosion auftretende Potentialdifferenzen können an der Betonoberfläche gemessen werden. Eine schematische Darstellung der Funktionsweise und Potential-Größenordnungen von Stahl in Beton sowie ein Messgerät sind in Bild 15 dargestellt. Bild 16 zeigt eine Beispielmessung. Für die Messung muss ein Massekabel direkt mit der Bewehrung verbunden, was im Regelfall lokal das Abtragen des Betons bis zur Bewehrung erfordert. Anschließend können die Messungen in einer Linie oder in einem Raster mit einer Referenzelektrode durchgeführt werden. Bestandteil der Untersuchungen ist in der Regel auch die Bestimmung des Elektrolytwiderstandes mit der Wennessonde. Die hierbei gewonnenen Werte können u. U. auch für Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit herangezogen werden (DAfStb Heft 612).

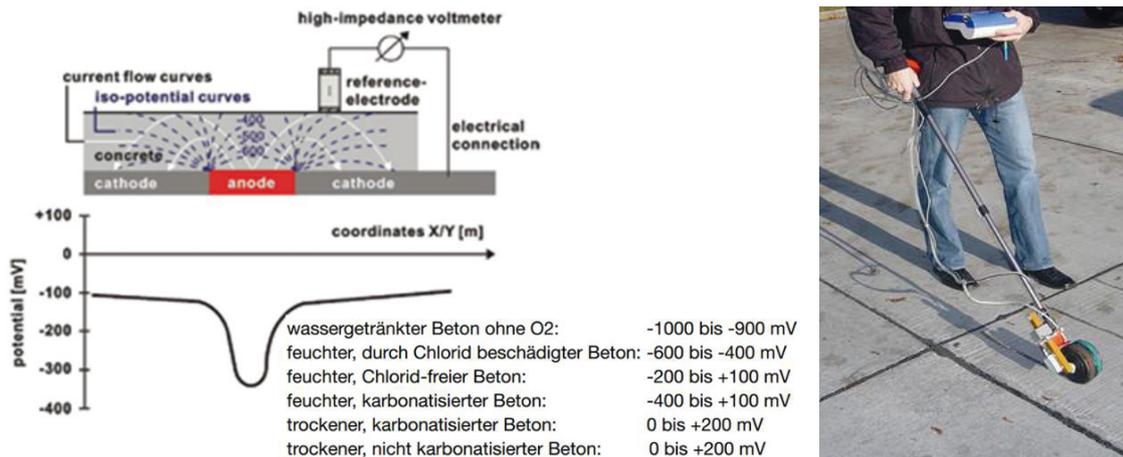


Bild 15 Links: Funktionsweise und Potential-Größenordnungen von Stahl in Beton (RILEM TC-154-EMC). Rechts: Handgerät mit Radelektrode (Bild: BAM).

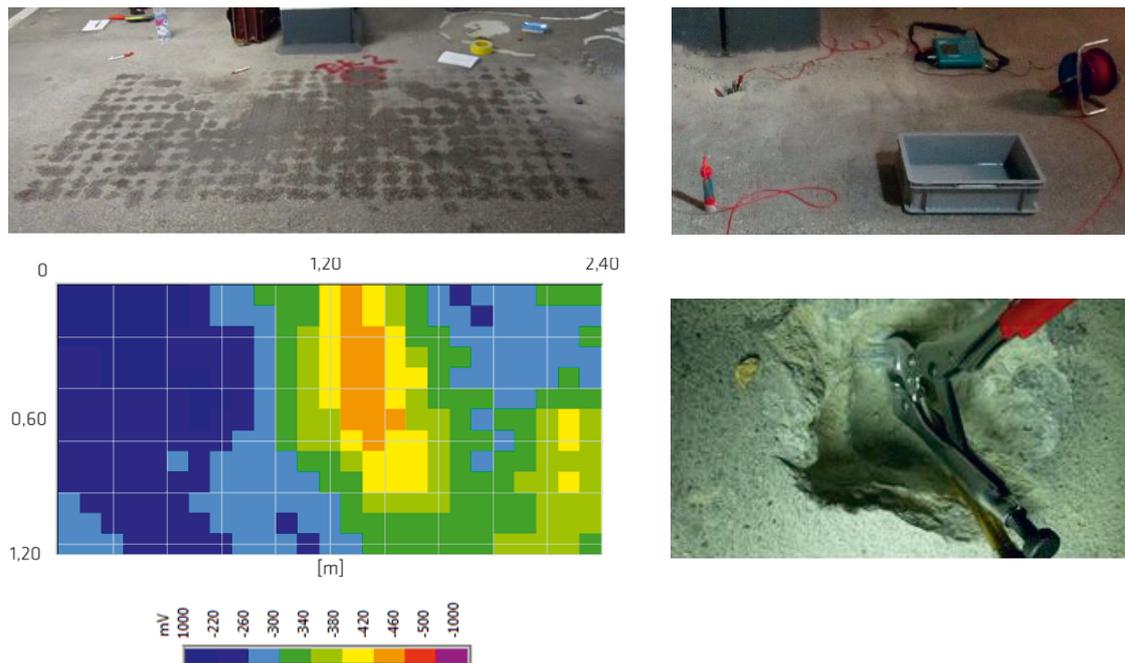


Bild 16 Messbeispiel Potentialverfahren: Die Methode zeigt erhöhte, auf Korrosionsaktivität hindeutende Werte in Stütznähe.

4.3.8 Pfahlintegritätsprüfung und Mehrkanalmethode

Zur Ermittlung der Länge und Qualität von Betonbohrpfählen, ist die Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung (Hammerschlagmethode) die meist verbreitete, seit mehreren Jahrzehnten eingesetzte und die einfachste Methode in der Qualitätskontrolle für Pfähle (Bild 17). Das Verfahren ist in der EA-Pfähle geregelt. Bei dem Verfahren erfolgt ein Hammerschlag auf dem Pfahlkopf in vertikaler Richtung. Die durch den Impuls erzeugte Welle durchläuft den Pfahl und wird an Pfahlfuß und etwaigen größeren Fehlstellen reflektiert. Ein auf dem Pfahlkopf angebrachter Beschleunigungssensor misst die entsprechende Beschleunigung am Pfahlkopf. Anhand der Laufzeit Δt zwischen Impulseinleitung und Eintreffen der Reflexion am Pfahlkopf kann die Länge L bei bekannter oder geschätzter Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle ermittelt werden:

$$L = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (2)$$

Bild 19 zeigt das Messergebnis an einem intakten Pfahl. Bei Fehlern, die einen großen Teil des Querschnitts betreffen, zeigen sich zusätzliche Signale, die früher als das Fußecho eintreffen (Bild 20). Diese sind dann nach in der EA-Pfähle festgelegten Kategorien zu interpretieren. Diese sehr einfache, schnelle und wenig aufwändige Methode eignet sich jedoch weniger für bereits in eine Konstruktion eingespannte Pfähle (Pfahlkopfplatte, etc.), da die eingeleitete Wellenenergie meist durch die konstruktiven Elemente beeinflusst und an deren Grenzflächen reflektiert wird. Auch

bei Pfahlwänden sind die Erfolgsaussichten begrenzt (Klingmüller und Kirsch; Niederleithinger et al. 2010).

Die klassische Methodik kann durch Mehrkanalsensorik erweitert werden, um auch in diesen schwierigeren Anwendungsfällen die Längenbestimmung und Qualitätskontrolle zu ermöglichen (Bild 18). Die Mehrkanalmethode („Ultraseismic“ im Amerikanischen, (Olson und Aouad 2001)) bietet oft die Möglichkeit, auch in bestehende Konstruktionen eingebundene Pfähle erfolgreich zu prüfen. Bei dieser Methode werden mehrere Beschleunigungssensoren am, von der Seite zugänglichen, Pfahlschaft montiert. Dadurch ist es möglich, die i.d.R. nicht genau bekannte Wellenausbreitungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Ferner kann die sich abwärts ausbreitende Welle von der aufwärts ausbreitenden Stoßwelle unterschieden werden. Wie bei der klassischen Methode, wird die Stoßwelle mit einem instrumentierten Hammer erzeugt.

Die Positionierung und Montage der Sensoren am Pfahlschaft hängt meistens von den örtlichen Gegebenheiten, wie Zugänglichkeit sowie Testanforderungen ab. Erfahrungsgemäß sollte die minimale, durch die Sensoren abgedeckte Strecke, nicht weniger als 1 m betragen, da sich sonst die Ersteinsätze der Wellen bei den Sensordaten nur sehr wenig unterscheiden.

Die Auswertung der Messungen erfolgt unter Anwendung einer Methode aus der Geophysik, welche Vertical Seismic Profiling (VSP) genannt wird. Dabei wird die Wellengeschwindigkeit durch die zeitlich unterschiedlichen Ersteinsätze bestimmt (Bild 21). Anschließend werden die Signale der sich aufwärts ausbreitenden Stoßwelle, unter Verwendung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit im Zeitbereich, gemäß der jeweiligen Sensortiefe verschoben, um die potenziell ermittelten Einsätze auszurichten. Die verschobenen Signale werden aufsummiert, was zu einer Erhöhung der Amplitude der sich aufwärts ausbreitenden Welle und zu einer Minimierung der Amplituden der sich abwärts ausbreitenden führt (Bild 22). Die Methode ist in der EA-Pfähle erwähnt, aber noch nicht näher geregelt. Das Verfahren hat sich in einigen Anwendungsfällen bereits bewährt (Olson und Aouad 2001).

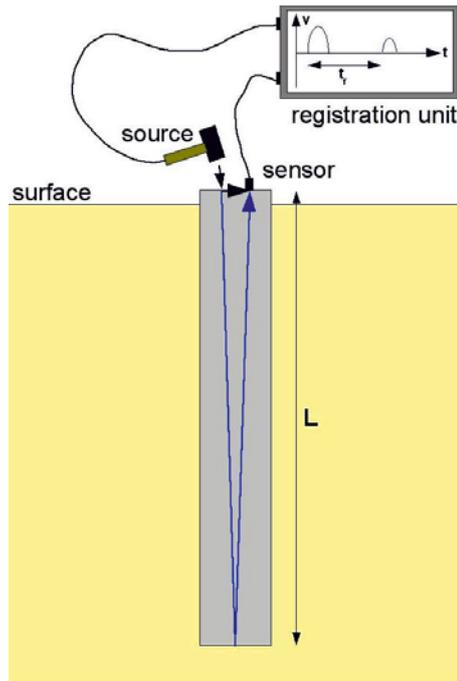


Bild 17 Prinzip der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung (Hammerschlagmethode).

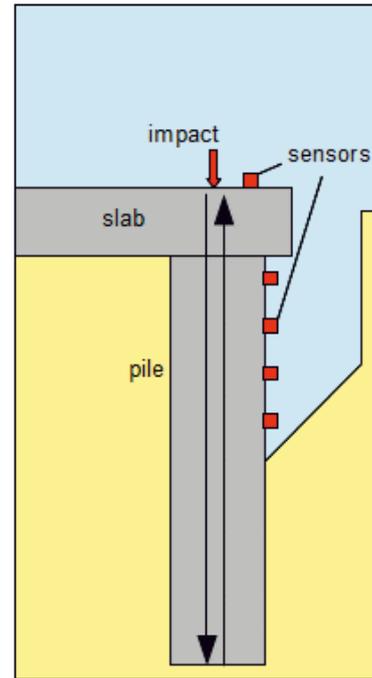


Bild 18 Prinzip der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung mit der Mehrkanalmethode.

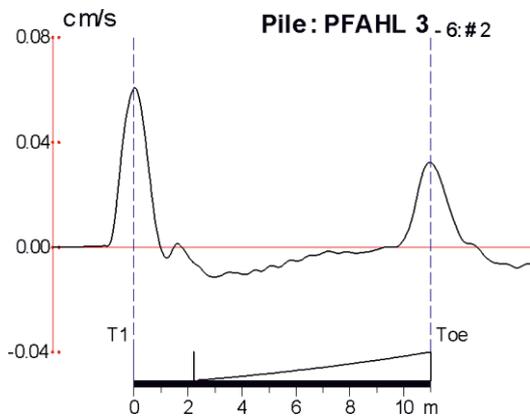


Bild 19 Messergebnis der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung an einem 11 m langen Bohrpfahl (90 cm Durchmesser) ohne signifikantem Fehler.

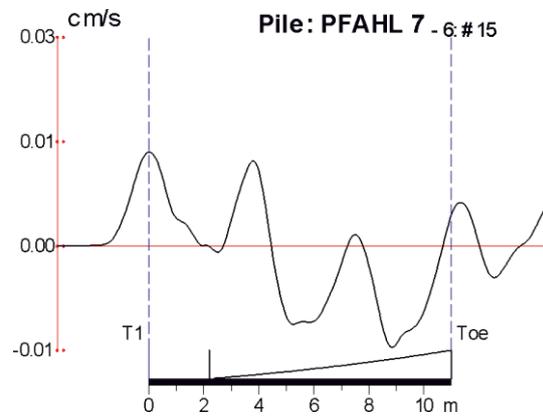


Bild 20 dto., Pfahl in 4 m Tiefe gerissen.

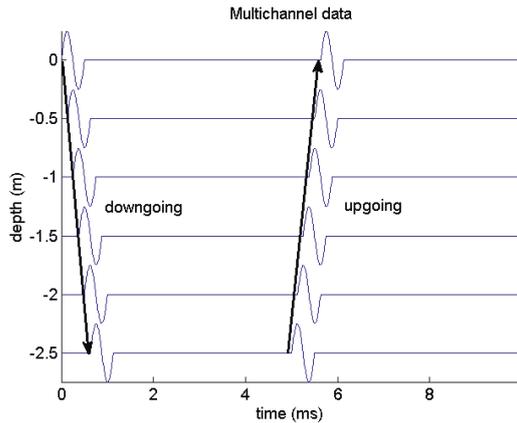


Bild 21 Schematische Darstellung der Messergebnisse der Low-Strain Pfahlintegritätsprüfung mit der Mehrkanalmethode.

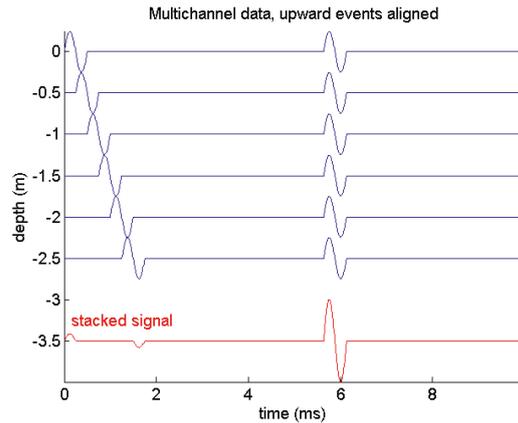


Bild 22 Verschobene und aufsummierte Amplituden der gemessenen Signale aus Bild 16.

4.3.9 Parallel-Seismik-Verfahren

Das Parallel-Seismik-Verfahren ist eine Methode zur Bestimmung der Länge von Pfählen oder wandartigen Elementen (Spundwände, Bohrpfahlwände, Schlitzwände etc.). Man benötigt ein verrohrtes Bohrloch neben dem zu prüfenden Pfahl (Bild 23). Die Impulseinleitung geschieht wie bei der klassischen Pfahlintegritätsprüfung am Pfahlkopf oder an darüber liegenden (akustisch verbundenen) Konstruktionsteilen. Im Bohrloch werden Sensoren (z. B. Hydrophone) heruntergelassen, die die Laufzeiten von dem vom Pfahl abgestrahlten Wellen registrieren. Da die Wellen im Pfahlbeton sehr viel schneller laufen als im Boden, ist das vom Pfahl abgestrahlte Signal stets das erste am Sensor. Aus den Laufzeiten, in Abhängigkeit von der Sensortiefe, lässt sich die Pfahllänge durch einfache graphische Verfahren abschätzen oder mit iterativer Modellrechnung genauer berechnen. Die Methode ist in der EA-Pfähle erwähnt, aber noch nicht näher geregelt.

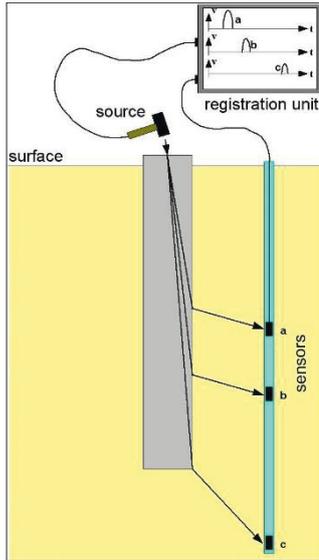


Bild 23 Prinzip der Parallel-Seismik-Methode.



Bild 24 Parallel-Seismik-Messungen an einem Mastfundament.

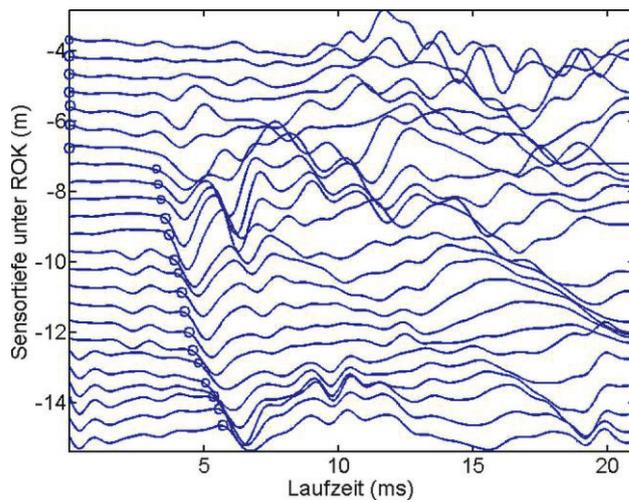


Bild 25 Ergebnis einer Parallel-Seismik-Messung. Die Signale der Sensoren werden entsprechend der Tiefe im Bohrloch aufgetragen. Kreise: abgelesene Wellenlaufzeiten.

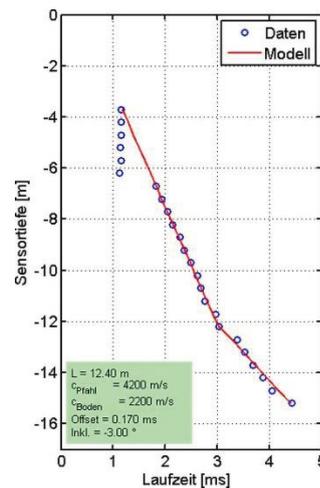


Bild 26 Auswertung einer Parallel-Seismik-Messung: Vergleich der gemessenen Wellenlaufzeiten (blaue Punkte) mit den aus den Modellparametern (grüner Kasten) berechneten Erwartungswerten (rote Kurve).

4.3.10 Andere Prüfverfahren für Pfähle, Pfahl-, Schlitz- und Spundwände

Zur Längenbestimmung tiefer Fundamente kommen vereinzelt auch noch andere Bohrlochbasierte Verfahren zum Einsatz. Hierzu gehören das Bohrlochradar, das Induktionsverfahren, Mise a la Masse oder die Magnetfeldsonde. Alle erfordern ein PVC- oder PE-verrohrtes Bohrloch nahe am zu untersuchenden Element. Die Magnetfeldsonde kann auch an der Spitze eines Drucksondiergerätes eingesetzt werden. Das Bohrlochradar kann neben der Einbindetiefe auch größere Formabweichungen detektieren. Es ermöglicht auch bei einem lateralen Abstand von über einem Meter vom Bohrloch zum Fundament meist noch eine Detektion, versagt aber in elektrisch leitfähiger Umgebung (z. B. Ton, Salzwasser). Die anderen Verfahren reagieren nur auf metallische Elemente (Bewehrung, Spundwände) und haben nur eine sehr beschränkte Reichweite. Die Methoden sind in der EA-Pfähle z. T. erwähnt, aber noch nicht näher geregelt.

Eine weitere Gruppe von Verfahren ist für die Qualitätskontrolle neuer Pfahlgründungen, weniger aber für Bestandsgründungen geeignet. Da in vielen Fällen eine bestehende Gründung aber durch zusätzliche Elemente ergänzt werden müssen, seien sie hier doch erwähnt. Die Ultraschallmethode (auch: Crosshole Sonic Logging, CSL) ist seit längerem etabliert und in der EA-Pfähle geregelt. Hierbei werden vor dem Betonieren Zugangsrohre am Bewehrungskorb montiert. In diese werden nach Erhärten des Betons Ultraschallsender, bzw. –empfänger, parallel hinuntergelassen und der Raum zwischen den Rohren durchschallt. Das Verfahren zeigt eine sehr viel bessere Auflösung bei der Fehlstellendetektion als z. B. die Low-Strain-Integritätsprüfung, kann aber nur den Raum innerhalb des Bewehrungskorbes erfassen. In Pfahl- und Schlitzwänden kann auch über Fugen hinweg geschallt werden, um z. B. größere Erdeinschlüsse in den Fugen zu detektieren. Diese Herangehensweise ist aber noch nicht praktisch etabliert.

Um auch den Raum außerhalb des Bewehrungskorbes und damit die Betondeckung zu erfassen, wurde in jüngster Zeit ein temperaturbasiertes Verfahren vorgeschlagen (Thermal Integrity Profiling, TIP (Klingmüller et al.)). Ketten mit preiswerten Temperatursensoren werden außen am Bewehrungskorb angebracht und verfolgen die Wärmeentwicklung während der Erhärtung des Betons. In bestimmten Grenzen sind damit eine Fehlstellendetektion und eine Bestimmung der Betondeckung möglich. Das Verfahren wurde im Rahmen des Projekts REFUND an der Testplatte getestet (Anhang 1).

4. Bewertung der zerstörungsfreien Verfahren

Die in Kapitel 3 beschriebenen Methoden sind zum Teil nur für bestimmte Fundamenttypen und zum Teil nur für spezifische Fragestellungen geeignet. Alle haben Grenzen. Oft können Anwendbarkeit und Limitationen nur im konkreten Einzelfall und manchmal nur mittels einer Testmessung bestimmt werden. Die folgenden Einschätzungen beruhen auf der Erfahrung der REFUND-Projektpartner sowie einer ausführlichen Literaturrecherche.

Einige Verfahren sind an allen Fundamenttypen unter den gleichen Randbedingungen einsetzbar. Dazu gehört zum Beispiel der Rückprallhammer, der bei erfolgreicher Kalibration und unter bestimmten Voraussetzungen, Druckfestigkeiten von Beton ermitteln kann. Dazu ist wie bei einer Sichtprüfung stets direkter Zugang zur Betonoberfläche notwendig. Diese Verfahren werden im Folgenden nicht einzeln aufgeführt, sondern sind in der Tabelle 2 bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** der Gruppe „Visuelle Inspektion, Probennahme, Laborverfahren“ zugeordnet.

