Zerstörungsfreie Untersuchung von Parkbauten um Kenngrößen für Statik und Prüfstatik zu erlangen

Andreas HASENSTAB

K. ZORZI

IPG Instandsetzungsplanungs Gesellschaft ,

1 Kurzfassung

Parkbauten stellen laut bayerische Bauordnung statisch relevante Bauwerke da. Dies bedeutet, dass bei einer ausgeprägten Schädigung der Konstruktion, z.B. Lochfraß des Stahles mit Einlegen einer Zusatzbewehrung eine Statik und Prüfstatik der Konstruktion erstellt werden muss. Spätestens zu diesem Zeitpunkt fällt auf, dass z.B. die Bestandsstatik fehlt oder nicht zum Bauwerk passt.

Mit den komplexen zerstörungsfreien Prüfverfahren **Ultraschall Echo und Radar** ist es möglich, einen Bestandsbau zu untersuchen und reale, belastbare Informationen über das gesunde Bauwerk zu erlangen.

Mit Radar können **Fundamente unter der Bodenplatte der Tiefgarage** bestimmt werden, mit **Ultraschallecho können die Stützen und die Bodenplatte