4.4.1 Prüfverfahren zur Untersuchung von Einzel- und Streifenfundamenten

Die meisten Einzel- und Stufenfundamente sind auch für indirekte, zerstörungsfreie Prüfverfahren nur schwer zugänglich. Die erste Aufgabe ist i.d.R. die Lokalisierung bzw. Verifizierung der Lage nach vorhandenen Plänen. Sind die Fundamente durch Wände oder Stützen überbaut, müssen sie seitlich freigelegt oder durch eine Bohrung zugänglich gemacht werden. Liegen die Fundamente unter einer Platte, kann versucht werden, sie mit Verfahren wie Radar, Ultraschall-Echo oder Impakt-Echo zu lokalisieren. Außer bei Radar ist dafür eine kraftschlüssige, am besten monolithische Bauweise der Platte und der darunter liegenden Fundamente erforderlich. Im Einzelfall können auch Parameter wie die Gesamttiefe der Gründung oder die Breite eines Fundamentes durch eine Platte hindurch bestimmt werden. Details zu Einzel- oder Streifenfundamenten unter Bebauung lassen sich nur nach seitlicher Freilegung ermitteln. Prüfverfahren können dann an der Seitenfläche analog zur Prüfung von Plattengründungen (siehe nächstes Kapitel) angewendet werden. Eine Probennahme oder Tiefenermittlung durch (ggf. schräge) Kernbohrung ist natürlich auch bei Überbauung möglich. Bei hohem Grundwasserstand sind aber ggf. eine Wasserhaltung und ein wasserdichtes Verschließen der Bohrstelle erforderlich.

Hinweise zur Anwendbarkeit bestimmter Verfahren zur Untersuchung von Einzel- und Streifenfundamente sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

	Bewehrungs- sucher (induk- tiv, magne- tisch)	Ultra- schall	Radar	Bohrloch- methoden	Visuelle In- spektion, Proben- nahme, La- bor
Fragestellung					
Lokalisierung unter Platte		o	o	o	o ¹
Lokalisierung von außen			o	o	o ¹
Geometrische Form			o	o	o ¹
Tiefe der Unterkante		+ ²	o	+	o ¹
Bewehrungslage	++ ^{2,4}		++ ²		+ ³
Bewehrungsdurch- messer	+ ^{2,4}				+ ³
Druckfestigkeit, E- Modul		o ²			++ ³
Betondeckung			++ ²		+ ³
Fehlstellen		+ ²	+ ²		
Einsatzbereich					
Streifenfundamente	o	o	o	o	o
Einzelfundamente	o	o	o	o	o
Stufenfundamente	o	o	o	o	o
Bemerkungen	Für beinahe alle Untersuchungen ist eine Freilegung des Fundamen- tes erforderlich!				

Tabelle 2 Anwendbarkeit und Grenzen von Untersuchungsverfahren für Einzel- und Streifenfundamente.

- ++ gut einsetzbar
- + einsetzbar
- o mit Einschränkungen einsetzbar
- 1 Bohrungen bzw. Freilegung notwendig
- 2 nur bei direktem Zugang zum Fundament
- 3 Aufstemmen bzw. Kernbohrung erforderlich, im Grundwasser – Bereich ggf. Wasserhal-
tung notwendig.
- 4 Nur obere Bewehrungslage

4.4.2 Prüfverfahren zur Untersuchung von Plattenfundamenten

Plattenfundamente sind zumindest von der Oberseite aus oft für eine Prüfung gut zugänglich. Probleme können im Einzelfall durch Beläge oder Beschichtungen, die eine zerstörungsfreie Prüfung, aber auch eine visuelle Inspektion verhindern, entstehen. Die Dickenmessung einer Platte sowie die Lokalisierung und Bewertung der oberen Bewehrung sind meist einfache Prüfaufgaben. Nur bei sehr starken Platten ist die Dickenmessung anspruchsvoller, etwa beim Radar durch mangelnde Reichweite oder bei Ultraschall durch Sperrschichten, bzw. sehr starke Bewehrung. Fehlstellen lassen sich je nach Art, Größe und Position mit Radar oder akustischen Verfahren erkunden. Eine Herausforderung sind Hohllagen unter einer Plattengründung. Experimente im Rahmen des REFUND-Vorhabens zeigten zwar, dass diese prinzipiell detektierbar sind, dies aber unter Praxisbedingungen derzeit noch aufwendig und nicht immer erfolgreich ist.

Hinweise zur Anwendbarkeit bestimmter Verfahren zur Untersuchung von Plattenfundamenten sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

	Bewehrungssucher (induktiv, magnetisch)	Ultraschall	Impakt-Echo	Radar	Potentialfeldverfahren	Visuelle Inspektion, Probenahme, Labor
Fragestellung						
Plattendicke		++	++	+		O
Komplexe Geometrie		+	o	+		
Bewehrungslage	++ ⁶	o		++		+ ⁷
Bewehrungsdurchmesser	+ ⁶					+ ⁷
Druckfestigkeit, E-Modul		o ²	o ²			++ ⁷
Betondeckung	++ ¹	o		++ ⁴		+ ⁷
Objekte in der Platte		+	o	+		
Objekte unter der Platte		o		o		
Fehlstellen		+	o		++ ⁵	
Hohllagen		o		o		o
Einsatzbereich						
Platten bis 40 cm		++	++	++	++ ⁶	++ ⁷
Platten bis 100 cm		++	++	o	++ ⁶	++ ⁷
Platten über 100 cm		+	+		++ ⁶	++ ⁷
Platten mit Sperrschicht		o ³	o ³	+	++ ⁶	++ ⁷
Feuchte Platten		++	++	o	o	++ ⁷

Tabelle 3 Anwendbarkeit und Grenzen von Untersuchungsverfahren für Plattenfundamente.

- ++ gut einsetzbar
- + einsetzbar
- o mit Einschränkungen einsetzbar
- 1 bis 10 cm Tiefe
- 2 indirekt qualitativ über Wellengeschwindigkeit
- 3 bis zur Sperrschicht
- 4 ab ca. 4 cm
- 5 Nur aktive Bewehrungskorrosion
- 6 Nur obere Bewehrungslage
- 7 Aufstemmen bzw. Kernbohrung erforderlich, im Grundwasser –Bereich ggf. Wasserhaltung notwendig.

4.4.3 Verfahren zur Untersuchung von Pfahlgründungen

Pfahlgründungen sind für eine visuelle Prüfung (außer am Kopf) nicht zugänglich. Kernbohrungen sind extrem aufwendig. Daher ist man zur Bestimmung der Pfahllänge oder der Integrität auf indirekte Prüfungen angewiesen. Einige der klassischen, bei der Qualitätssicherung neuer Pfähle, etablierten Prüfmethoden lassen sich aber nicht immer erfolgreich anwenden. Oft ist man, z. B. bei der Pfahllängenbestimmung, auf relativ aufwendige Verfahren wie die Parallel-Seismik-Methode angewiesen. Die Kosten hierfür lassen sich optimieren, wenn die notwendige Bohrung gleich auch für das meist ohnehin notwendige geotechnische Gutachten verwendet wird.

Die indirekten Prüfverfahren sind nicht in der Lage, Pfahltyp, Durchmesser oder Betondeckung zu ermitteln. Hierfür ist man auf Freilegung des Pfahlkopfes angewiesen (für einige Prüfmethoden ohnehin notwendig).

Hinweise zur Anwendbarkeit bestimmter Verfahren zur Untersuchung von Pfahlgründungen sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengefasst.

	Low-Strain-Integritätsprüfung	Mehrkanalmethode	Parallel-Seismik	Bohrlochradar	Induktionsmethode/ Mise a la Masse	Visuelle Inspektion, Probenahme. Laboruntersuchungen
Fragestellung						
Pfahltyp						++
Länge	+	+	++	+	+ ²	
Durchmesser						++
Form			o	+		
Druckfestigkeit	o ¹	o ¹	o ¹			o ³
Fehlstellen	+	+	o			o ³
Betondeckung						o ⁴
Einsatzbereich						
Betonpfähle	++	++	++	++	+ ²	++
Stahlpfähle	++	++	++	++	++	++
Holzpfähle	+	+	+	o		++
Pfahlwände	o	+	++	++	++ ²	++
Spundwände	o	+	++	++	++	++
Pfähle unter Bauwerken	o	+	++	++	++ ²	o
Bemerkungen						
Zugang zu Pfahlkopf notwendig	ja	ja	nein	nein	ja ⁵	ja ⁶
Parallele Bohrung notwendig	nein	nein	ja	ja	ja	nein

++ gut einsetzbar

+ einsetzbar

o mit Einschränkungen einsetzbar

1 nur indirekt qualitativ über Wellengeschwindigkeit

2 bei Betonpfählen nur bewehrter Teil

3 nur im freigelegten Teil

4 Mit entsprechender Messtechnik im freigelegten Teil

5 An Betonpfählen Zugang zu Bewehrung notwendig

6 Oder Kernbohrung von oben durch Platte/Träger

4.4.4 Tieferliegende Hohlräume

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Gründungen (nicht nur, aber auch im Rahmen der Wiedernutzung) ist in vielen Fällen eine Detektion tieferliegender Hohlräume erforderlich. Diese

Hohlräume können sowohl technischer Art (Abwasserkanäle, Altbergbau, andere aufgegebene Bauwerke) oder natürlich (z. B. Karst) sein.

Ist ein möglicher Hohlraum, z. B. aufgrund von Schadensbildern oder Planunterlagen, gut zu verorten, wird je nach Tiefe eine Suchbohrung oder –schachtung empfohlen. Ist die Position nicht bekannt, bietet die Geophysik eine Reihe von Erkundungsmethoden, aus denen je nach Art, Größe und Tiefenlage des Hohlraums auszuwählen ist. Sind metallische Konstruktionselemente vorhanden (z. B. im Fall Altbergbau), können magnetische oder elektromagnetische Suchverfahren zum Einsatz kommen. Bei der Suche von Hohlräumen in Oberflächennähe (wenige Meter Tiefe) bietet sich das Radar an. Für die Suche in größerer Tiefe werden auch elektrische und seismische Verfahren angewandt. Ist eine Untersuchung von der Oberfläche aus nicht möglich, lassen sich Radar, Elektrik und Seismik auch von Bohrlöchern aus anwenden. Umfassende Regelwerke gibt es hierzu nicht. Für weitere Informationen sei auf die geophysikalische Fachliteratur verwiesen (z. B Reynolds 2011)

5. Kalibrierung zerstörungsfreier Untersuchung

Ergebnisse zerstörungsfreier Prüfverfahren lassen sich nicht immer direkt für die Bewertung von Bauwerken oder Gründungen verwerten. I.d.R. ist eine Kalibration erforderlich und damit eine Kombination mit visueller Inspektion, Kernbohrungen oder Laborverfahren. Diese sind gemeinsam zu planen und aufeinander abzustimmen, um die Untersuchung möglichst effektiv zu gestalten.

4.5.1 Kalibrierung der Geometrie

Verfahren wie Ultraschall-Echo, Impakt-Echo, Low-Strain-Integritätsprüfung oder das Radar-Verfahren, benötigen zur Bestimmung der Tiefenlage von Reflektoren (also z. B. Plattendicke, Pfahllänge) Angaben zur Geschwindigkeit der Wellen im Material. Ist eine Kalibrierung am Objekt nicht möglich, muss diese abgeschätzt werden. Dies führt zu Messunsicherheiten von ca. 10 %. Mit einer Kalibrierung (z. B. durch Testmessung an einer Stelle mit bekannter Geometrie) lässt sich diese Unsicherheit auf wenige Prozent reduzieren.

Abbildende Verfahren wie Radar oder Ultraschall-Echo, liefern bei komplizierter Geometrie unter Umständen Ergebnisse, die nicht eindeutig zu interpretieren sind. In solchen Fällen muss zumindest lokal visuell geprüft werden.

4.5.2 Kalibrierung der Materialparameter

Die bei der Prüfung ermittelten Parameter hängen indirekt mit Materialparametern zusammen. Vereinzelt werden in der Literatur zum Beispiel Tabellen zur Übertragung von Kompressionswellen-Geschwindigkeiten in Druckfestigkeiten angegeben. Ein solcher Zusammenhang besteht, ist aber bedingt durch die hohe Variabilität von Betonrezepturen und Herstellungsparametern sehr unsicher. Mit Hilfe von Proben und Laboruntersuchungen lassen sich objektbezogene Kalibrierwerte ermitteln, die jedoch von der tatsächlichen in situ Situation abweichen können. Ähnliches gilt für den Zusammenhang zwischen Wellengeschwindigkeit des Radarverfahrens und Feuchtigkeit.

4.5.3 Kalibrierung Fehlstellen

Etliche der beschriebenen Methoden können Fehlstellen (Schwachstellen) lokalisieren. Eine Charakterisierung ist aber nur beschränkt möglich. So muss z. B. der Restquerschnitt der Bewehrung, in einem mit dem Potentialfeldverfahren lokalisierten Bereich mit aktiver Korrosion, visuell nach Ausstemmen bestimmt werden.

6. Labormethoden

Laboruntersuchungen, von aus dem Fundament entnommenen Materialproben, dienen im Wesentlichen der Feststellung der Materialqualität und -dauerhaftigkeit. Zusätzlich dienen sie auch der Kalibrierung der oben beschriebenen zerstörungsfreien Prüfverfahren sowie der Überprüfung von detektierten Anomaliebereichen.

Jegliche Eingriffe ins Bauwerk müssen vorab vom Eigentümer genehmigt werden.

Zur Untersuchung von Bestandsfundamenten kommen unter anderem in Frage:

- Prüfung der Druckfestigkeit ab Bohrkernen nach DIN EN 12390-3
- Je nach Lastfall auch Bestimmung der Biegezugfestigkeit (DIN EN 12390-5) und Spaltzugfestigkeit (DIN EN 12390-6)
- Bei Verdacht auf Korrosion Bestimmung Chlorideindringprofil nasschemisch an Bohrmehlproben in Anlehnung an DAfStb-Heft 401, wichtig z. B. an Sohlplatten von Parkhäusern¹
- Falls Verdacht auf betonaggressive Böden/Grundwasser: Untersuchung des Grundwassers nach DIN 4030, Untersuchung des Beton auf eingedrungenes Sulfat, ggf. auch Untersuchung auf Gips-, Thaumasit- oder Ettringitbildung.
- Bestimmung der Karbonatisierungtiefe mit der Phenolphthalein-Prüfung (DIN EN 14630)

7. Experimentelle Statik

In einigen Fällen reichen die Daten aus der Untersuchung nicht zum Tragfähigkeitsnachweis aus. In Einzelfällen lässt sich dann der Nachweis über Belastungsversuche erbringen. Für einzeln stehende Pfähle kann dies in Anlehnung an die EA-Pfähle geschehen. Weitere Hinweise gibt die DAfStb Richtlinien für Belastungsversuche, die sich aber primär auf Elemente des Hochbaus bezieht. Beispiele für Belastungsversuche im Rahmen der Wiedernutzung von Pfählen zeigen (Quick et al. 1996) und (Powell und Brown 2006).

Eine weitere Option ist die Anwendung der Beobachtungsmethode (Überwachung bestimmter Zustandsgrößen und Abgleich mit den Erwartungswerten). Der Einsatz der Beobachtungsmethode ist in DIN 1054 normativ geregelt. Diese kann auch beim Rückbau der Altkonstruktion eingesetzt werden, um aus resultierenden Hebungen Rückschlüsse ziehen zu können.

Versuche der experimentellen Statik sind die einzige Möglichkeit, Zuwächse der Tragfähigkeit mit der Zeit, wie sie bei Pfählen bekannt sind, quantitativ zu erfassen (Powell und Skinner 2006).

¹ Eine zerstörungsarme spektroskopische Alternativmethode, das LIBS-Verfahren, befindet sich in der Praxiserprobung. Eine entsprechende Richtlinie des DAfStB ist in Vorbereitung.

5 Durchführung der Untersuchungen und Entscheidungsfindung

1. Grundsätze

Es gibt nach wie vor Fälle, in denen Bestandsfundamenten erst in der Bauphase erkannt und ggf. untersucht werden. Dann ist es für eine Nachnutzung natürlich zu spät. Wichtig ist es, unabhängig von der Entscheidung zu einer Wiedernutzung, so früh wie möglich, mindestens aber vor der Ausführungsplanung, die Bestandsfundamente zu erkunden. Ideal ist eine Bestandsaufnahme vor der Entwurfsplanung, da nur dann die neue Konstruktion gegebenenfalls darauf abgestimmt werden kann.

Die Untersuchung der Bestandsfundamente wird durch die vorliegenden Flussdiagramme unterstützt. Diese ermöglichen eine schrittweise Betrachtung. Dafür wird im sogenannten Einstiegsdiagramm eine Unterteilung anhand der betrachteten Fundamenttypen vorgenommen. Anschließend wird für jeden Fundamenttyp ein eigenes Diagramm betrachtet. Darin wird auf die entsprechenden Besonderheiten dieser Fundamente eingegangen und die einzelnen Schritte für die Untersuchungen dargestellt.

Vor dem Einstieg in die Flussdiagramme müssen einige Informationen schon vorliegen:

- Planunterlagen zum Bestand (soweit vorhanden)
- Entwurfsplanung Neu- bzw. - Umbau
- Geotechnisches Gutachten

Die Flussdiagramme erlauben es die einzelnen Untersuchungsschritte gesondert zu betrachten. Aufgrund der Ergebnisse eines Untersuchungsschrittes wird das weitere Vorgehen definiert. Die Erläuterung der einzelnen Schritte erfolgt im Anschluss an das jeweilige Diagramm. Jeder Schritt wird dabei erläutert und konkretisiert. Dabei ähneln sich die Diagramme für die verschiedenen Fundamenttypen in Teilen sehr. Die im Detail unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und -parameter machten eine Aufspaltung aber erforderlich.

Die Planung eines Bauwerks gliedert sich in die in der HOAI angegebenen Leistungsphasen (Bild 27). Die Untersuchung der Wiedernutzbarkeit von Fundamenten betrifft sowohl die Objekt- als auch die Tragwerksplanung. Innerhalb der Leistungsphasen 1 und 2 muss ein geotechnisches Gutachten erstellt werden, das eine Beurteilung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse ermöglicht. Erst nachdem dieses vorliegt, ist eine Einstufung anhand der nachfolgenden Diagramme möglich. Die Anwendung der nachfolgenden Diagramme ist in der Leistungsphase 2 anzusiedeln, um die im Rahmen der Vorplanung stattfindende Variantenstudie zu unterstützen.

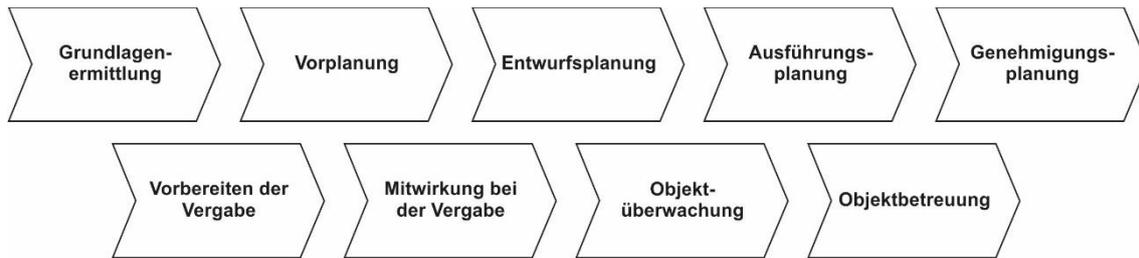


Bild 27 Leistungsphasen der HOAI.

2. Ablauf der Untersuchung

Der Ablauf der Untersuchung von Bestandsfundamenten erfolgt anhand der Darstellung in Diagramm I. Dieses Diagramm gibt einen Einstieg in die Untersuchung, wofür eine erste Unterteilung, anhand der in Kapitel 2 erläuterten Fundamenttypen erfolgt.

Anschließend erfolgt eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Bestandsfundamente. Liegt eine Kombination verschiedener Gründungsarten vor, sind die Diagramme II, IV und VI kombiniert zu betrachten.

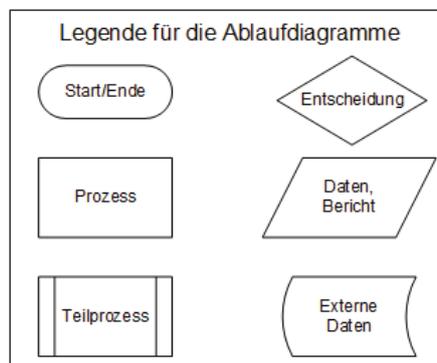


Bild 28 Legende für die Ablaufdiagramme.

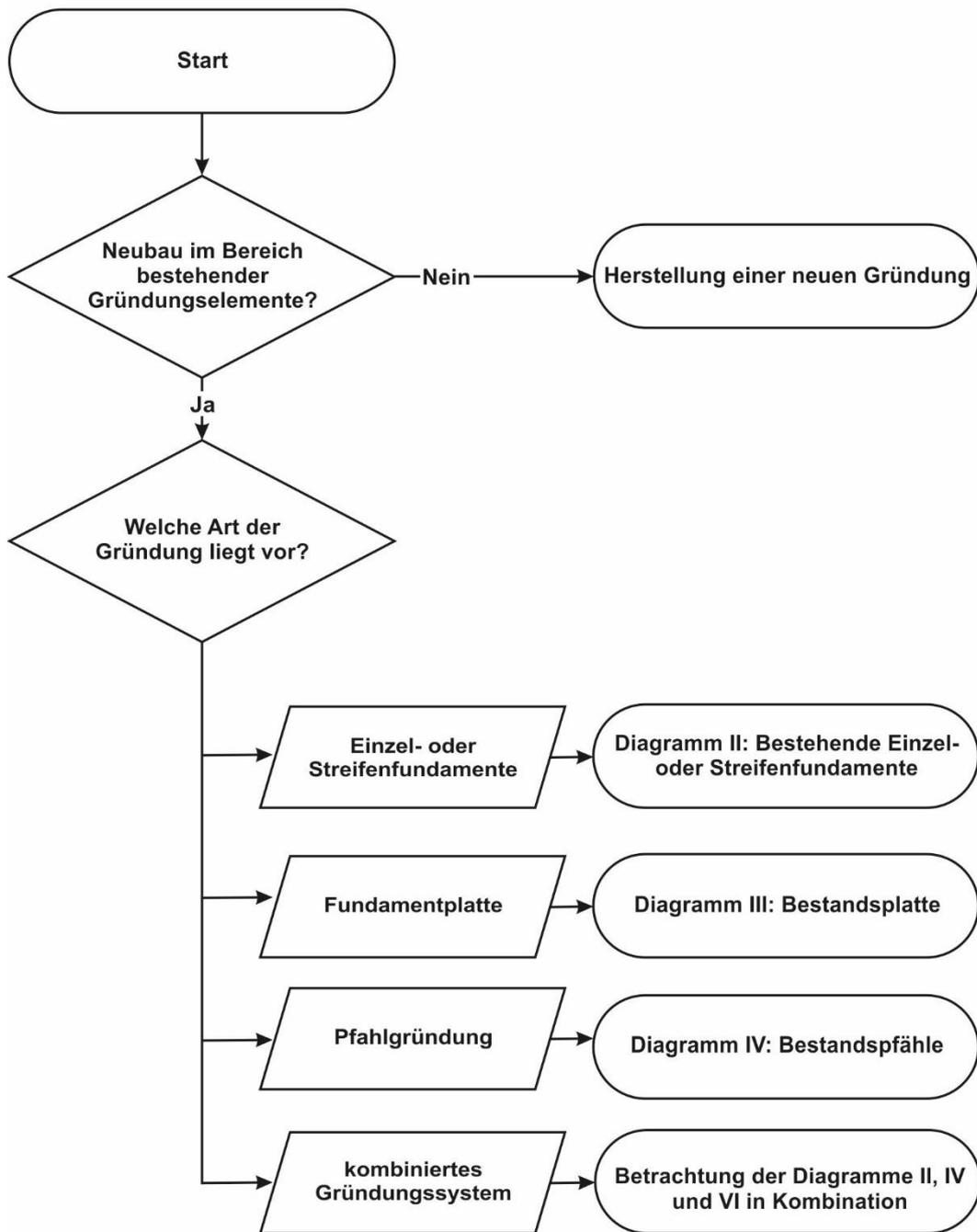


Diagramm I Einstieg.

5.2.1 Einzel- und Streifenfundamente

Diagramm II beschreibt den Ablauf der Untersuchung von Einzel- und Streifenfundamenten (im Nachfolgenden auch als Bestandsfundamente bezeichnet) auf Wiedernutzbarkeit. Diagramm III zeigt den zugehörigen Prüfablauf vor Ort.



Diagramm II Untersuchungsablauf bestehender Einzel- bzw. Streifenfundamente.

- II.1 Bestehen geometrische Kompatibilität und ein vergleichbares Lastniveau? (Ersteinschätzung)
- Befinden sich die neuen, voraussichtlichen Lastenleitungsbereiche des Neubaus im Bereich der Einzel- oder Streifenfundamente? Hierzu ist die Geometrie der Einzel- oder Streifenfundamente anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
 - Passt die Tiefenlage der Einzel- oder Streifenfundamente voraussichtlich zum Neubau? Hierzu ist die Tiefenlage der Einzel- oder Streifenfundamente anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
- II.2 Kann das geplante Gebäude angepasst werden? (Ersteinschätzung)
- Kann die Lage des Neubaus auf dem Grundstück an die Bestandsfundamente angepasst werden?
 - Kann die Tiefenlage des Neubaus an die Bestandsfundamente angepasst werden?
 - Kann der Tragwerksentwurf des Neubaus an die Geometrie der Bestandsfundamente angepasst werden?
- II.3 Können im Bereich des Neubaus neue Gründungselemente hinzugefügt werden? (Ersteinschätzung)
- II.4 Kann eine neue Gründung hergestellt werden?
- Können im Weg stehende Bereiche der Einzel- oder Streifenfundamente im Baugrund verbleiben, ohne die Funktion der neuen Gründung zu gefährden?
 - Können im Weg stehende Bereiche der Bestandsfundamente oder sonstige Hindernisse entfernt werden und können im Bereich der entfernten Einzel- oder Streifenfundamente tragfähige neue Gründungselemente hergestellt werden?
- II.5 Überprüfung des Neubautwurfes
- Aufbauend auf den bisher vorliegenden Erkenntnissen zu den Einzel- oder Streifenfundamenten, wird die Machbarkeit des Neubautwurfs überprüft und eine Anpassung vorgenommen.
- II.6 Wird die Wiedernutzung der Einzel- oder Streifenfundamente vom Bauherrn und den Planern gewünscht bzw. akzeptiert?
- Besteht die Bereitschaft zur Übernahme der finanziellen und bauzeitlichen Risiken?
 - Ist eine Regelung zur Gewährleistung für den Neubau auf den Einzel- oder Streifenfundamenten möglich?
 - Welche finanziellen, technischen und rechtlichen Randbedingungen bestehen für den Neubau?
 - An dieser Stelle werden die voraussichtlichen, konkreten Vor- und Nachteile der Wiedernutzung der Einzel- oder Streifenfundamente erörtert.

- II.7 Ist nach einer vertieften und umfassenden Recherche die Wiedernutzung der Bestandsfundamente dem Grunde nach möglich?
- Durchführung einer Recherche auf Basis von Altdokumenten, ohne die Durchführung weiterer Untersuchung.
 - Alle verfügbaren Altdokumente zu den Bestandsfundamenten und dem Baugrund werden zusammengetragen und erfasst.
 - Einschätzung ob eine Wiedernutzung dem Grunde nach möglich ist.
- II.8 Prüfung der Bestandsfundamente für die Wiedernutzung. Dafür kann das Diagramm III, Prüfablauf Einzel- und Streifenfundamente, verwendet werden.
- Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Recherche wird ein Untersuchungsprogramm umgesetzt, dass die Fortführung des Planungsprozesses ermöglicht.
 - Bei noch vorhandenen und ggf. im Betrieb befindlichen Bestandsgebäuden sind folgende Untersuchungen möglich: Schürfe, Bohrungen neben dem Gebäude zur Baugrunderkundung, Kernbohrungen zur Untersuchung des Materials der Einzel- oder Streifenfundamente.
 - Wenn das Bestandsgebäude bereits abgerissen wurde, sind zusätzlich folgende Untersuchungen möglich: Freilegung und Einmessung der gesamten Einzel- oder Streifenfundamente, Bohrungen im Bereich der Fundamentfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen.
- II.9 Ist nach einer (ersten) Prüfung der Bestandsfundamente eine Wiedernutzung möglich?
- Durchführung einer ersten abschätzenden Berechnung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.
 - Ausgehend von den Ergebnissen der Prüfung wird eine Einschätzung über die Wiedernutzung der Bestandsfundamente erstellt.
- II.10 Baugrunderkundung nach DIN EN 1997-2 und DIN 4020
- II.11 Ist nach einer Variantenstudie die Wiedernutzung der Bestandsfundamente vorteilhaft?
- Unter Berücksichtigung der bisher über die Einzel- oder Streifenfundamente vorliegenden Erkenntnisse, wird eine Variantenstudie durchgeführt und anhand der bereits unter II.4 identifizierten Kriterien bewertet.

- II.12 Planung einer Gründung mit Bestandsfundamenten
- Der Abriss wird so geplant, dass die Einzel- oder Streifenfundamente möglichst nicht beschädigt werden.
 - Der Umfang der an den Einzel- oder Streifenfundamenten durchzuführenden Untersuchungen wird festgelegt.
- II.13 Prüfung der Planung nach dem 4-Augen Prinzip
- Prüfung der Planung durch einen Prüferingenieur und den Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht und entsprechend der gültigen Länderbauordnung.
- II.14 Bestätigen die Untersuchungen während der Abbruch- bzw. der Bauzeit die Entwurfsannahmen?
- Freilegung und Einmessung der gesamten Bestandsfundamente, Bohrungen im Bereich der Fundamentfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen während des Abrisses.
- II.15 Kann eine modifizierte Nutzung der Einzel- oder Streifenfundamente erfolgen?
- Kann die Lasteinleitung in die Einzel- oder Streifenfundamente angepasst werden?
 - Können zusätzliche Gründungselemente hinzugefügt werden?
 - Befindet sich die Lastabtragung im Wiederbelastungsbereich? (Bei einer Gründung auf alten und neuen Fundamenten ist zu beachten, dass die Lastabtragung über die Altfundamente i.d.R. im Wiederbelastungsbereich, für die Neufundamente i.d.R. aber im Erstbelastungsbereich stattfindet. Dass führt bei gleicher Beanspruchung zu unterschiedlichen Setzungen.)
- II.16 Modifizierte Planung einer Gründung mit Bestandsfundamenten
- II.17 Planung einer neuen Gründung
- II.18 Wiedernutzung der Bestandsfundamente, evtl.: Herstellung zusätzlicher neuer Gründungselemente und/ oder Ertüchtigung bestehender Gründungselemente (s. Kapitel 6)
- II.19 Herstellung einer neuen Gründung
- Zur Herstellung der neuen Gründung kann es erforderlich sein, die Bestandsfundamente ganz oder teilweise zu entfernen.
 - Die Bestandsfundamente dürfen den Neubau nicht beeinträchtigen.
 - Um Lasten in die neuen Gründungskörper zu leiten sind ggf. Überbrückungskonstruktionen erforderlich.
- II.20 Herstellung des Neubaus

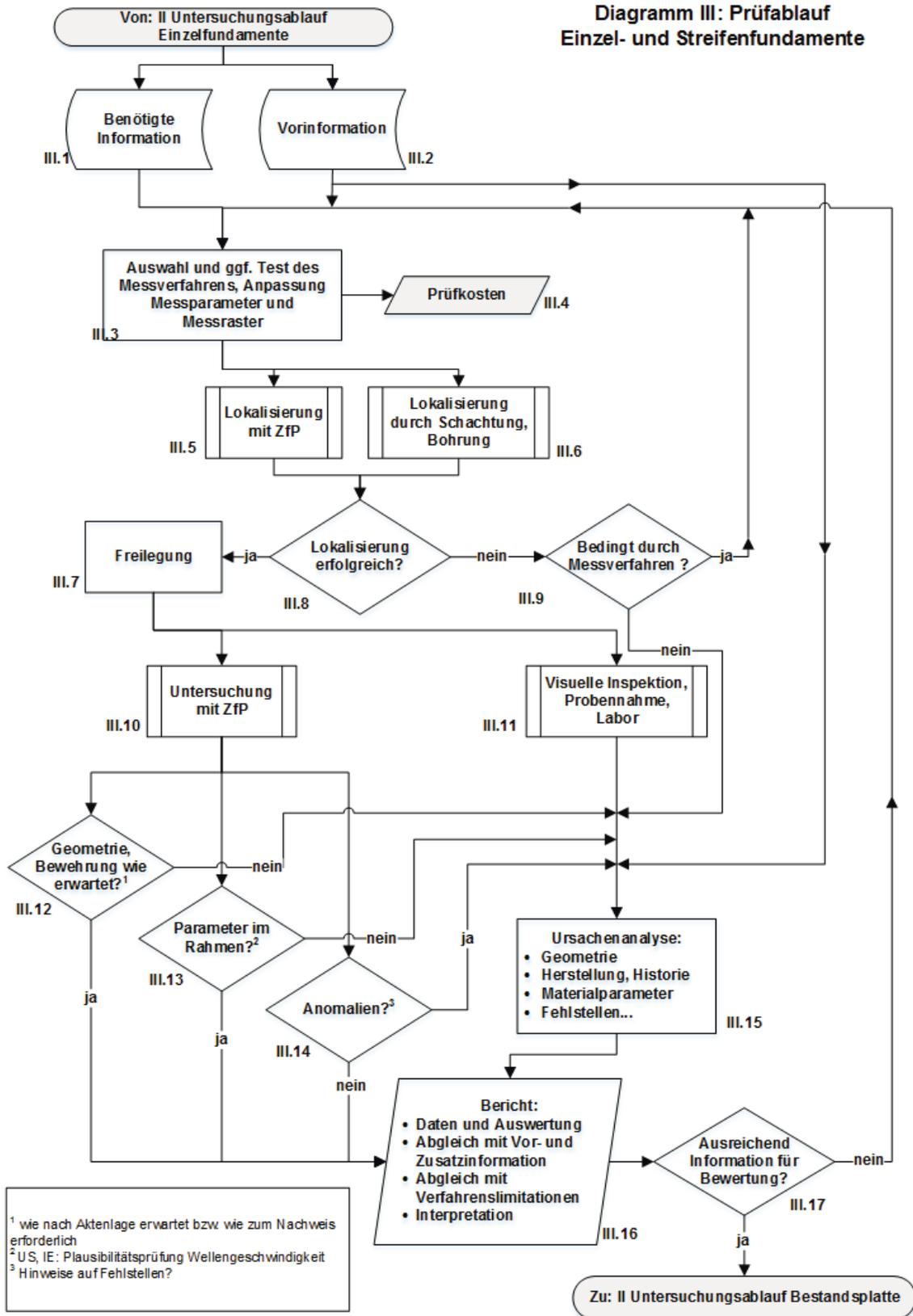


Diagramm III Prüfablauf Einzel- und Streifenfundamente.

- III.1 Welche Informationen werden für die Bewertung benötigt? Was sind die Ziele der Prüfung?
- III.2 Welche Informationen liegen bereits vor?
- Die vorliegenden Informationen aus Bestandsunterlagen
 - Begehungen und Voruntersuchungen sowie das geotechnische Gutachten sind dem Prüfer zur Verfügung zu stellen.
- III.3 Erstellen eines Messkonzepts
- Welche Methoden sind geeignet, um die in III.1 definierten Ziele zu erreichen?
 - Was ist der notwendige Umfang der Untersuchungen?
 - Kalkulation der Prüfkosten (III.4), Rückmeldung an Planer, für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- III.5, III.6. Lokalisierung der Bestandsfundamente
- Wo befinden sich Einzel- und oder Streifenfundamente?
 - Je nach technischen Möglichkeiten und Wirtschaftlichkeit werden zerstörungsfreie Methoden, invasive Methoden oder eine Kombination aus beiden gewählt
- III.7, III.8, III.9 War die Lokalisierung erfolgreich?
- Wenn nein, war das Verfahren ungeeignet? Dann wird das Messkonzept modifiziert
 - Wenn nein, aber das Verfahren war geeignet: keine Einzel- oder Streifenfundamente am vermuteten Ort vorhanden
 - Wenn ja und weitere Informationen erforderlich: Freilegung notwendig!
- III.10 Untersuchung mit ZfP (siehe Kapitel 43)
- III.12 Geometrische Form, ggf. Bewehrungslage
 - III.13 Ableitung von Hinweisen auf Materialparameter aus ZfP-Messungen
 - III.14 Ableitung von Hinweisen auf Fehlstellen aus ZfP-Messungen
- III.11 Visuelle Inspektion, Probennahme, Labor
- Bestätigung Geometrie
 - Bestimmung Materialparameter
 - Ist die Dauerhaftigkeit gewährleistet?
 - Ggf. Nutzung der Ergebnisse zur Kalibrierung der ZfP-Messungen
- III.15 Auswertung und Interpretation der Befunde, Ursachenanalyse im Hinblick auf:
- Geometrie
 - Materialparameter
 - Dauerhaftigkeit
 - Fehlstellen

III.16 Bericht und Dokumentation

III.17 Dialog mit dem Planer: Sind ausreichend Information für die Bewertung der Gründung und Wiedernutzungsentscheidung vorhanden?

- Wenn ja, Ende der Untersuchung
- Wenn nein, vertiefte Untersuchung

5.2.2 Fundamentplatten

Diagramm IV beschreibt den Ablauf der Untersuchung von Fundamentplatten auf Wiedernutzbarkeit. Diagramm V zeigt den zugehörigen Prüfablauf vor Ort.



Bild 29 Untersuchung einer Fundamentplatte mit dem Radarverfahren (REFUND-Testplatte, siehe Anhang 2) Quelle: Implenia/BAM.



Diagramm IV Untersuchungsablauf Fundamentplatte.

- IV.1 Bestehen geometrische Kompatibilität und ein vergleichbares Lastniveau? (Ersteinschätzung)
- Befinden sich die neuen voraussichtlichen Lasteinleitungsbereiche des Neubaus im Bereich der Bestandsplatte? Hierzu ist die Geometrie der Bestandsplatte anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
 - Passt die Tiefenlage der Bestandsplatte voraussichtlich zum Neubau? Hierzu ist die Tiefenlage der Bestandsplatte anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
- IV.2 Kann das geplante Gebäude angepasst werden? (Ersteinschätzung)
- Kann die Lage des Neubaus auf dem Grundstück an die Bestandsplatte angepasst werden?
 - Kann die Tiefenlage des Neubaus an die Bestandsplatte angepasst werden?
 - Kann der Tragwerksentwurf des Neubaus an die Geometrie der Bestandsplatte angepasst werden?
- IV.3 Können im Bereich des Neubaus neue Gründungselemente hinzugefügt werden? (Ersteinschätzung)
- IV.4 Kann eine neue Gründung hergestellt werden?
- Können im Weg stehende Bereiche der Bestandsplatte im Baugrund verbleiben ohne die Funktion der neuen Gründung zu gefährden?
 - Können im Weg stehende Bereiche der Bestandsplatte oder sonstige Hindernisse entfernt werden und können im Bereich der entfernten Bestandsplatte tragfähige neue Gründungselemente hergestellt werden?
- IV.5 Überprüfung des Neubauentwurfes
- Aufbauend auf den bisher vorliegenden Erkenntnissen zu der Bestandsplatte, wird die Machbarkeit des Neubauentwurfs überprüft und eine Anpassung vorgenommen.
- IV.6 Wird die Wiedernutzung der Bestandplatte vom Bauherrn und den Planern gewünscht bzw. akzeptiert?
- Besteht die Bereitschaft zur Übernahme der finanziellen und bauzeitlichen Risiken?
 - Ist eine Regelung zur Gewährleistung für den Neubau auf der Bestandsplatte möglich?
 - Welche finanziellen, technischen und rechtlichen Randbedingungen bestehen für den Neubau?
 - An dieser Stelle werden die voraussichtlichen konkreten Vor- und Nachteile der Wiedernutzung von der Bestandsplatte erörtert.

- IV.7 Ist nach einer vertieften und umfassenden Recherche die Wiedernutzung der Bestandsplatte dem Grunde nach möglich?
- Durchführung einer Recherche auf Basis von Altdokumenten ohne die Durchführung weiterer Untersuchung.
 - Alle verfügbaren Altdokumente zu der Bestandsplatte und dem Baugrund werden zusammengetragen und erfasst.
 - Einschätzung, ob eine Wiedernutzung dem Grunde nach möglich ist.
- IV.8 Prüfung der Bestandsplatte für die Wiedernutzung. Dafür kann das Diagramm V Prüfablauf Bestandsplatte verwendet werden.
- Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Recherche wird ein Untersuchungsprogramm umgesetzt, dass die Fortführung des Planungsprozesses ermöglicht.
 - Bei noch vorhandenem und ggf. im Betrieb befindlichen Bestandsgebäuden sind folgende Untersuchungen möglich: Schürfe, Bohrungen neben dem Gebäude zur Baugrunderkundung, Kernbohrungen zur Untersuchung des Plattenmaterials.
 - Wenn das Bestandsgebäude bereits abgerissen wurde, sind zusätzlich folgende Untersuchungen möglich: Freilegung und Einmessung der gesamten Platte, Bohrungen im Bereich der Grundfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen.
 -
- IV.9 Ist nach einer (ersten) Prüfung der Bestandsplatte eine Wiedernutzung möglich?
- Durchführung einer ersten abschätzenden Berechnung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.
 - Ausgehend von den Ergebnissen der Prüfung, wird eine Einschätzung über die Wiedernutzung der Bestandsplatte erstellt.
- IV.10 Detaillierte Baugrunderkundung nach DIN EN 1997-2 und DIN 4020
- IV.11 Ist nach einer Variantenstudie die Wiedernutzung der Bestandsplatte vorteilhaft?
- Unter Berücksichtigung der bisher über die Bestandsplatte vorliegenden Erkenntnisse, wird eine Variantenstudie durchgeführt und anhand der bereits unter IV.4 identifizierten Kriterien bewertet.
- IV.12 Planung einer Gründung mit Bestandsplatte
- Der Abriss wird so geplant, dass die Bestandsplatte möglichst nicht beschädigt wird.
 - Der Umfang, der an der Bestandsplatte durchzuführenden Untersuchungen, wird festgelegt.
- IV.13 Prüfung der Planung nach dem 4-Augen Prinzip
- Prüfung der Planung durch einen Prüfsachverständigen und den Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht und entsprechend der gültigen Länderbauordnung.

- IV.14 Bestätigen die Untersuchungen, während der Abbruch- bzw. der Bauzeit, die Entwurfsannahmen?
- Freilegung und Einmessung der gesamten Platte, Bohrungen im Bereich der Grundfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen während des Abrisses.
- IV.15 Kann eine modifizierte Nutzung der Bestandsplatte erfolgen?
- Kann die Lasteinleitung in die Bestandsplatte angepasst werden?
 - Können zusätzliche Gründungselemente hinzugefügt werden?
 - Befindet sich die Lastabtragung im Wiederbelastungsbereich? (Bei einer Gründung auf alten und neuen Gründungselementen ist zu beachten, dass die Lastabtragung über die Altfundamente i.d.R. im Wiederbelastungsbereich, für die Neufundamente i.d.R. aber im Erstbelastungsbereich stattfindet. Das führt bei gleicher Beanspruchung zu unterschiedlichen Setzungen.)
- IV.16 Modifizierte Planung einer Gründung mit Bestandsplatte
- IV.17 Planung einer neuen Gründung
- Abriss der Bestandsfundamente.
 - „Konventionelle“ Planung der Gründung.
- IV.18 Wiedernutzung der Bestandsplatte, evtl.: Herstellung zusätzlicher neuer Gründungselemente und/ oder Ertüchtigung bestehender Gründungselemente (s. Kapitel 6).
- IV.19 Herstellung einer neuen Gründung
- Zur Herstellung der neuen Gründung kann es erforderlich sein, die Bestandsplatte ganz oder teilweise zu entfernen.
 - Die Bestandsplatte darf den Neubau nicht beeinträchtigen.
 - Um Lasten in die neuen Gründungskörper zu leiten, sind ggf. Überbrückungskonstruktionen erforderlich.
- IV.20 Herstellung des Neubaus

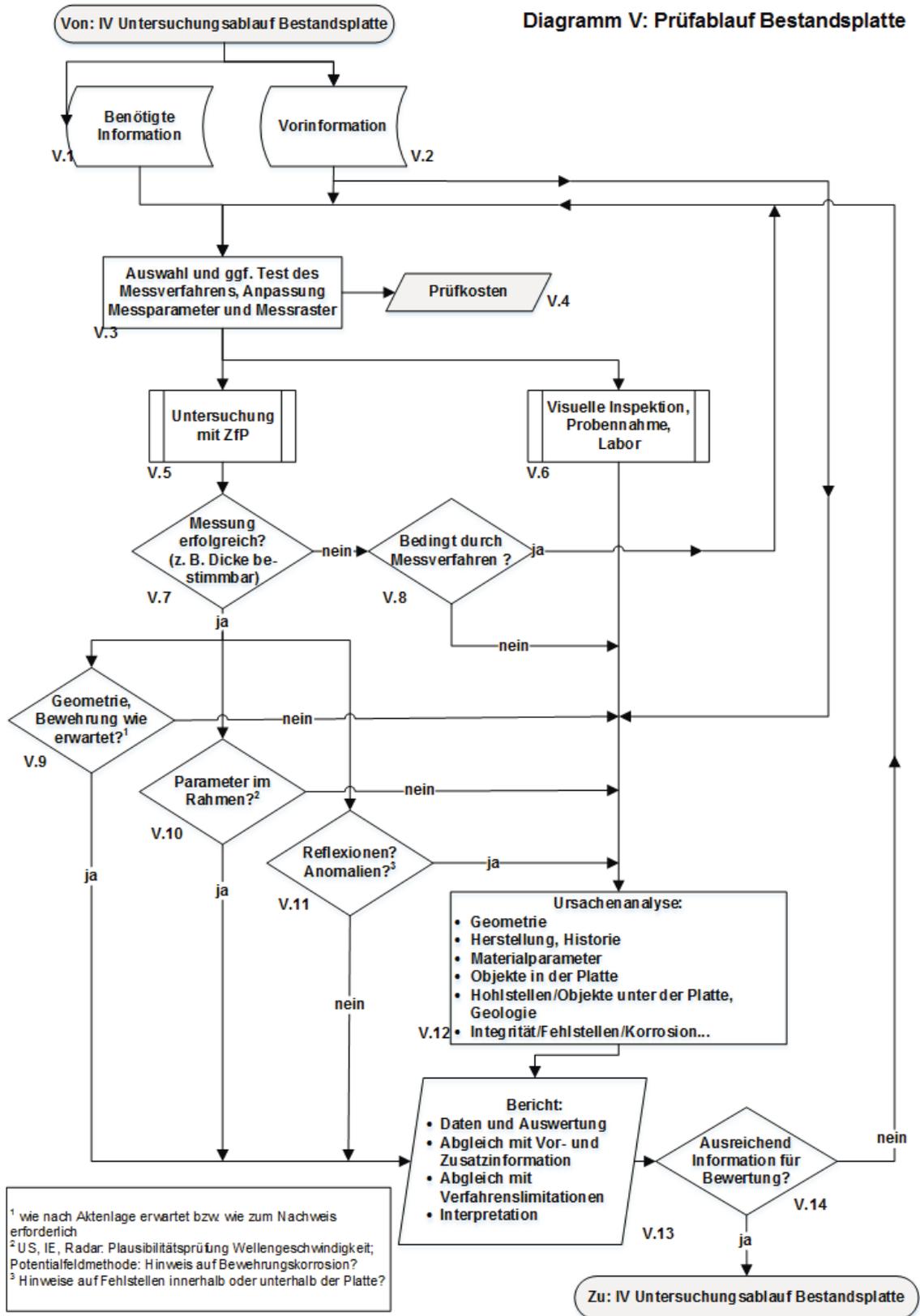


Diagramm V Prüfablauf Fundamentplatte.

- V.1 Welche Informationen werden für die Bewertung benötigt? Was sind die Ziele der Prüfung?
- V.2 Welche Informationen liegen bereits vor?
- Die vorliegenden Informationen aus Bestandsunterlagen
 - Begehungen und Voruntersuchungen sowie das geotechnische Gutachten sind dem Prüfer zur Verfügung zu stellen.
- V.3 Erstellen eines Messkonzepts
- Welche Methoden sind geeignet, um die in V.1 definierten Ziele zu erreichen?
 - Was ist der notwendige Umfang der Untersuchungen?
 - Kalkulation der Prüfkosten (V.4), Rückmeldung an Planer für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- V.5 Untersuchung mit ZfP
- Zu Möglichkeiten und Grenzen siehe Kapitel 4.3
- V.6 Visuelle Inspektion, Probennahme, Labor
- Bestätigung der Geometrie
 - Bestimmung von Materialparametern
 - Ist die Dauerhaftigkeit gewährleistet?
 - Ggf. werden die Ergebnisse auch zur Kalibrierung von ZfP-Messungen genutzt
- V.7 Messerfolg der ZfP Benötigte Parameter aus Messung bestimmbar?
- Wenn ja, weiter mit Auswertung
 - Wenn nein, Modifizierung des Messkonzepts oder Ersatz durch direkte Untersuchungen
 - Wenn nein, aber das Verfahren war geeignet: keine Einzel- oder Streifenfundamente am vermuteten Ort vorhanden
- V.9, V.10, V.11 Untersuchung mit ZfP (siehe Kapitel 4.3)
- V.9 Geometrie der Platte wie erwartet, hinreichende Bewehrung? Übereinstimmung mit Bestandsplänen?
 - V.10 Ableitung von Hinweisen aus ZfP auf Materialparameter
 - V.11 Ableitung von Hinweisen aus ZfP auf Fehlstellen
- V.12 Auswertung und Interpretation der Befunde, Ursachenanalyse im Bezug auf:
- Geometrie
 - Materialparameter
 - Dauerhaftigkeit
 - Fehlstellen
- V.13 Bericht und Dokumentation

V.14 Dialog mit dem Planer: sind ausreichend Information für die Bewertung der Gründung und für eine Wiedernutzungsentscheidung vorhanden?

- Wenn ja, Ende der Untersuchung
- Wenn nein, vertiefte Untersuchung

5.2.3 Pfahlgründungen

Bild 30 zeigt typische Untersuchungen an einer Pfahlgründung. Diagramm VI beschreibt den Ablauf der Untersuchung von Bestandspfählen auf Wiedernutzbarkeit. Diagramm VII zeigt den zugehörigen Prüfablauf vor Ort.



Bild 30 Untersuchung mit der Low-Strain-Integritätsprüfung an Pfählen unter einem Mastfundament. Die notwendige Freilegung war in diesem Fall nur mit Wasserhaltung möglich. Details zu diesem Projekt siehe Anlage 4. Foto: BAM.

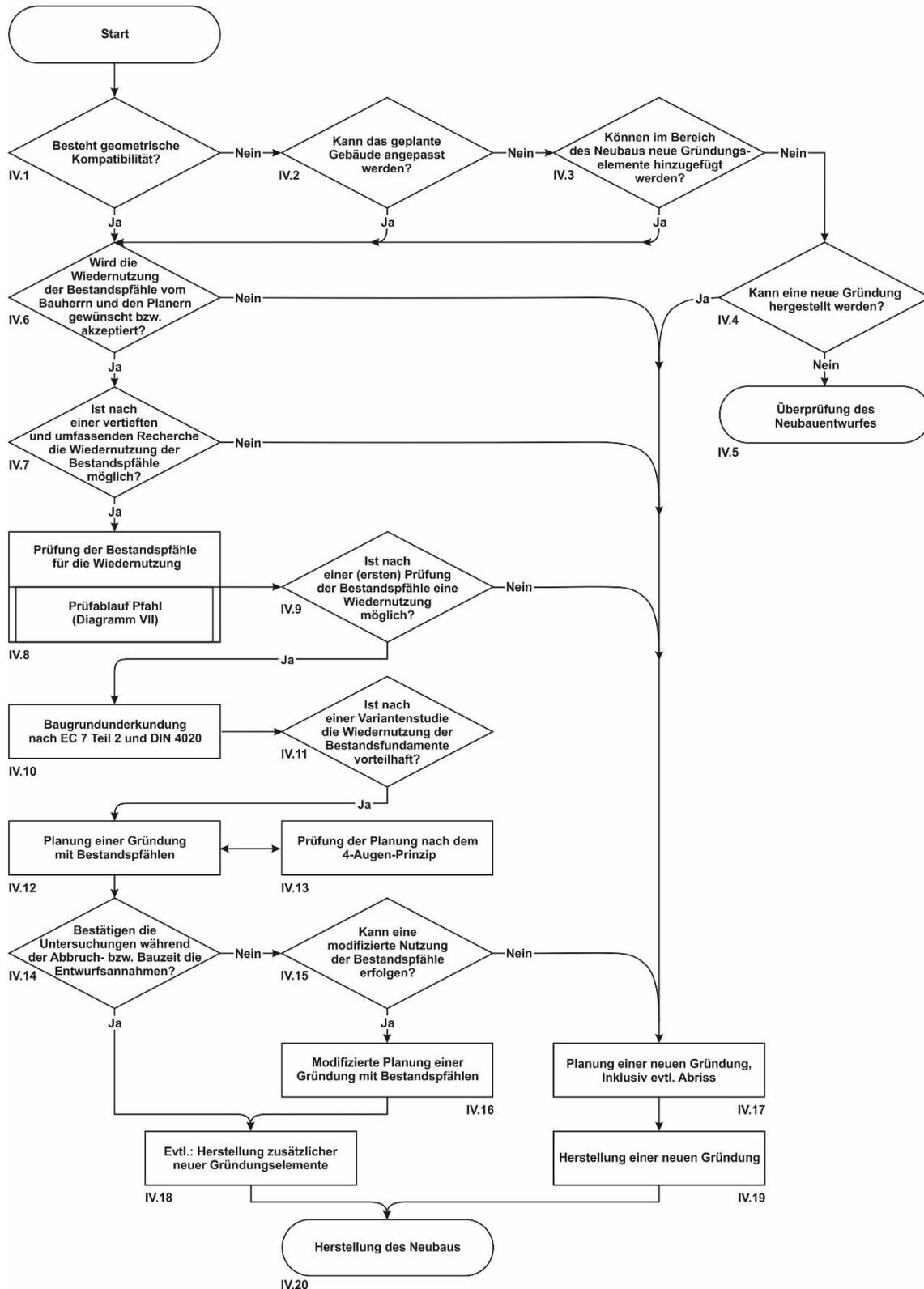


Diagramm VI Untersuchungsablauf Pfahlgründungen.

- VI.1 Bestehen geometrische Kompatibilität und ein vergleichbares Lastniveau? (Ersteinschätzung)
- Sind in den neuen voraussichtlichen Lasteinleitungsbereichen des Neubaus Bestandspfähle vorhanden? Hierzu ist die Lage der Bestandspfähle anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
 - Passt die Tiefenlage der Bestandspfähle voraussichtlich zum Neubau? Hierzu ist die Tiefenlage und Länge der Bestandspfähle anhand von vorhandenen Unterlagen etc. zu klären.
 - Sind die bisher in die Bestandspfähle eingeleiteten Lasten mit den voraussichtlichen Lasten infolge des Neubaus vergleichbar?
- VI.2 Kann das geplante Gebäude angepasst werden? (Ersteinschätzung)
- Kann die Lage des Neubaus auf dem Grundstück an die Bestandspfähle angepasst werden?
 - Kann die Tiefenlage des Neubaus an die Bestandspfähle angepasst werden?
 - Kann der Tragwerksentwurf des Neubaus an die Positionen der Bestandspfähle angepasst werden?
- VI.3 Können im Bereich des Neubaus neue Gründungselemente hinzugefügt werden? (Ersteinschätzung)
- Ist für neue zusätzliche Gründungselemente Platz zwischen oder neben den Bestandspfählen vorhanden?
- VI.4 Kann eine neue Gründung hergestellt werden?
- Können im Weg stehende Bestandspfähle im Baugrund verbleiben, ohne die Funktion der neuen Gründung zu gefährden?
 - Können im Weg stehende Bestandspfähle oder sonstige Hindernisse entfernt werden und können im Bereich des entfernten Bestandspfahls tragfähige neue Gründungselemente hergestellt werden?
- VI.5 Überprüfung des Neubauentwurfes
- Aufbauend auf den bisher vorliegenden Erkenntnissen zu den Bestandspfählen, wird die Machbarkeit des Neubauentwurfs überprüft und eine Anpassung vorgenommen.

- VI.6 Wird die Wiedernutzung der Bestandspfähle vom Bauherrn und den Planern gewünscht bzw. akzeptiert?
- Besteht die Bereitschaft zur Übernahme der finanziellen und bauzeitlichen Risiken?
 - Ist eine Regelung zur Gewährleistung für den Neubau auf Bestandspfählen möglich?
 - Welche finanziellen, technischen und rechtlichen Randbedingungen bestehen für den Neubau?
 - An dieser Stelle werden die voraussichtlichen konkreten Vor- und Nachteile der Wiedernutzung von den Bestandspfählen erörtert.
- VI.7 Ist nach einer vertieften und umfassenden Recherche die Wiedernutzung der Bestandspfähle dem Grunde nach möglich?
- Alle verfügbaren Altdokumente zu den Bestandspfählen und dem Baugrund werden zusammengetragen und erfasst.
 - Durchführung einer Recherche auf Basis der bereits vorhandenen Unterlage, ohne die Durchführung weiterer Untersuchung.
 - Einschätzung ob eine Wiedernutzung dem Grunde nach möglich ist.
- VI.8 Prüfung der Bestandspfähle für die Wiedernutzung. Dafür kann das Diagramm VII Prüf- ablauf Pfahlgründungen verwendet werden.
- Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Recherche wird ein Untersuchungspro- gramm umgesetzt, dass die Fortführung des Planungsprozesses ermöglicht.
 - Bei noch vorhandenem und ggf. im Betrieb befindlichen Bestandsgebäude sind fol- gende Untersuchungen möglich: Schürfe zur Freilegung einzelner Pfahlköpfe, Integ- ritätstest von den Pfahlköpfen aus, Bohrungen neben dem Gebäude zur Baugrunder- kundung und Durchführung der Parallel-Seismik-Methode, Kernbohrungen zur Un- tersuchung des Pfahlmaterials, Pfahlprobelastungen unter Nutzung des Gebäude- eigengewichtes.
 - Wenn das Bestandsgebäude bereits abgerissen wurde, sind zusätzlich folgende Un- tersuchungen möglich: Freilegung und Einmessung aller Pfahlköpfe, Pfahlprobebe- lastungen, Bohrungen im Bereich der Grundfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen.
 -
- VI.9 Ist nach einer (ersten) Prüfung der Bestandsplatte eine Wiedernutzung möglich?
- Durchführung einer ersten abschätzenden Berechnung der Tragfähigkeit und der Ge- brauchstauglichkeit.
 - Ausgehend von den Ergebnissen der Prüfung wird eine Einschätzung über die Wie- dernutzung der Bestandspfähle erstellt.
- VI.10 Baugrunderkundung nach DIN EN 1997-2 und DIN 4020

- VI.11 Ist nach einer Variantenstudie die Wiedernutzung der Bestandspfähle vorteilhaft?
- Unter Berücksichtigung der bisher über die Bestandspfähle vorliegenden Erkenntnisse wird eine Variantenstudie durchgeführt und anhand der bereits unter IV.4 identifizierten Kriterien bewertet.
- VI.12 Planung einer Gründung mit Bestandspfählen
- Der Abriss wird so geplant, dass die Bestandspfähle möglichst nicht beschädigt werden.
 - Der Umfang der an den Bestandspfählen durchzuführenden Untersuchungen wird festgelegt.
- VI.13 Prüfung der Planung nach dem 4-Augen Prinzip
- Prüfung der Planung durch einen Prüfsachverständigen und den Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht und entsprechend der gültigen Länderbauordnung.
- VI.14 Bestätigen die Untersuchungen während der Abbruch- bzw. der Bauzeit die Entwurfsannahmen?
- Freilegung und Einmessung aller Pfahlköpfe, Pfahlprobelastungen, Bohrungen im Bereich der Grundfläche des Bestandsgebäudes, Hebungsmessungen während des Abrisses.
- VI.15 Kann eine modifizierte Nutzung der Bestandspfähle erfolgen?
- Kann die Lasteinleitung in die Bestandspfähle angepasst werden?
 - Können zusätzliche Gründungselemente hinzugefügt werden?
 - Befindet sich die Lastabtragung im Wiederbelastungsbereich? (Bei einer Gründung auf alten und neuen Gründungselementen ist zu beachten, dass die Lastabtragung über die Altfundamente i.d.R. im Wiederbelastungsbereich, für die Neufundamente i.d.R. aber im Erstbelastungsbereich stattfindet. Das führt bei gleicher Beanspruchung zu unterschiedlichen Setzungen.)
- VI.16 Modifizierte Planung einer Gründung mit Bestandspfählen
- VI.17 Planung einer neuen Gründung
- VI.18 Wiedernutzung der Bestandspfähle, evtl.: Herstellung zusätzlicher neuer Gründungselemente und/ oder Ertüchtigung bestehender Gründungselemente (s. Kapitel 6).

VI.19 Herstellung einer neuen Gründung

- Zur Herstellung der neuen Gründung kann es erforderlich sein, die Bestandspfähle ganz oder teilweise zu entfernen.
- Die Bestandspfähle dürfen den Neubau nicht beeinträchtigen.
- Um Lasten in die neuen Gründungskörper zu leiten, sind ggf. Überbrückungskonstruktionen erforderlich.

VI.20 Herstellung des Neubaus

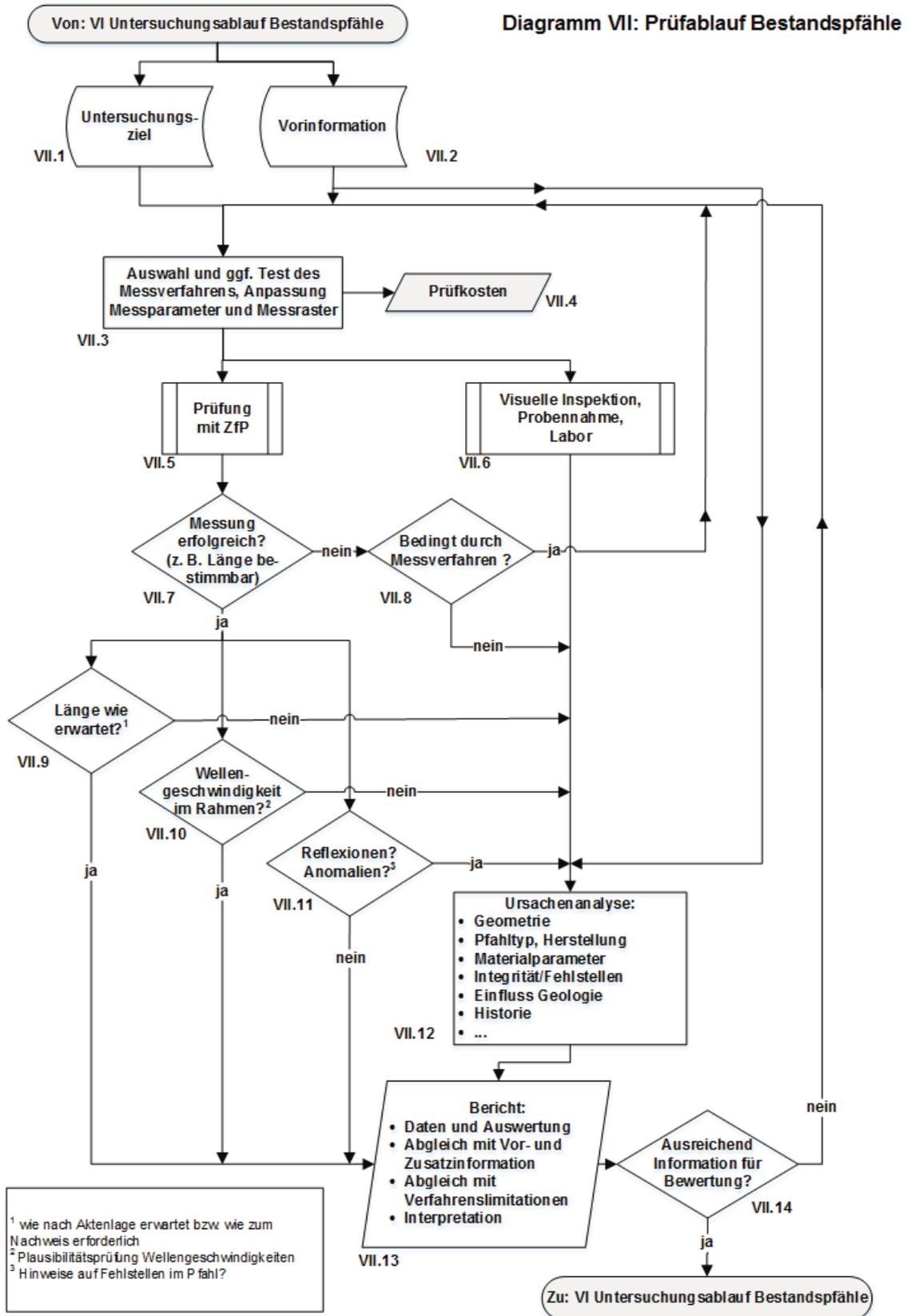


Diagramm VII Prüfablauf Pfahlgründungen.

- VII.1 Welche Informationen werden für die Bewertung benötigt? Ziele der Prüfung?
- VII.2 Welche Informationen liegen bereits vor?
- Informationen aus Bestandsunterlagen
 - Informationen aus Begehung, Voruntersuchungen
- VII.3 Erstellen eines Messkonzepts
- Welche Methoden sind geeignet, um die in VII.1 definierten Ziele zu erreichen?
 - Notwendiger Umfang der Untersuchungen?
 - Kalkulation der Prüfkosten (VII.4), Rückmeldung an Planer, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- VII.5-VII.7 Untersuchung mit ZfP
- Zu Möglichkeiten und Grenzen siehe Kapitel 4.3
- VII.8 Visuelle Inspektion, Probennahme, Labor
- Bestätigung der Geometrie
 - Bestimmung von Materialparametern
 - Ist die Dauerhaftigkeit gewährleistet?
 - Ggf. werden die Ergebnisse zur Kalibrierung von ZfP-Messungen genutzt.
- VII.9 Messerfolg: Sind die benötigten Parameter aus den Messungen bestimmbar?
- Wenn ja, weiter mit Auswertung
 - VII.10 Wenn nein, bedingt durch ungeeignetes Messverfahren?
 - Wenn ja, Modifizierung des Messkonzeptes
 - Wenn nein, Ersatz durch direkte Untersuchungen
- VII.11-VII.13 Untersuchung mit ZfP
- VII.11 Ist die Länge der Pfähle wie erwartet? Übereinstimmung mit den Bestandsplänen?
 - VII.12 Sind die ermittelten Wellengeschwindigkeiten plausibel? Ergeben sich daraus Hinweise auf Anomalien in den Materialparametern?
 - VII.13 Gibt es Hinweise aus der ZfP auf Fehlstellen?
- VII.14 Auswertung und Interpretation der Befunde, Ursachenanalyse in Bezug auf:
- Geometrie
 - Materialparameter
 - Dauerhaftigkeit
 - Fehlstellen
- VII.15 Bericht und Dokumentation

VII.16 Dialog mit Planer: Sind ausreichend Information für die Bewertung der Gründung und für eine Wiedernutzungsentscheidung vorhanden?

- Wenn ja, Ende der Untersuchung
- Wenn nein, Vertiefte Untersuchung

3. Anforderungen an die Dokumentation der Untersuchungen

Die Dokumentation der Untersuchung der Bestandsfundamente erfolgt entsprechend der Vorgaben der DIN EN 1997-2 für den geotechnischen Untersuchungsbericht. Diese enthält alle verfügbaren geotechnischen und bauwerkspezifische Informationen, sowie Hinweise über die geologischen Verhältnisse und weitere maßgebenden Angaben. Außerdem erfolgt eine Bewertung der vorliegenden Informationen und der gewonnenen Erkenntnisse.

Anschließend erfolgt eine Interpretation der Messergebnisse unter Angabe der getroffenen Annahmen. Die Dokumentation muss so ausführlich sein, dass die verwendeten Annahmen und die daraufhin getroffenen Entscheidungen, langfristig nachvollziehbar bleiben.

6 Sanierung und zusätzliche Gründungselemente

Die Umsetzung der Wiedernutzung von Bestandsfundamenten ist i.d.R. mit Ertüchtigungsmaßnahmen verbunden. Eine gegebenenfalls notwendige Betonsanierung (z. B. bei Bewehrungskorrosion) erhöht i. d. R. nicht die Tragfähigkeit, sondern gewährleistet nur eine hinreichende Dauerhaftigkeit der Gründung. Für eine Betonsanierung geben die Rili-SiB und die ZTV-Ing ausreichend Hinweise.

Im Nachfolgenden werden drei typische Konzepte zur Wiederherstellung oder Erhöhung der Tragfähigkeit der Gründung stichwortartig erläutert.

1. Vorspannbare Stabverpresspfähle (SVV)

Vorspannbare Stabverpresspfähle ermöglichen wegen der Vorspannung eine besonders setzungsarme, respektive setzungsfreie Nachgründung. Mit dem SVV-Pfahl können auch ganze Gebäude oder auch nur Gebäudeteile gezielt angehoben und Gebäudeschiefstellungen damit rückgängig gemacht werden. Der SVV-Pfahl wird in zwei Systemen ausgeführt, und zwar

- als Verbundpfahl nach DIN 14199, der die Last über Mantelreibung in den Baugrund einleitet und
- als Pfahl mit Fußaufweitung (Kugelfuß), der die Last im Wesentlichen als Spitzendruckpfahl in den Baugrund einleitet (Bild 31).

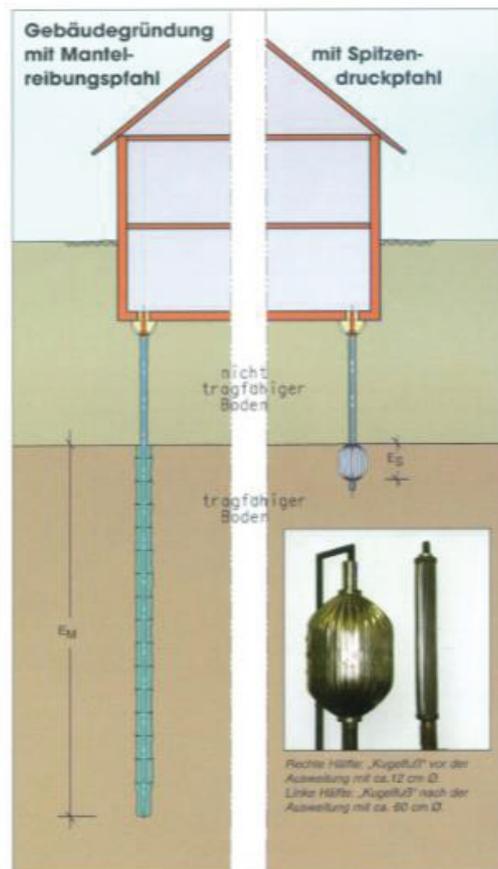


Bild 31 Vorspannbarer Stabverpresspfahl

2. Press- oder Segmentpfähle

Für die Herstellung der Press- oder Segmentpfähle sind keine Bohrarbeiten erforderlich. Zum Einpressen des Pfahles wird entweder unter oder neben dem Fundament ein Raum für die Presse geschaffen. Die Presse stützt sich beim Einpressvorgang des Pfahles dann entweder gegen das Fundament oder gegen die Deckenkonstruktion ab (Bild 32).

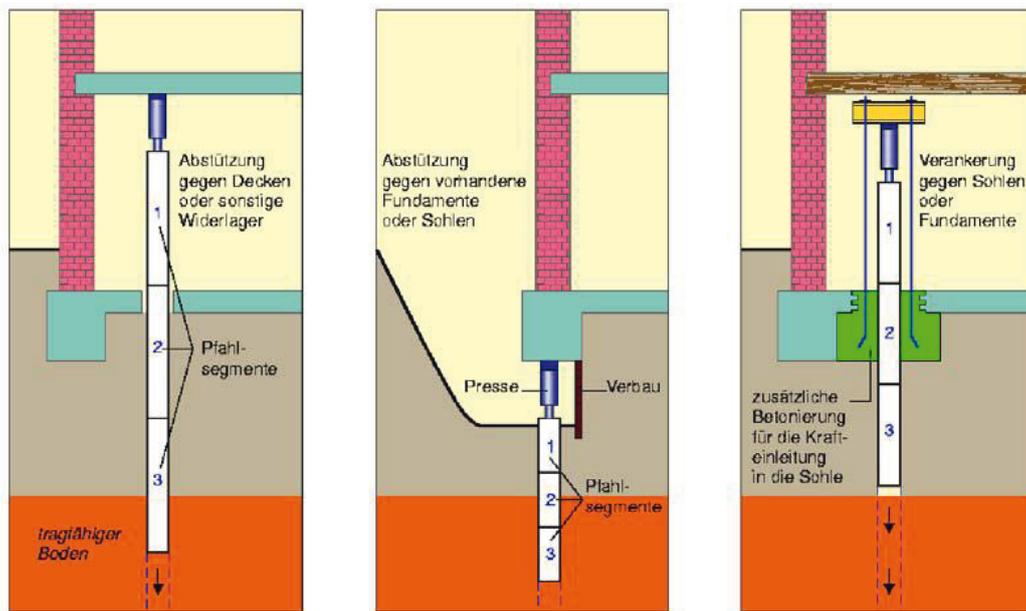


Bild 32 Schemaskizze für die Anwendung von Press-/ Segmentpfählen

Bild 33 zeigt einen Segmentpfahl vor dem Ausbetonieren in der, unter dem Fundament hergestellten Presskammer, bei der Grundinstandsetzung des Residenzschloss Darmstadt.



Bild 33 Segmentpfähle in der unter dem Fundament hergestellten Presskammer

3. Düsenstrahlverfahren

Das Düsenstrahlverfahren (DSV) kann eingesetzt werden um Unterfangungen herzustellen, aber auch um Schiefstellungen und Setzungen rückgängig zu machen. Dieses Verfahren ist in der DIN 12716 genormt. Beim Düsenstrahlverfahren werden Injektionslanzen in den Baugrund einge-

bracht. Anschließend wird der umliegende Boden durch einen Schneidstrahl erodiert. Der erodierte Boden vermischte sich mit der eingebrachten Suspension, wobei eine Bodenverbesserung entsteht.

Es wird zwischen dem Single-, Double- und Triple-Verfahren unterschieden. Das Single Verfahren setzt den Suspensionsstrahl gleichzeitig zum Schneiden und Verfestigen ein. Dieses Verfahren eignet sich besonders für kleine und mittlere Säulendurchmesser.

Das Erstellen von Lamellenwänden, Unterfangungen oder Dichtsohlen erfolgt hingegen mit dem Double- oder Triple-Verfahren. Beim Double-Verfahren wird der Suspensionsstrahl ebenso zum Schneiden und Verfestigen des Bodens eingesetzt. Um eine größere Reichweite und höhere Austrittsgeschwindigkeit zu erzielen, wird dieser jedoch mit einem Luftring ummantelt.

Beim Triple-Verfahren wird der Boden durch einen zusätzlichen luftummantelten Wasserstrahl erodiert. Das Einbringen der Suspension erfolgt mit einer zweiten Düse und einem geringeren Druck als beim Single oder Double-Verfahren

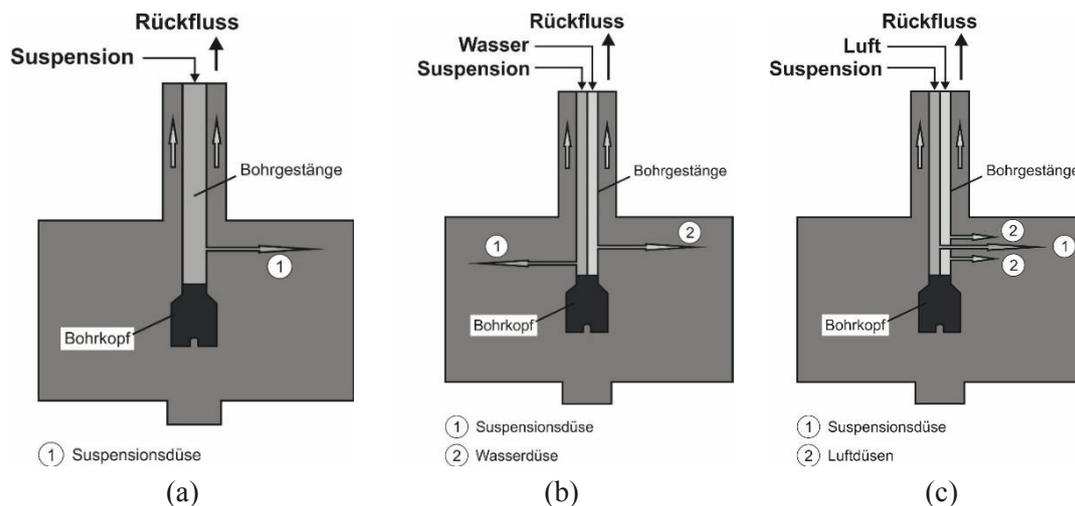


Bild 34 Single-, Double und Triple-Verfahren beim DSV

DSV-Elemente können mit einem Durchmesser von 0,8 m bis 5 m hergestellt werden und sind für die meisten Bodenarten geeignet. Ein weiterer Vorteil besteht in der geringen Gerätegröße.

7 Schlussbemerkungen und Ausblick

Das vorliegende Handbuch dient als Grundlage für die Planung und Durchführung von Projekten zur Weiter- und Wiedernutzung von Fundamenten. Primäre Ziele sind, Unsicherheiten zu reduzieren, den Projektablauf sinnvoll zu gliedern und die Kommunikation und die Aufgabenverteilung zwischen den Beteiligten zu erleichtern. Dies soll den technischen und ökonomischen Erfolg sichern und der Nachhaltigkeit dienen.

Die Autoren sind sich bewusst, dass sich die Komplexität realer Vorhaben nicht vollständig in ein Schema pressen lässt. Bauwerke und ihre Historie sind stets Einzelfälle. Anwenderinnen und Anwender sollten daher Planung und Untersuchung flexibel an die Erfordernisse anpassen.

Das Handbuch kann nur den momentanen Stand der Technik, sowie die aktuellen Normen und Regelwerke abbilden. Die Normung wird laufend fortgeschrieben, so dass die Nutzerinnen und Nutzer des Handbuches für ihr Projekt zu prüfen haben, ob die hier genannten Referenzen noch aktuell sind. Die technische Entwicklung, insbesondere bei der zerstörungsfreien Prüfung, bleibt ebenfalls nicht stehen. So wird beispielsweise an Geräten für die spektroskopische Analyse von Baustoffen vor Ort ebenso gearbeitet, wie an Ultraschallapparaturen, mit denen auch Betonplatten von mehreren Metern Dicke durchschallt werden können.

Dies macht eine Fortschreibung des Handbuches nach einigen Jahren sinnvoll. Dafür wäre die Einbeziehung von Praxiserfahrungen besonders wertvoll. Die Autoren würden sich über die Einsichten von Nutzerinnen und Nutzern freuen.

8 Danksagung

Die Arbeit an diesem Handbuch geschah im Rahmen des Forschungsprojekts REFUND (Juli 2014 – Juli 2016). Dieses wurde durch das Bundesamt für Bau- und Raumordnung (BBR) im Programm „Zukunft Bau“ gefördert. Die Autoren danken Frau Wencke Haferkorn und Herrn Dr. Michael Brüggemann für die Zusammenarbeit. Den Mitgliedern des externen Arbeitskreises, Herrn Dr. Karl Morgen (WTM, Hamburg) und Herrn Prof. Dr. Joachim Stahlmann (TU Braunschweig), sei für ihre Begleitung und ihr Feedback gedankt.

Außer den Autoren haben eine Vielzahl von Kolleginnen und Kollegen wesentlich zum Gelingen beigetragen. Genannt seien an dieser Stelle Frau Nina Sankat (BAM) und Dr. Fabian Kirsch (GuD Consult, Berlin) ...

9 Literaturverzeichnis

- Burch, S. (1984): Ultrasonic synthetic aperture focusing using planar pulse-echo transducers. In: *Ultrasonics* 22 (6).
- Butcher, A. P.; Powell, J. J. M.; Skinner, H. D. (2006): Reuse of foundations for urban sites. A best practice handbook. Bracknell: IHS BRE Press.
- Goldscheider, Michael; Eckert, Hannes (2003): Baugrund und historische Gründungen. Untersuchungen, Beurteilen, Instandsetzen. Universität Karlsruhe (Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke).
- Kind, T.; Maierhofer, C. (2004): Das Impulsradarverfahren - ein Verfahren zur zerstörungsfreien Strukturaufklärung in Bauwerken. In: Erich Cziesielski (Hg.): *Bauphysik-Kalender*. 2004. Berlin: Ernst, Wilhelm & Sohn, S. 333–341.
- Klingmüller, O.; Mayer, C.; Schallert, M.: Thermal Integrity Profiling – ein neues Verfahren zur Integritätsprüfung von Ortbetonpfählen. *Messen in der Geotechnik*. Braunschweig.
- Klingmüller, Oswald; Kirsch, Fabian: A Quality and Safety Issue for Cast-in-Place Piles - 25 Years of Experience with Low-Strain Integrity Testing in Germany: From Scientific Peculiarity to Day-to-Day Practice. In: Jerry A. DiMaggio und Mohamad H. Hussein (Hg.): *Contributions in Honor of George G. Gobel*. Los Angeles, California, United States, July 27-31, 2004, S. 202–221.
- Krause, M. (2004): Ultraschallechoverfahren an Betonbauteilen. In: Erich Cziesielski (Hg.): *Bauphysik-Kalender*. 2004. Berlin: Ernst, Wilhelm & Sohn, S. 341–352.
- Krause, Martin; Borchardt, Kerstin (2012): Kosteneinsparung durch Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren für Betonbauteile beim Bauen im Bestand. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (Bauforschung für die Praxis, 101).
- Krautkrämer, Josef; Krautkrämer, Herbert (1986): *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*. Fünfte, völlig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Langenberg, Karl-Jörg; Marklein, René; Mayer, Klaus (2010): *Theoretische Grundlagen der zerstörungsfreien Materialprüfung mit Ultraschall*. München: Oldenbourg.
- Niederleithinger, E.; Klingmüller, O.; Schallert, M.; Bobbe, A. (2010): Quality assurance of a secant pile wall using three different non-destructive test methods. In: V. P. Petrukhin (Hg.): *Geotechnical challenges in megacities. Proceedings of the International Geotechnical Conference, Moscow, 7-10 June 2010, Bd. 3*. Moscow: GRF, S. 1131–1136.
- Olson, L.D.; Aouad, M.F. (2001): *Unknown Subsurface Bridge Foundation Testing*. Hg. v. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council. unveröffentlicht.
- Powell, J.J.M.; Brown, M.J. (2006): Statnamic pile testing for foundation reuse. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 223–236.

- Powell, J.J.M.; Skinner, H. (2006): Capacity changes of bored piles with time. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 237–248.
- Quick, H.; Katzenbach, R.; Richter, T.; Savidis, S. (1996): Reichstag Berlin: Baugrund-Tragwerk-Interaktion bei der Gründungsertüchtigung der Holzpfehlgründung. In: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hg.): Vorträge der 24. Baugrundtagung in Berlin. Essen, S. 115–128.
- Recommendations of RILEM TC-154-EMC. "Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion" Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method (2004). In: *Mater. Struct.* 37 (273), S. 623–643.
- Reynolds, John M. (2011): An introduction to applied and environmental geophysics. 2nd ed. Chichester, UK: Wiley-Blackwell.
- Samokrutov, A.: Ultrasonic Instruments for imaging of concrete. Präsentation: Division 8.2 - Non-Destructive Damage Assessment and Environmental Measurement. Federal Institute for Materials Research and Testing.
- Seydel, J. (1982): Ultrasonic syntheticaperture focusing techniques in NDT. In: R.S. Sharp (Hg.): Research Techniques in Nondestructive Testing. London: Academic Press, S. 1–47.
- Taffe, Alexander; Wiggenhauser, Herbert (2005): Zerstörungsfreie Zustandsermittlung und Qualitätssicherung in der Betoninstandsetzung. In: *BUST 100 (S1)*, S. 2–14.
- Reinhardt. (2007). Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zusandsuntersuchung von Betonbauteilen. In *Betonkalender 2007: Schwerpunkte Verkehrsbauten, Flächentragwerke* (S. 479-595). Berlin: Ernst & Sohn.

TU München: ZfP-Wiki - Feuchtemessung im Hochbau mit dem Schwerpunkt Fußbodenkonstruktionen, http://zfp.cbm.bgu.tum.de/mediawiki/index.php/Feuchtemessung_im_Hochbau_mit_dem_Schwerpunkt_Fußbodenkonstruktionen, zuletzt abgerufen 27.11.2016.

Regelwerke

- ASTM C 876:2009:** American Society for Testing and Materials (ASTM), Bestimmung des Halbzellenpotentials von unumhülltem Betonstahl in Beton
- ∴ DAFStb Belastungsversuche:2000-09: DAFStb-Richtlinie Belastungsversuche an Betonbauwerken, DAFStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V/Beuth-Verlag.

DAfStb Betonbauteile:2001-10 (auch: Instandsetzungs-Richtlinie, RL SIB), DAfStb-Richtlinie - Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), inkl. Berichtigungen 2002-01/2005-12/2014-06, DAfStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V./Beuth-Verlag.

DAfStb-Heft 612: Bestimmung und Bewertung des elektrischen Widerstands von Beton mit geophysikalischen Verfahren, DAfStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V./Beuth-Verlag.

DAfStb-Heft 621: [Zur Verwertbarkeit von Potentialfeldmessungen für die Zustandserfassung und -prognose von Stahlbetonbauteilen – Validierung und Einsatz im Lebensdauermanagement](#), DAfStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V./Beuth-Verlag.

DBV-Merkblatt zerstörungsfreie Prüfverfahren: Deutscher Beton- und Bautechnikverein e.V. (DBV), Merkblatt Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, (2014) http://www.betonverein.de/schriften/merkblatt_bautechnik.php.

DGZfP B02: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen, Merkblatt B10 (2014)

DGZfP B03: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion, Merkblatt B03 (2014)

DGZfP B04: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile, Merkblatt B04 (1999, in Überarbeitung)

DGZfP B06: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, Merkblatt B06 (1996)

DGZfP B10: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, Merkblatt B10 (2008)

DGZfP B11: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur Zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen, Merkblatt B11 (2011)

EA-Pfähle: Empfehlungen es Arbeitskreises „Pfähle“ Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 2. Aufl., Berlin: Ernst, 2013.

DIN 1054:2010-12 Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 1076:1999-11, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 1997-1:2014-03, Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 1997-2:2010-10, Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

DIN 4020:2010-12 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 4030:1991-1, Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN).

DIN EN 12390-3:2009-07, Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN).

[DIN EN 12390-5:2009-07](#), Prüfung von Festbeton - Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN).

[DIN EN 12390-6:2010-09](#), Prüfung von Festbeton - Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN).

DIN EN 12504-2:2012-12 Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 12716:2001-12 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 13791:2008-05 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN ISO 13793:2003-12, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Wärmetechnische Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebung, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 14199:2015-07 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 14630:2007-01 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 18195-9:2010-05 Bauwerksabdichtungen - Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

FGSV 443 A: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Arbeitspapier - Anwendung des Georadars zur Substanzbewertung von Straßen. Teil A: Bestimmung von Schichtdicken des Oberbaus von Verkehrsflächenbefestigungen mit dem Georadar-Impulssystem.

RILEM TC 154-EMC: Recommendations of RILEM TC 154-EMC: Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion Half-cell potential measurements - Potential mapping on reinforced concrete structures. Mater. Struct. 2003 Vol.: 36 Issue: 261 P. 461-471 ISSN: 1359-5997

RL-SIB (auch RiLi SIB): siehe DAfStB Betonbauteile 2001-10.

ZTV-Ing: 2014-12, Zusätzliche technische Vereinbarungen für den Ingenieurbau, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

Anhang 2: REFUND-Testplatte auf dem BAM-TTS, Horstwalde

Daten: BAM, Implenja Constructions, GSP

Zur Wiedernutzung bestehender Fundamente müssen, unter anderem die Geometrie der Fundamentplatte, die Lage und der Zustand der Bewehrung, Fehlstellen im Beton und die Bodenverhältnisse unter der Platte bekannt sein. Um mögliche Schäden an der Fundamentplatte zu vermeiden, ist eine zerstörungsfreie Bestimmung dieser Parameter vorgesehen. Zur Durchführung einer Machbarkeitsstudie für ausgewählte ZfP - Verfahren wurde auf dem Testgelände technische Sicherheit (TTS) der BAM in Horstwalde ein Probekörper in Form eines Fundamentes, mit den Maßen 5 x 6 x 0,45 m (L, H, B), hergestellt, welches sich in ihren Randbedingungen, wie z.B. Beton und Bewehrung, an der Baupraxis orientiert (Bild 35). Innerhalb dieser Machbarkeitsstudie wurde ebenso die Detektionsmöglichkeit von Unterspülungen untersucht. Die gewählten ZfP-Verfahren sind Radar, Ultraschall-Echo und Impakt-Echo. Bild 36 und Bild 37 zeigen stichpunktartig Informationen zur Fundamentplatte und deren Herstellungsverlauf.

Zu den Besonderheiten der Fundamentplatte gehören die variierende Schichtdicke der Sauberkeitsschicht, eingebaute Schalholzkästen, die zur Simulation von Unterspülungen mit verschiedensten Materialien verfüllt werden können und ein leeres Hüllrohr. Zusätzlich wurden in die Fundamentplatte Temperatur- und Ultraschallsensoren eingebaut (Bild 38).

Die Testplatte bleibt nach Abschluss des Forschungsvorhabens REFUND erhalten und steht für Forschung und Ausbildung zur Verfügung.

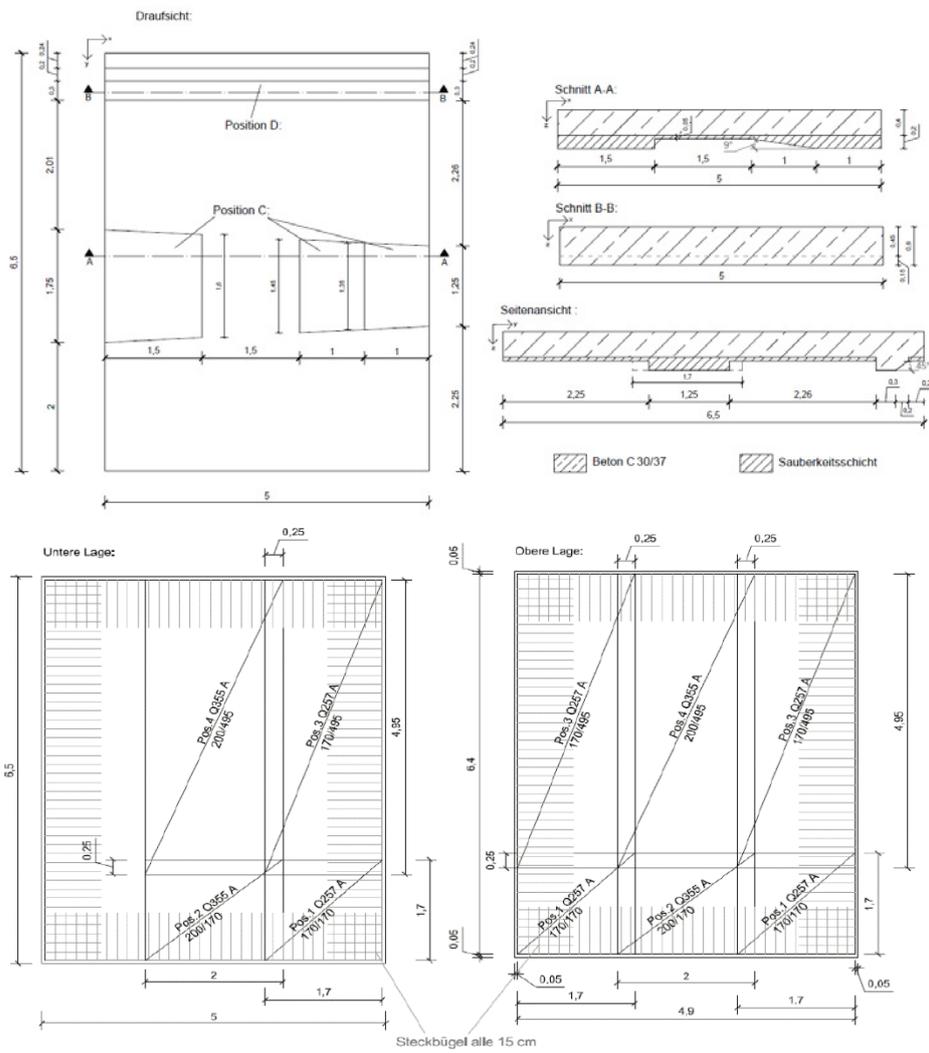


Bild 35 Betonmodell (oben) und Bewehrungsplan (unten)

Fundamentplatte (BBR REFUND)	
Aufstellungs-ort	BAM TTS Testgelände Technische Sicherheit in Horstwalde südlich von Berlin (ortsfest)
Herstelldatum	08.07.15
Größe Masse	5 m x 6 m x 0.45 m [L, H, B] Ca. 34 t
Beschreibung und eingebaute Defekte	Fundamentplatte aus Stahlbeton mit diversen Einbauteilen/Fehlstellen und einem Streifenfundament Variierende Bewehrungsgrade, Variierende Schichtdicke der Sauberkeitsschicht, eingebaute Schallholzkästen zur Simulation von Unterspülungen, eingebautes Hüllrohr Beton C25/30; Größtkorn 16 mm Mattenbewehrung (a = 15 cm; dc = 50 mm) Sauberkeitsschicht: 5 bis 20 cm Dicke; C12/15
Rand- bedingungen	Detektion von Unterspülungen, Detektion von variierender Sauberkeitsschichtdicke, Temperatur- und Festigkeitsmessungen

Bild 36 Fakten zur REFUND-Platte

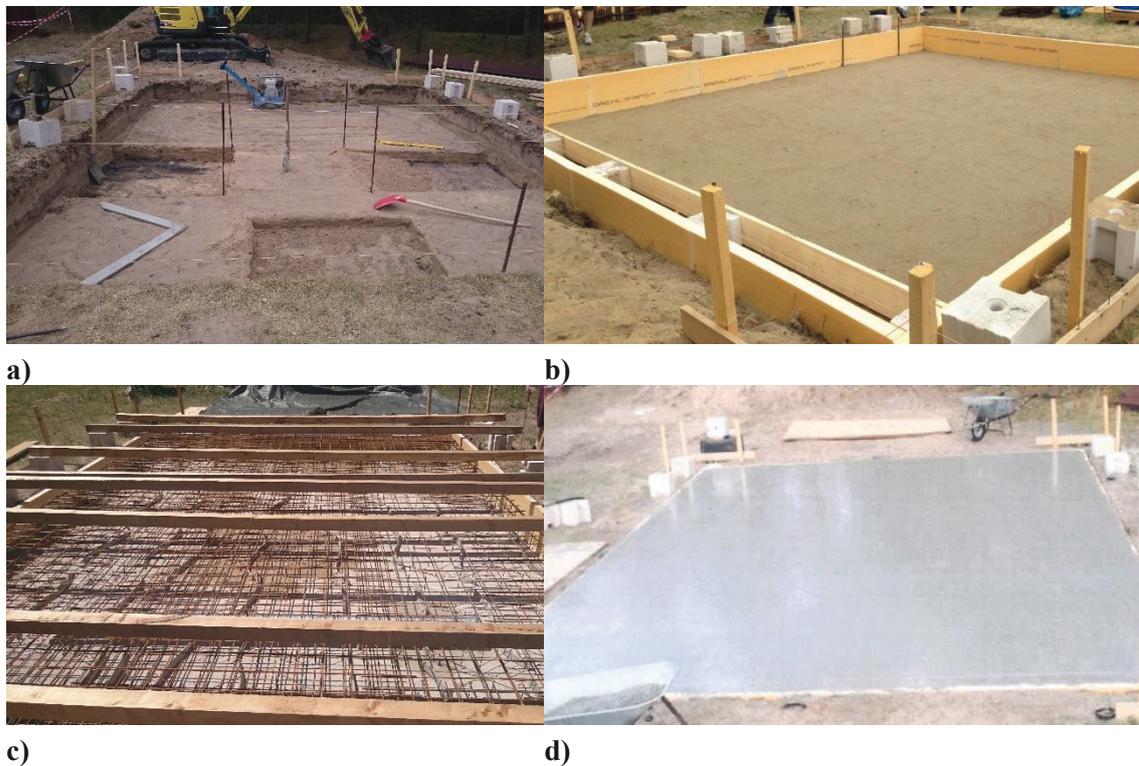


Bild 37 Erdmodell, Sauberkeitsschicht, Bewehrung und Fundament (a-d)

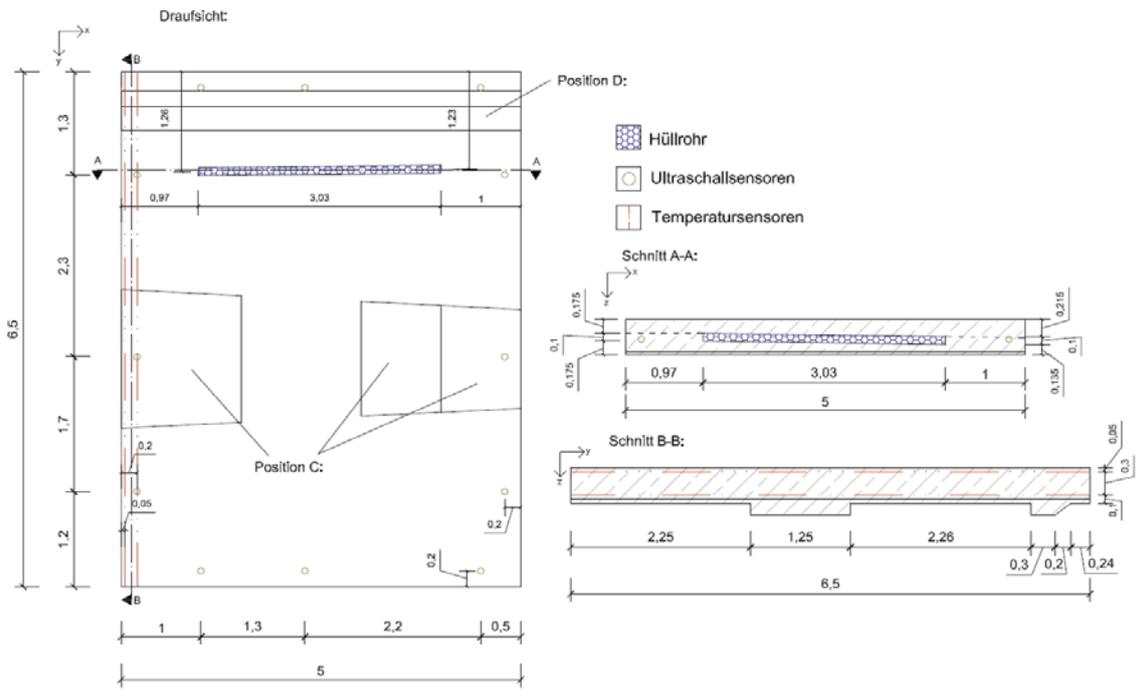


Bild 38 Plan für die Lage der Einbauten (Hüllrohr, US-Sensoren, Temperatursensoren)

Messbeispiele

Radar-Verfahren

Die Radarmessungen (Geräte GSSI 3000, Antenne 2 GHz) zielten aufgrund der sehr guten Auflösung in Oberflächennähe, auf die Erkennung der oberen Bewehrungslage (5 bis 13 cm Tiefe, Bild 39 a-c). Durch die Dämpfung der Signale mit zunehmender Tiefe, konnte die tieferliegende Bewehrung (bei ca. 35 cm Tiefe) nicht mehr geortet werden. Das eingebaute Hüllrohr konnte hochaufgelöst in der Tiefe 19 bis 23 cm detektiert werden (Bild 39 d). Unterschiede in der Helligkeit der Bewehrung können auch auf Feuchtigkeitsunterschiede in der Platte zurückzuführen sein.

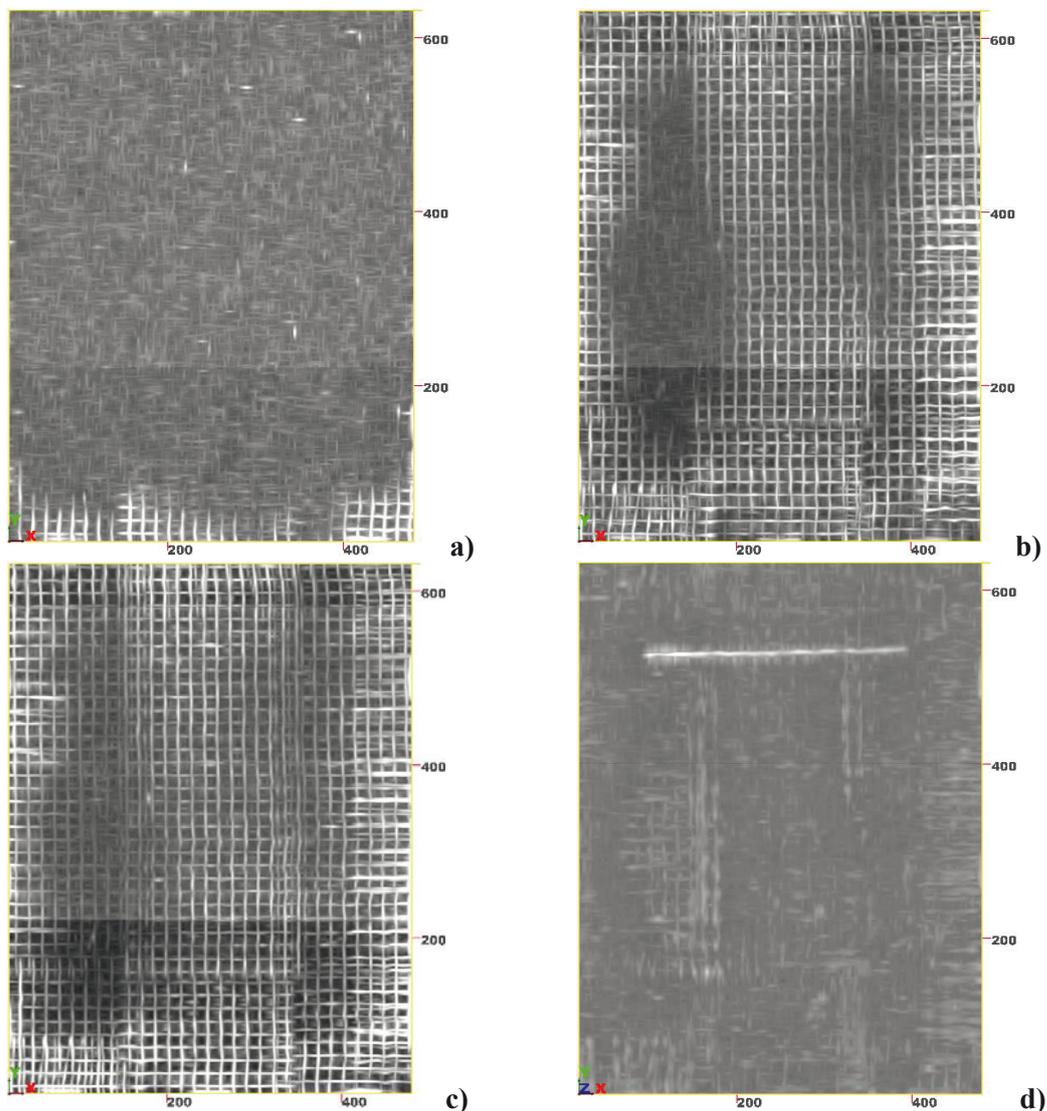


Bild 39 Radar-Horizontalschnitte (C-Bilder). a) 5 cm Tiefe: Geringste Betondeckung der Bewehrung am unteren Rand. b) 9 cm: gesamte Bewehrung bis auf Tieflagen (dunkle Stellen) c) 7-13 cm: gesamte Bewehrung, Bügel und

Überlappung der Matten sichtbar. d) 21-23 cm: Hüllrohr und Schatten der oberen Bewehrung.

Ultraschall Verfahren

Mit den Ultraschall-Echo-Messungen (Gerät ACS A1220, 50 kHz, aufgesetzt auf BAM-Scanner, Raster 2 cm x 2 cm) konnte die Unterkante der Fundamentplatte inkl. Übergang zur Sauberkeitsschicht gut aufgelöst detektiert werden. Das stärkere Echo kommt hier von der Unterkante der Sauberkeitsschicht, da diese besonders sorgfältig ausgeführt wurde und gut an den eigentlichen Plattenbeton ankoppelt. Die obere Bewehrungslage wurde ebenfalls geortet, jedoch nicht mit der Genauigkeit und Auflösung des Radar-Verfahrens.

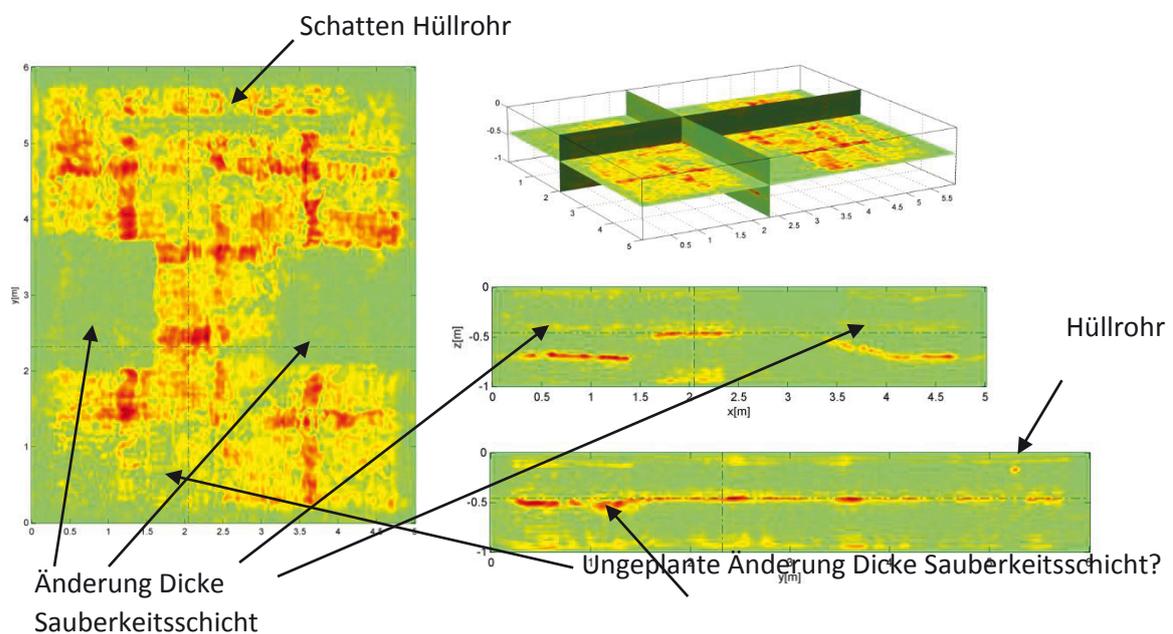


Bild 40 Ergebnis der Ultraschall-Echo- -Messungen. Links Horizontalschnitt (C-Bild) bei 45 cm Tiefe (Nennstärke Fundamentplatte). Rechts: 3D-Bild sowie Längs- und Querschnitt (B-Bild bzw. D-Bild). Lage der Schnitte jeweils gestrichelt markiert. Oberer Rand der Platte nicht vermessen.

Impakt-Echo-Verfahren

Das Impakt-Echo-Verfahren eignet sich zur Dickenbestimmung von Fundamentplatten. Die Ergebnisse der Messungen im 5 cm x 5 cm auf der REFUND-Platte zeigen in Bild 41 die Grenzen in der Genauigkeit der Methodik. Dort wo die Grundbedingung einer planparallelen Platte gegeben ist, wird die gegebene Fundamentdicke (45 cm inkl. Sauberkeit, s. a. Ultraschallmessungen), unter Berücksichtigung der abgeleiteten Wellengeschwindigkeit von 4400 m/s, genau ermittelt. An den Rändern kommt es verfahrenstypisch zu fehlerhaften Werten (Überschätzung der Plattenstärke). Das eingebettete Hüllrohr wurde, in seiner horizontalen Position, durch eine scheinbare Rückwandverschiebung geortet. Eine Tiefenbestimmung wäre nur dann möglich, wenn eine direkte Reflexion des Signals auf dem Hüllrohr aufträte (hier nicht der Fall). Bild 42 zeigt, dass ein Messraster von 50 cm x 50 cm (unabhängige Messung) ein für die Baupraxis meist völlig ausreichendes Ergebnis liefert. Durch den größeren Messabstand blieb aber das Hüllrohr unentdeckt.

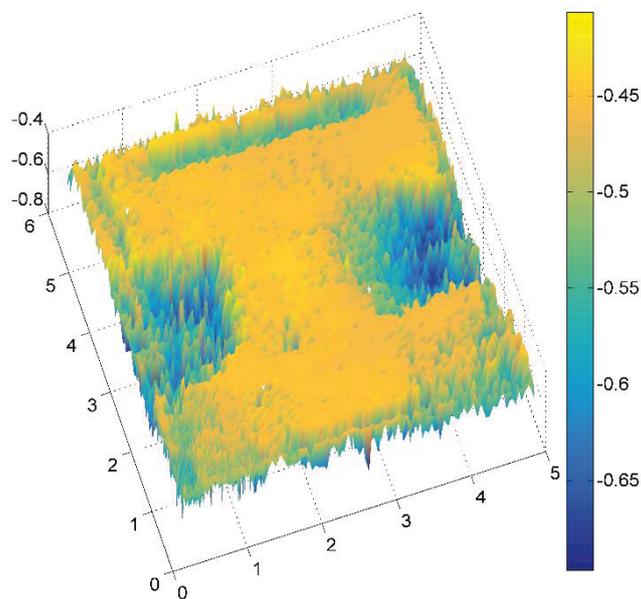


Bild 41 IE-Messung zur Detektion der Rückwand im 5 cm x 5 cm Raster (BAM). Oberer Rand der Platte nicht vermessen.

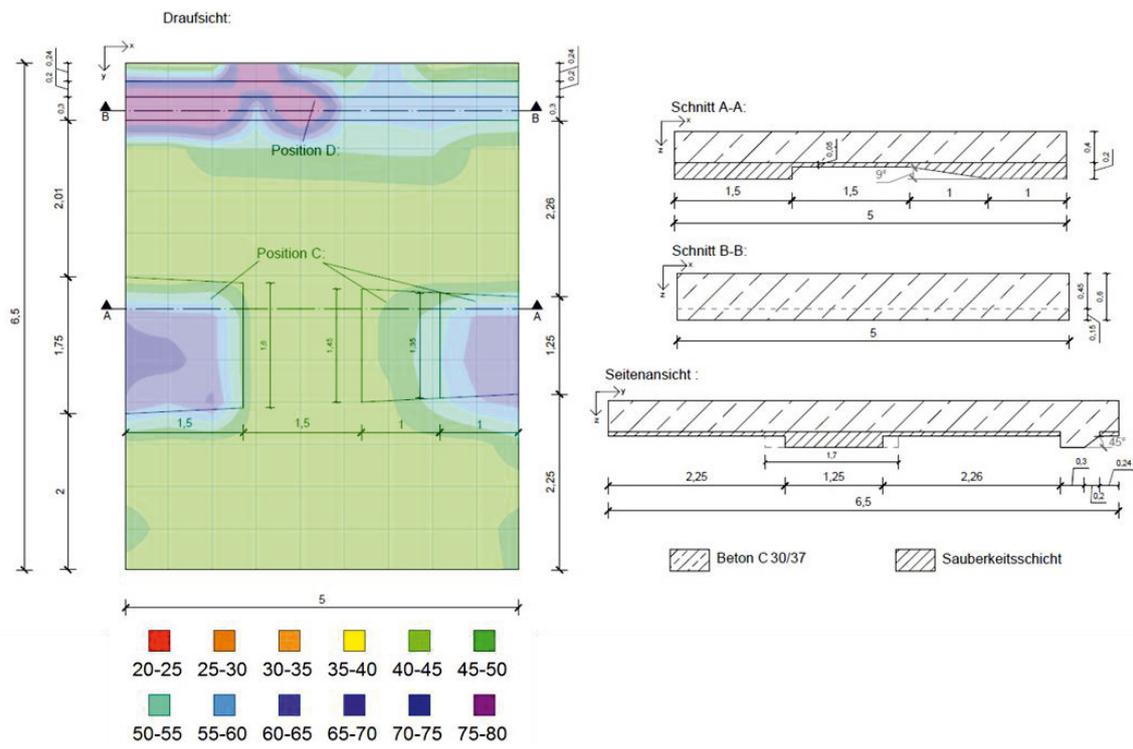


Bild 42 IE-Messung zur Detektion der Rückwand in 50 cm x 50 cm Raster bis zum oberen Rand (Implenia)

Anhang 3:

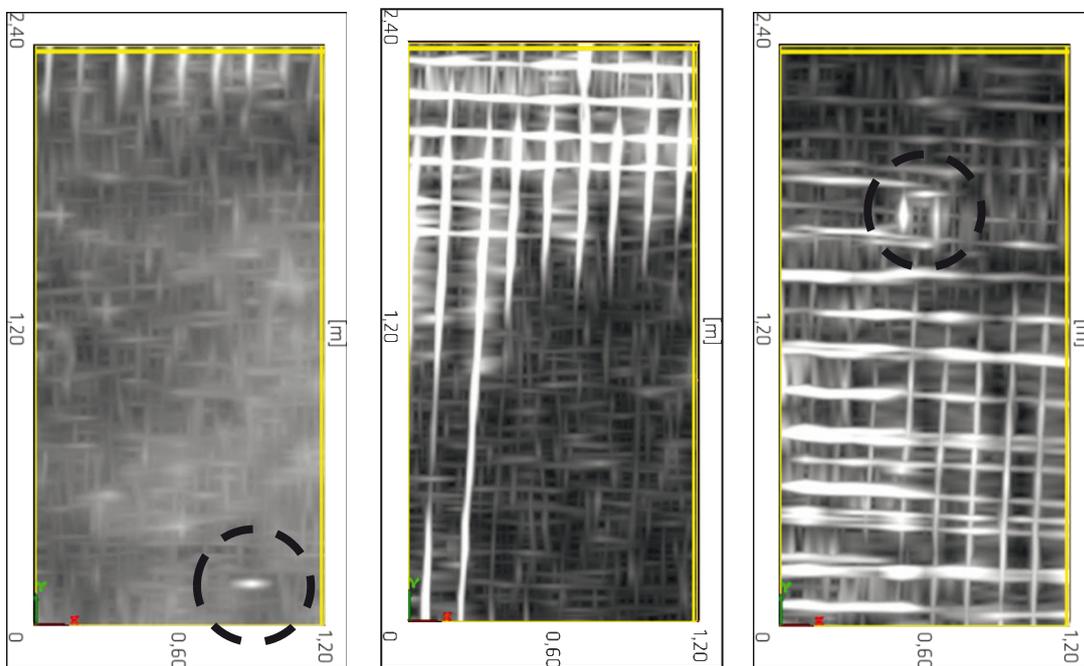
Anwendungsbeispiel: Untersuchung der Sohlplatte eines Parkhauses

Datengrundlage: BAM, SKP

Bei den Sohlplatten des zu untersuchenden Parkhauses mit Tiefgarage aus dem Jahr 1986/87, bestehen nach einem Flutereignis Bedenken hinsichtlich etwaiger Schädigungen. Zahlreiche Risse sind an der Oberfläche sichtbar, von denen einige zeitweise wasserführend waren. Ein erstes Gutachten empfahl den vollständigen Ersatz der Gründung mit geschätzten Kosten von ca. 8 Millionen Euro. Detaillierte Untersuchungen, unter Einsatz von ZfP-Verfahren, sollten klären, ob nach lokaler Instandsetzung nicht doch eine Weiternutzung der Sohlplatten möglich ist. Im Folgenden werden in Kurzform die verwendeten Verfahren, die Durchführung und die Ergebnisse einschließlich Interpretation vorgestellt.

Die obere Bewehrungslage wurde mit der 2 GHz Radarantenne (Bild 43 oben) im oberen Teil des Messfeldes bei ca. 5 cm Tiefe (links) lokalisiert. In Stütznähe liegt die Bewehrung in ca. 14 cm Tiefe (rechts). Dies wird durch die Ultraschall-Scanner-Messung bestätigt (Bild 43 unten).

Die zwei eingekreisten Bereiche in Bild 43 links und rechts zeigen in einer Tiefe von 3 cm bis zur Bewehrungstiefe (11 cm) und in 13 cm Tiefe in einem kleinen Bereich Anomalien höherer Amplituden. Die horizontalen Lokationen entsprechen denen, der im Messfeld vermuteten GeWi-Pfähle, die Tiefenlage jedoch nicht (links). Evtl. liegt hier zusätzliche Bewehrung.



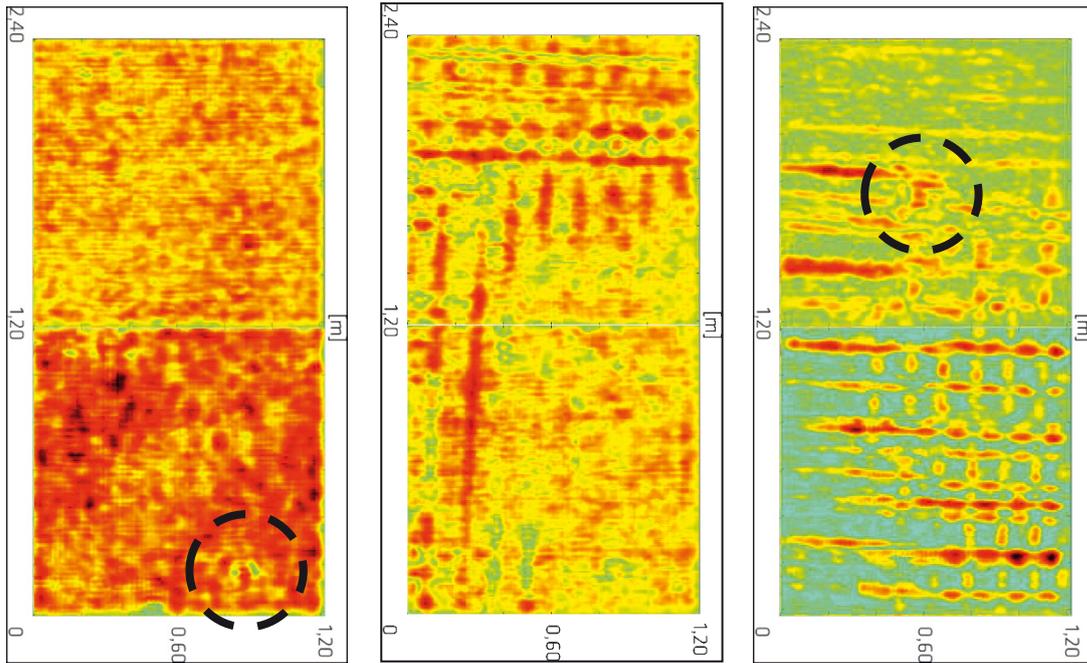
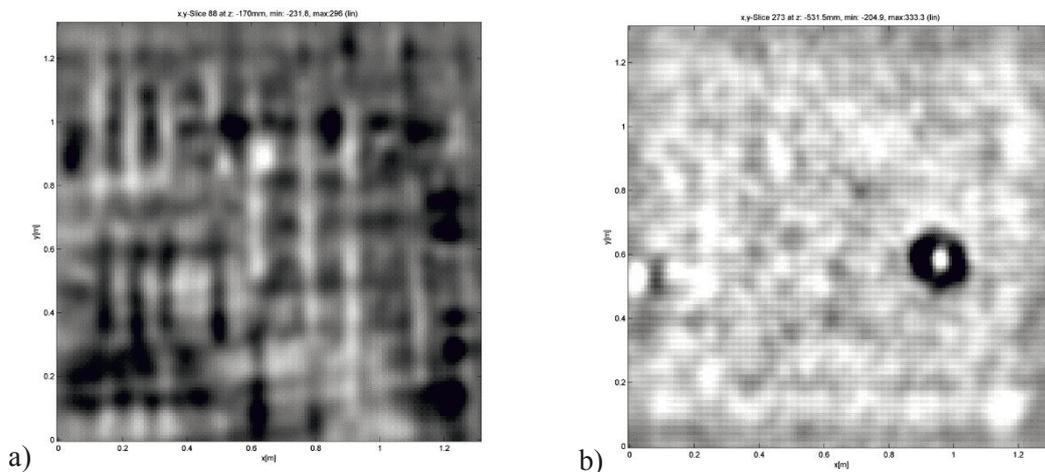


Bild 43 MF3: Radar GSSI 3000/2 GHz (oben) und Ultraschall A1220 (unten), Horizontalschnitte (C-Bilder) jeweils in 3c m, 8 cm und 13 cm Tiefe, SAFT bearbeitet (v.l.n.r.). Erhebliches, großflächiges Abtauchen der Bewehrung in Nähe der Stütze bis zu 0,14 m Tiefe. Gestrichelte Kreise zeigen Hinweise zu GeWi-Pfähle

Die Ultraschall-Daten weisen prinzipbedingt ein vermindertes Auflösungsvermögen bezüglich Bewehrung auf, dafür aber eine größere Eindringtiefe des Signals in den Untergrund. Damit konnten tieferliegende Pfahlköpfe (bei ca. 0,5 m Tiefe) und Bewehrungslagen (bei ca. 0,6 m Tiefe) geortet werden (Bild 44 b und c). Die hier detektierte tiefe Bewehrungslage und die Lokalisierung des Pfahlkopfes lassen sich mit der vorliegenden schematischen Darstellung der Sohlplatte (Bild 44 d) erklären, in der die tiefere Bewehrungslage lateral erst ca. 70 cm von der Stütze weg auftritt und nach außen hin verläuft.



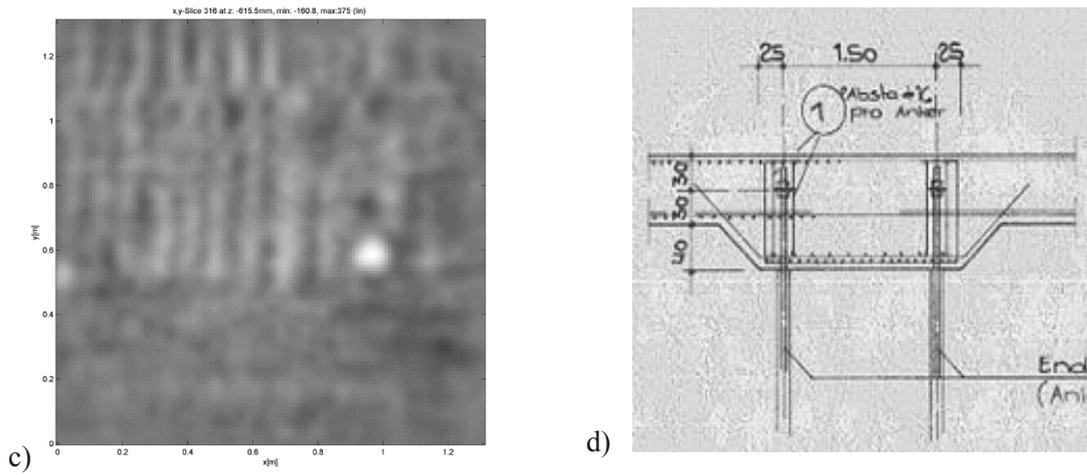


Bild 44 A1220 Scanner-Daten als Tiefenprofile (C-Bilder). a) obere Bewehrung bei ca. 11 cm, b) Pfahlkopf bei ca. 50 cm, c) untere Bewehrung bei ca. 60 cm inkl. Pfahl, d) Skizze der Sohlplatte.

Unterkante der Fundamentplatte

Abseits der Stützen wurde die Fundamentsohle mit Ultraschall-Echo- und Impakt-Echo Messungen, in einer Tiefe von ca. 0,62 – 0,67 m, detektiert (Bild 45 und Bild 46). Im Bereich der Stützen konnte die Unterkante der Platte nicht sicher lokalisiert werden. Dies liegt wohl im Wesentlichen an der dichten oberflächennahen Bewehrung (Ultraschall) und der geometrischen Ausbildung der Platte (Impakt-Echo) in diesen Bereichen.

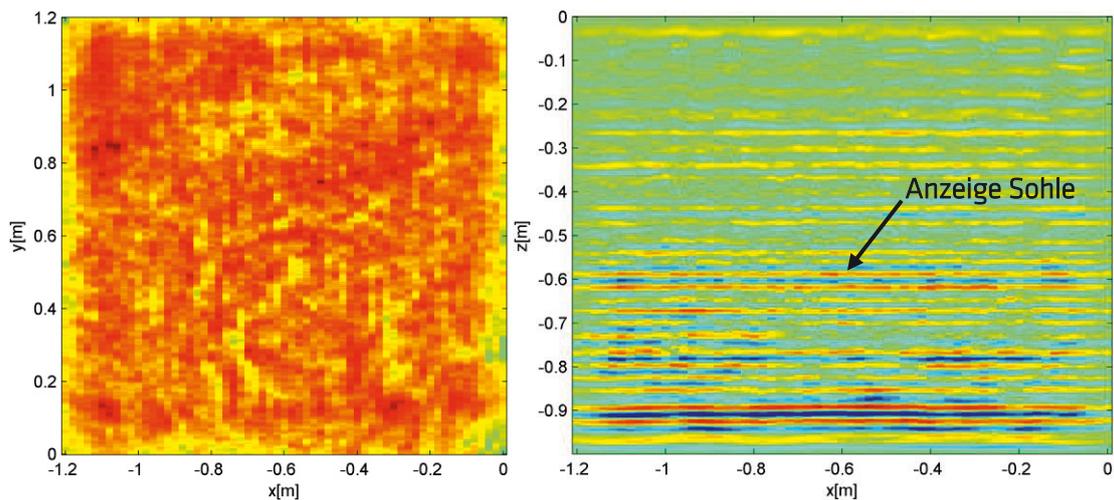


Bild 45 Ultraschall-Scanner-Messung, links Horizontalschnitt (C-Bild) in 0,62 m Tiefe, rechts Vertikalschnitt (B-Bild) bei $y=0,76$ m, SAFT bearbeitet. Auf dem ganzen Messfeld zeigen sich konstant hohe Reflektionsamplituden auf der Tiefe der Fundamentsohle (ca. 0,62 m Tiefe)

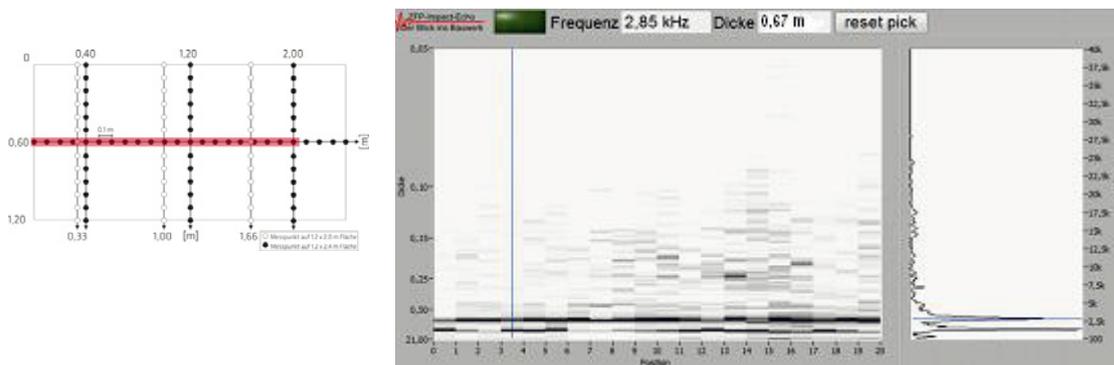


Bild 46 MF4: Impakt-Echo-Ergebnis auf dem Querprofil als Beispiel. Tiefenanzeige 0,67 m

Für das Processing wurden Wellengeschwindigkeiten von 4000 m/s (p-Wellen) bzw. 2700-2800 m/s (s-Wellen) verwendet. Diese entsprechen erfahrungsgemäß einer guten Betonqualität. Da keine Bohrkerne vorhanden waren blieben die Werte unkalibriert.

Die detektierten GeWi-Pfähle befinden sich an den angegebenen Positionen. Die Daten im Umfeld zeigen keine Auffälligkeiten im Hinblick auf eine Schädigung der Platte.

Radarmessungen wurden zudem eingesetzt, um geeignete Stellen zur visuellen Inspektion der Bewehrung und dem Anschluss der Referenzelektrode für das Potentialverfahren zu ermitteln. Vor den ebenfalls durchgeführten Kernbohrungen wurden bewehrungsfreie Bereiche identifiziert.

Messungen mit der Potentialfeldmethode zeigen nur lokale Bewehrungskorrosion in der oberen Lage in wenigen Bereichen.

Mit Hilfe der zerstörungsfreien Messungen, Begutachtung von Bohrkernen und einer detaillierten visuellen Inspektion, wurde ein alternatives Sanierungskonzept entwickelt. Die für die Sanierung abgeschätzten Kosten betragen, inklusive des Untersuchungsbudgets, nur etwa 10% des für den Ersatz der Sohlplatten angesetzten Betrags.

Anhang 4: Anwendungsbeispiel: Weiternutzung von Mastfundamenten

Datengrundlage: BAM/Cteam Consulting und Anlagenbau GmbH

Im Rahmen der Umnutzung von Masten ist eine Nachrechnung für statische und dynamische Lastfälle erforderlich. Dies betrifft zum einen die Struktur selbst, die gegebenenfalls verstärkt werden muss. Aber auch die Gründung (oft Pfähle verschiedenster Typen) muss neu beurteilt werden. Nach mehreren Jahrzehnten sind jedoch für einige Bauwerke keine zuverlässigen Bestandsunterlagen verfügbar. Eine vollständige Freilegung der Pfähle verbietet sich aus Kostengründen, sowie Verlust an Widerstand gegen Zug. Ein Ersatz (z. B. ein nachträglich eingebrachtes Plattenfundament) ist mit Kosten im fünfstelligen Bereich je Mast verbunden. Gelingt es, mittels Untersuchungen, ausreichend Information für einen Nachweis zu sammeln, bedeutet dies einen erheblichen Zeit- und Kostenvorteil. Das Vorgehen ist selbst dann wirtschaftlich, wenn an einigen Masten die Messung scheitert oder die ermittelten Parameter in einzelnen Fällen nicht für einen Nachweis ausreichen (und dann doch ein Ersatzfundament notwendig wird). Im vorliegenden Fall lag das Kostenverhältnis von Untersuchung zu Ersatzfundament bei etwa 1 zu 4.

Für eine Bewertung der Gründung sind neben geotechnischen Daten, z. B. die Geometrie des Mastfußes samt ggf. darunterliegendem Riegel sowie Anzahl, Durchmesser, Länge und Typ der Pfähle notwendig. Bis auf die Pfahllänge lassen sich diese Daten durch einen einfachen Schurf bestimmen. Die Pfahllänge kann jedoch nur durch eines der in Kapitel 43 beschriebenen Messverfahren ermittelt werden.



Bild 47 Parallel-Seismik-Messungen an einem Mastfundament.

In einer Machbarkeitsstudie wurden vorab, teils im Blindversuch, drei Verfahren evaluiert: die klassische Pfahlintegritätsprüfung nach der Hammerschlagmethode, eine mehrkanalige Variante hierzu und das Parallel-Seismik-Verfahren. Die ersten beiden Methoden lieferten an den untersuchten Pfählen nur in Einzelfällen verwertbare Ergebnisse. Die Parallel-Seismik-Methode lieferte auch im Blindversuch an Fundamenten, bei denen die Pfahllänge dem Eigentümer bekannt

war, Ergebnisse mit einer Abweichung von max. 0,5 m. Diese Toleranz lässt sich bei der Standfestigkeitsnachweis berücksichtigen. Die Mehrkosten des Verfahrens (anders als bei den anderen Verfahren, wird ein verrohrtes Bohrloch im Boden nahe dem Pfahl benötigt) halten sich in Grenzen, wenn man es in die geotechnische Untersuchung integriert. Daher wird es inzwischen auch in der Praxis eingesetzt.

In einem praktischen Einsatz in Süddeutschland wurden die Pfähle an acht Masten untersucht. Dabei konnten an fünf Masten ausreichende Pfahllängen nachgewiesen werden. Die Kosten für die Untersuchung und die Sanierung der drei übrigen Mastfundamente wurden mit unter € 100.000 abgeschätzt, während eine Sanierung aller acht Fundamente mindestens € 200.000 gekostet hätte.

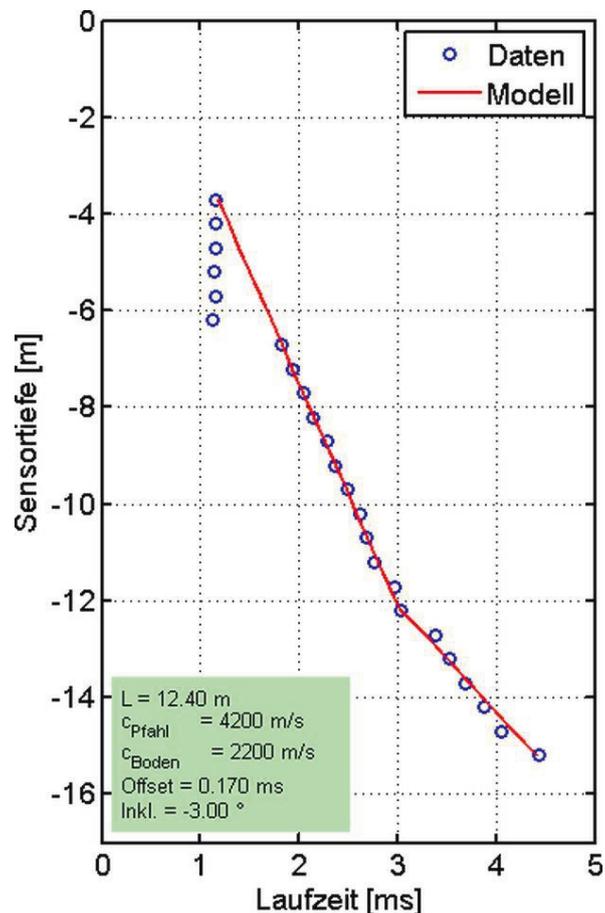


Bild 48 Auswertung einer Parallel-Seismik-messung an einem Mastfundamente: Vergleich der gemessenen Wellenlaufzeiten (blaue Punkte) mit den aus den Modellparametern (grüner Kasten) berechneten Erwartungswerten (rote Kurve). Referenzversuche: Echte Länge 12,5 m, Messergebnis 12,4 m.

Anhang 5: Hinweise zu Ausschreibung und Vergabe

Grundsätzlich erfolgt die Ausschreibung von Planungsleistungen sowie der Ausführung dazu notwendiger Arbeiten, i.d.R. nach den passenden Regelwerken (HOAI, VOL, VOB). Da jedes Bauwerk (und damit jede Gründung) sowie jedes Projekt zur Wiedernutzung einzigartig ist, können hier keine fertigen Ausschreibungstexte erwartet werden. Die folgenden Hinweise helfen aber dabei, Vergleichbarkeit herzustellen und unnötige Nachträge zu vermeiden. Grundsätzlich sind aber Nachträge zu erwarten, da jeder Untersuchungsschritt neuen Erkenntnisse liefert, die entweder weitere Untersuchungen erforderlich machen oder schon geplante Untersuchungen überflüssig werden lassen.

In Ausschreibungen und Angeboten sind folgende Punkte möglichst separat und detailliert zu beschreiben:

- Recherche nach und Sichtung von Bestandsunterlagen
- Visuelle Inspektion inkl. Freilegung und Kernbohrungen
- Laboruntersuchungen
- Zerstörungsfreie Prüfungen

Bei einer Ausschreibung von Leistungen zur zerstörungsfreien Prüfung sind folgende Punkte zu beachten:

- Das Ziel der Messungen samt tolerierbarem Fehler ist zu vereinbaren.
- Die genaue Untersuchungsfläche und –tiefe (bzw. Anzahl der Messungen) sind anzugeben
- Die relevanten Regelwerke sind zu beachten (konkret angeben).
- Die Art der Datenarchivierung (ggf. auch der Rohdaten) ist zu vereinbaren.
- Art und Umfang der Auswertung und Interpretation ist anzugeben.
- Der Ausführende muss Einblick in alle vorhanden Unterlagen erhalten. Die Möglichkeit einer Ortsbesichtigung und ggf. auch einer Testmessung sollte gegeben sein.
- Der Ausführende hat Sachkunde, z. B. durch Referenzen oder Nachweis von Schulungen anzugeben.

Anhang 6: Ausgewertete Quellen zu Arbeitspaket 1

1. Refund Allgemein

Butcher, A. P.; Powell, J. J. M.; Skinner, H. D. (2006): Reuse of foundations for urban sites. A best practice handbook. Bracknell: IHS BRE Press.

Chapman, T.J.P. (2003): Foundations through congested urban ground. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with manmade and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 383–386.

Chapman, T.J.P.; Chow, Fiona C.; St.John, H.D.: Reuse of existing foundations: Planning for the future, S. 171–176, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Chapman, Tim; Anderson, Sara (2005): No more space underground! In: Planning in London (April), S. 2–4, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Foster, A.; Chapman, T.; Marsh, B. (2001): Foundations for the future. In: Proceedings of the ICE - Civil Engineering 144 (1), S. 36–41. DOI: 10.1680/cien.2001.144.1.36.

Guilloux, A.; Le Bissonnais, H.; Saussac, L.; Perini, T. (2013): La réutilisation des fondations existantes dans les projets de réhabilitation de constructions anciennes. In: Pierre Delage, J. Desrues, Roger Frank, Alain Puech und François Schlosser (Hg.): Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013. Challenges and innovations in geotechnics. Paris: Presses des Ponts, S. 3207–3210.

Laefer, D.; Manke, J. (2008): Building Reuse Assessment for Sustainable Urban Reconstruction. In: Journal of Construction Engineering and Management, ASCE (3), S. 217–227, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Ramm, H. (2006): Nachhaltige Wiederverwendung von Bestandsfundamentierungen. In: 29. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, Bremen, DGGT 73, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

St. John, H. (2000): Follow these footprints. In: Ground Engineering (Dezember), S. 24–25, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Wäldele, J. (2014): Reaktivierung von Bohrpfehlen zur Gründung eines Geschäftshauses. In: 33. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, Beiträge der Spezialsitzung, Berlin, DGGT, S. 105–109, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

1.1. Voraussetzungen

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: Ground Engineering, S. 34–36.

Chapman, T.J.P. (2003): Foundations through congested urban ground. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with manmade and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 383–386.

Chapman, T.J.P.; Butcher, A.; Fernie, R. (2003): A generalised strategy for reuse of old foundations. In: I. Vanicek (Hg.):

Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, Czech Republic, 25th-28th August 2003. Prague: Czech Geotechnical Society, S. 613–618, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Chapman, Tim; Chow, Fiona; Skinner, Hilary (2002): Building on old foundations - sustainable construction for urban regeneration. In: CEWorld Conference, ASCE Virtual World Congress for Civil Engineering, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Hertlein, Bernard H.; Walton, William H. (2000): Assessment and Reuse of Old Foundations. In: Transportation Research Record (1736), S. 49–52, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Katzenbach, R.; Ramm, H. (2006): Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Bestandsfundamentierungen. In: Bauingenieur : die richtungsweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen; offizielle Zeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik (81), S. 311–317, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

1.2. Vorteile

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: Ground Engineering, S. 34–36.

Katzenbach, R.; Ramm, H. (2006): Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Bestandsfundamentierungen. In: Bauingenieur : die richtungsweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen; offizielle Zeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik (81), S. 311–317, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Paul, T.; Chow, F.C.; Kjekstadt, O.; Vähäaho, I.T.; Sellberg, B.; Lemos, L.J.L. (2003): Sustainable development of underground space in urban areas. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003,

Bd. 2. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Technicians, S. 809–814.

Vaziri, M.: Re-use of existing piles, Belgrave House, London, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

1.3. Risiken

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: *Ground Engineering*, S. 34–36.

Chapman, Tim; Marcetteau, Alain (2004): Achieving economy and reliability in piled foundation design for a building project. In: *The Structural Engineer* | 82 (11), S. 32–37, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Katzenbach, R.; Ramm, H. (2006): Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Bestandsfundamentierungen. In: *Bauingenieur : die richtungsweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen; offizielle Zeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik* (81), S. 311–317, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

1.4. RuFUS

Butcher, A. P.; Powell, J. J. M.; Skinner, H. D. (2006): Reuse of foundations for urban sites. A best practice handbook. Bracknell: IHS BRE Press.

Katzenbach, R.; Ramm, H. (2006): Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Bestandsfundamentierungen. In: *Bauingenieur : die richtungsweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen; offizielle Zeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik* (81), S. 311–317, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Niederleithinger, E.; Taffe, A.; Klingmüller, O.; Katzenbach, R. (2007): Zerstörungsfreie Untersuchung von Gründungselementen im Rahmen von Wiedernutzungsprojekten. In: *Geotechnik* 30 (3), S. 146–157, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

1.5. Wirtschaftlichkeit

Laefer, D.; Manke, J. (2008): Building Reuse Assessment for Sustainable Urban Reconstruction. In: *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE (3), S. 217–227, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

St. John, H. (2000): Follow these footprints. In: *Ground Engineering* (Dezember), S. 24–25, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

2. Historische Bauten und Gründungen

Ladjarevic, M.; Goldscheider, M. (1996): Bestimmung der Länge historischer Holzpfähle mit einer Hammerschlagmethode. In: Bautechnik 73 (6), S. 356–367, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Williams, J.; Chaddock, S. (2003): Protecting the buried archaeological resource: the re-use of foundations. In: Proceedings 7th International Symposium of the Organization of World Heritage Cities, Rhodes, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

3. Tragfähigkeit

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: Ground Engineering, S. 34–36.

Chapman, T.J.P.; Butcher, A.; Fernie, R. (2003): A generalised strategy for reuse of old foundations. In: I. Vanicek (Hg.):

Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, Czech Republic, 25th-28th August 2003. Prague: Czech Geotechnical Society, S. 613–618, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

3.1. Maßnahmen zur Ertüchtigung von Bestandsfundamenten

Begaj, Leonora; McNamara, Andrew M. (2011): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: International Journal of Physical Modelling in Geotechnics 11 (4), S. 166–177. DOI: 10.1680/ijpmg.2011.11.4.166.

Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2008): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: BGA International Conference on Foundations, Dundee, IHS BRE Press, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2010): Physical Modelling in Geotechnics. Physical modelling for pile foundation re-use. In: 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, S. 733–737, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

de Jong, Henk (2001): Erka Pfahl. In: Pfahl-Symposium 2001, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (65), S. 469–481, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

de Jong, Henk; Hock-Berghasu, Kay (2001): Nachgründungen und Unterfangungen mit Segment-Presspfählen. In: VDI Bau Jahrbuch 2001, S. 242–253, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Dehn, Frank; Gebhardt, Matthias; Pollnow, Elke (2008): Sanierung und Verstärkung von Gründungsbauteilen. In: Bautechnik 85

(2), S. 120–132. DOI: 10.1002/bate.200810011.

Franz, Stefan; Städing, Axel (2009): Ertüchtigung der Bestandspfähle unter dem Hauptbahnhof Leipzig beim Neubau des CityTunnels Leipzig. In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilung

des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (88), S. 367–382, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Qerimi, L.B.; McNamara, A.; Taylor, R.N. (2006): Preliminary model tests on re-use of pile foundations. In: *Physical Modelling in Geotechnics, 6th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, Hong Kong, Taylor & Francis, S. 861–866, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

3.2. Berücksichtigung von Belastung und Entlastung

Bell, A.; Soga, K.; Quyang, Y.; Yan, J.; Wang, F. (2013): The role of fibre optic instrumentation in the re-use of deep foundations. In: *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Paris*, S. 3207–3210, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

3.3. Planung von Neubauten unter der Berücksichtigung des späteren Einsatzes von ReFund

Chapman, T.J.P.; Chow, Fiona C.; St.John, H.D.: Reuse of existing foundations: Planning for the future, S. 171–176, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Chapman, Tim; Chow, Fiona; Skinner, Hilary (2002): Building on old foundations - sustainable construction for urban regeneration. In: *CEWorld Conference, ASCE Virtual World Congress for Civil Engineering*, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Foster, A.; Chapman, T.; Marsh, B. (2001): Foundations for the future. In: *Proceedings of the ICE - Civil Engineering 144 (1)*, S. 36–41. DOI: 10.1680/cien.2001.144.1.36.

4. Beispielprojekte

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: *Ground Engineering*, S. 34–36.

Bell, A.; Soga, K.; Quyang, Y.; Yan, J.; Wang, F. (2013): The role of fibre optic instrumentation in the re-use of deep foundations. In:

18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Paris, S. 3207–3210, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Chapman, Tim; Anderson, Sara (2005): No more space underground! In: *Planning in London (April)*, S. 2–4, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Chow, Fiona C. (2003): Geotechnical aspects of tunnelling, reuse of foundations and building on landfill in brownfield development. In: Ivan Vaníček (Hg.): *Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003*. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 343–348.

Hertlein, Bernard H.; Walton, William H. (2000): Assessment and Reuse of Old Foundations. In: Transportation Research Record (1736), S. 49–52, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Robinson, S. D.; Dean, G. P. (1993): Foundations in the City of London. In: The Structural Engineer 71 (17), S. 305–308, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

St. John, H. (2000): Follow these footprints. In: Ground Engineering (Dezember), S. 24–25, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Wäldele, J. (2014): Reaktivierung von Bohrpfählen zur Gründung eines Geschäftshauses. In: 33. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, Beiträge der Spezialsitzung, Berlin, DGGT, S. 105–109, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

4.1. Belgrave House London

Vaziri, M.: Re-use of existing piles, Belgrave House, London, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

4.2. Crossrail

Chow, Fiona C. (2003): Geotechnical aspects of tunnelling, reuse of foundations and building on landfill in brownfield development. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 343–348.

4.3. Heathrow Terminal 5 spur road

Chow, Fiona C. (2003): Geotechnical aspects of tunnelling, reuse of foundations and building on landfill in brownfield development. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 343–348.

4.4. Mannheimer Quadrat P7

Keller Grundbau GmbH (2013): Reaktivierung von Bohrpfählen im Mannheimer Quadrat P7. In: Keller-Info, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

4.5. Kraftwerk

Kirsch, F.; Richter, T.; Buchheim, A. (2011): Wiedernutzbarmachung über 30 Jahre alter Pfähle aus Gründungselemente für einen Kraftwerksneubau. In: Pfahl-Symposium 2011, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (94), S. 323–338, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Klingmüller, O. (1995): Qualitätssicherung bei der Wiederverwendung einer bestehenden Pfahlgründung. In: Bautechnik 72 (7), S. 467–468, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

4.6. Elbphilharmonie

Grabe, Jürgen; König, Florian; Putzier, Dieter (2008): Wiederverwendung von vorhandenen Gründungen am Beispiel der Elbphilharmonie und die juristische Lösung der damit verbundenen Risiken. In: Jahrbuch Baurecht 2008, Werner Verlag, S. 189–223, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

4.7. Verwendete REFUND Projekte

Anderson, S.A.; Chapman, T.J.P.; Fleming, J. (2006): Case history – the redevelopment of 13 Fitzroy Street, London. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 311–319.

Berglund, C.; Holm, G.; Nilsson, T.; Bjordal, C. (2006): Durability of old timber piles: A case study. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 79–85.

Clarke, A.; Hughes, R.; Houson, M. (2006): The foundations of Ludgate West, City of London. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 331–338.

Curtis, D.C. (2006): Risk assessment for increasing loads on existing piles at Manchester Airport. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 15–22.

Curtis, D.C.; Lowe, C.R. (2006): Investigation of under-reamed piles in sandstone to assess potential reuse. In: A. P. Butcher, John J.

M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 339–345.

Guilloux, A.; Le Bissonnais, H.; Saussac, L.; Perini, T. (2013): La réutilisation des fondations existantes dans les projets de réhabilitation de constructions anciennes. In: Pierre Delage, J. Desrues, Roger Frank, Alain Puech und François Schlosser (Hg.): Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering,

- Paris 2013. Challenges and innovations in geotechnics. Paris: Presses des Ponts, S. 3207–3210.
- Jäppelt, U. (2005): Umbau des Silos Schellerdamm in Hamburg-Harburg. In: *Beratende Ingenieure* (Oktober), S. 27–29.
- Katzenbach, R.; Ramm, H. (2006): Reuse of historical foundations. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 395–403.
- Katzenbach, R.; Ramm, H.; Werner, A. (2006): Reuse of foundations in the reconstruction of the Hessian parliament complex – A case study. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 385–394.
- Kirsch, F.; Richter, T.; Buchheim, A. (2011): Wiedernutzbarmachung über 30 Jahre alter Pfähle aus Gründungselemente für einen Kraftwerksneubau. In: *Pfahl-Symposium 2011, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig* (94), S. 323–338, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Lennon, D.J.; Irving, D.A.C.; Boyd, P.J.H. (2006): Investigation and reuse of piled foundations at South Gyle, Edinburgh. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 347–356.
- Rankka, W.; Holm, G. (2006): Non-destructive methods for testing precast concrete piles under existing buildings. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 133–146.
- St. John, H.D.; Chow, F.C. (2006): Reusing piled foundations – two case studies. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 357–374.
- Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: *BUST 100* (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.
- Tester, P.D.; Fernie, R. (2006): A case study of total foundation reuse for a car park in Coventry, UK. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 375–383.
- Vaziri, M.; Windle, J. (2006): Testing strategy for the reuse of existing piles: Case study at Belgrave House, London. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): *Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006*. Bracknell: IHS BRE Press, S. 59–67.

- Vaziri, M.; Windle, J. (2006): Strategy for the reuse of existing piles: Case study at Belgrave House, London. In: A. P. Butcher, John
- J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 47–58.
- Wäldele, J. (2014): Reaktivierung von Bohrpfehlen zur Gründung eines Geschäftshauses. In: 33. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, Beiträge der Spezialsitzung, Berlin, DGGT, S. 105–109, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Williams, J. (2006): Pile reuse at the Collection, Lincoln: lessons learnt. In: A. P. Butcher, John J. M. Powell und H. D. Skinner (Hg.): Reuse of foundations for urban sites. Proceedings of the international conference, BRE, Garston, Watford, UK, 19-20 October 2006. Bracknell: IHS BRE Press, S. 303–307.

5. Prüfverfahren

- Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2010): Physical Modelling in Geotechnics. Physical modelling for pile foundation re-use. In: 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, S. 733–737, zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Bell, A.; Soga, K.; Quyang, Y.; Yan, J.; Wang, F. (2013): The role of fibre optic instrumentation in the re-use of deep foundations. In:
- 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Paris, S. 3207–3210, zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Hertlein, Bernard H.; Walton, William H. (2000): Assessment and Reuse of Old Foundations. In: Transportation Research Record (1736), S. 49–52, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Klingmüller, O. (1995): Qualitätssicherung bei der Wiederverwendung einer bestehenden Pfahlgründung. In: Bautechnik 72 (7), S. 467–468, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Klingmüller, O.; Rausche, F. (2009): Ermittlung von Art und Tiefe unbekannter Gründungselemente. In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (88), S. 351–364, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Ladjarevic, M.; Goldscheider, M. (1996): Bestimmung der Länge historischer Holzpfähle mit einer Hammerschlagmethode. In: Bautechnik 73 (6), S. 356–367, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Niederleithinger, E.; Taffe, A.; Klingmüller, O.; Katzenbach, R. (2007): Zerstörungsfreie Untersuchung von Gründungselementen im Rahmen von Wiedernutzungsprojekten. In: Geotechnik 30 (3), S. 146–157, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2003): Concept for a reference pile testing site for the development and improvement of NDT-CE. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems

with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003, Bd. 2. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 763–766.

- Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2006): Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung. In: Tagungsband DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, Berlin, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Powell, J.J.M.; Butcher, A.P.; Pellew, A. (2003): Capacity of driven piles with time – implications for re-use. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003, Bd. 2. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Techniciens, S. 335–340, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Qerimi, L.B.; McNamara, A.; Taylor, R.N. (2006): Preliminary model tests on re-use of pile foundations. In: Physical Modelling in Geotechnics, 6th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Hong Kong, Taylor & Francis, S. 861–866, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Rausche, F.; Robinson, B.; Klingmüller, O. (2003): Wirkungsvoller Einsatz moderner Testmethoden zur Sicherung der Pfahlqualität. In: Pfahl-Symposium 2003, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (71), S. 175–190, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: BUST 100 (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.
- Williams, Huw; Jones, Iwan (2006): Re-use of foundations and the role of NDE techniques. In: Proceedings 10th International Conference on Piling & Deep Foundations, 2006, Amsterdam, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

5.1. Low-strain-Inetgritätsprüfung

- Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2006): Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung. In: Tagungsband DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, Berlin, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Rausche, F.; Robinson, B.; Klingmüller, O. (2003): Wirkungsvoller Einsatz moderner Testmethoden zur Sicherung der Pfahlqualität. In: Pfahl-Symposium 2003, Mitteilung des Instituts

für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (71), S. 175–190, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

5.2. Parallel Seismik

Klingmüller, O.; Rausche, F. (2009): Ermittlung von Art und Tiefe unbekannter Gründungselemente. In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (88), S. 351–364, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Niederleithinger, Ernst (2011): Optimierung und Erweiterung der Parallel-Seismik-Methode zur Bestimmung der Länge von

Fundamentpfählen. Univ., Diss.--Potsdam, 2010. Berlin: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) (BAMDissertationsreihe, 70). Online verfügbar unter http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/dissertationen/diss_70_vt.pdf.

Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2006): Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung. In: Tagungsband DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, Berlin, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

5.3. Ultraschall-Echo

Klingmüller, O.; Rausche, F. (2009): Ermittlung von Art und Tiefe unbekannter Gründungselemente. In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (88), S. 351–364, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Rausche, F.; Robinson, B.; Klingmüller, O. (2003): Wirkungsvoller Einsatz moderner Testmethoden zur Sicherung der Pfahlqualität. In: Pfahl-Symposium 2003, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (71), S. 175–190, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Taffe, Alexander; Niederleithinger, Ernst; Krause, Martin; Milmann, Boris (2004): Zerstörungsfreie Untersuchungen an Fundamentplatten mit Ultraschallecho. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (12), S. 1000–1004. DOI: 10.1002/best.200490266.

5.4. Centrifuge model testing

Begaj, Leonora; McNamara, Andrew; Fernie, Rab: Re-use of pile foundations in urban environment, zuletzt geprüft am

21.04.2016.

Begaj, Leonora; McNamara, Andrew M. (2011): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: International Journal of Physical Modelling in Geotechnics 11 (4), S. 166–177. DOI: 10.1680/ijpmg.2011.11.4.166.

Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2008): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: BGA International Conference on Foundations, Dundee, IHS BRE Press, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

5.5. Hammerschlagmethode

Ladjarevic, M.; Goldscheider, M. (1996): Bestimmung der Länge historischer Holzpfähle mit einer Hammerschlagmethode. In: Bautechnik 73 (6), S. 356–367, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

6. Bestand

6.1. Pfähle

Allenou, C. (2003): One careful owner. In: Ground Engineering, S. 34–36.

Begaj, Leonora; McNamara, Andrew; Fernie, Rab: Re-use of pile foundations in urban environment, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Begaj, Leonora; McNamara, Andrew M. (2011): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: International Journal of Physical Modelling in Geotechnics 11 (4), S. 166–177. DOI: 10.1680/ijpmg.2011.11.4.166.

Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2008): Centrifuge model testing for pile foundation reuse. In: BGA International Conference on Foundations, Dundee, IHS BRE Press, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Begaj-Qerimi, L.; McNamara, A.M. (2010): Physical Modelling in Geotechnics. Physical modelling for pile foundation re-use. In: 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, S. 733–737, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Bell, A.; Soga, K.; Quyang, Y.; Yan, J.; Wang, F. (2013): The role of fibre optic instrumentation in the re-use of deep foundations. In: 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Paris, S. 3207–3210, zuletzt geprüft am 21.04.2016.

Franz, Stefan; Städing, Axel (2009): Ertüchtigung der Bestandspfähle unter dem Hauptbahnhof Leipzig beim Neubau des CityTunnels Leipzig. In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig (88), S. 367–382, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Grabe, Jürgen; König, Florian; Putzier, Dieter (2008): Wiederverwendung von vorhandenen Gründungen am Beispiel der Elbphilharmonie und die juristische Lösung der damit verbundenen Risiken. In: Jahrbuch Baurecht 2008, Werner Verlag, S. 189–223, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Keller Grundbau GmbH (2013): Reaktivierung von Bohrpfählen im Mannheimer Quadrat P7. In: Keller-Info, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Klingmüller, O. (1995): Qualitätssicherung bei der Wiederverwendung einer bestehenden Pfahlgründung. In: Bautechnik 72 (7), S. 467–468, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

- Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2006): Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung. In: Tagungsband DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, Berlin, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Powell, J.J.M.; Butcher, A.P.; Pellew, A. (2003): Capacity of driven piles with time – implications for re-use. In: Ivan Vaníček (Hg.): Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering : Prague, Czech Republic, 25-28th August 2003 = Les problèmes géotechniques posés par les remblais et les sols anthropiques : comptes rendus du XIIIème congrès européen de mécanique des sols et de la géotechnique : Prague, République Tchèque, 25-28 août 2003, Bd. 2. Prague: Czech Geotechnical Society CICE; Czech Chamber of Certified Engineers and Technicians, S. 335–340, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Qerimi, L.B.; McNamara, A.; Taylor, R.N. (2006): Preliminary model tests on re-use of pile foundations. In: Physical Modelling in Geotechnics, 6th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Hong Kong, Taylor & Francis, S. 861–866, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: BUST 100 (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.
- Williams, Huw; Jones, Iwan (2006): Re-use of foundations and the role of NDE techniques. In: Proceedings 10th International Conference on Piling & Deep Foundations, 2006, Amsterdam, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

6.2. Platte

- Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: BUST 100 (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.
- Taffe, Alexander; Niederleithinger, Ernst; Krause, Martin; Milmann, Boris (2004): Zerstörungsfreie Untersuchungen an Fundamentplatten mit Ultraschallecho. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (12), S. 1000–1004. DOI: 10.1002/best.200490266.

6.3. Streifen- oder Einzelfundamente

- Niederleithinger, Ernst; Taffe, A. (2006): Zerstörungsfreie Pfahl- und Fundamentprüfung im Hinblick auf Wiedernutzung. In: Tagungsband DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, Berlin, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: BUST 100 (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.

7. **Rechtliche Aspekte**

Grabe, Jürgen; König, Florian; Putzier, Dieter (2008): Wiederverwendung von vorhandenen Gründungen am Beispiel der Elbphilharmonie und die juristische Lösung der damit verbundenen Risiken. In: Jahrbuch Baurecht 2008, Werner Verlag, S. 189–223, zuletzt geprüft am 25.04.2016.

Motzke, G. (2007): Rechtliche Fragen beim Bauen im Bestand unter besonderer Berücksichtigung von Baugrundproblemen bei Revitalisierungen. In: Baurechtstreiff 2007, Bonn, Deutsche Gesellschaft für Baurecht e.V., S. 51–63, zuletzt geprüft am 25.04.2016.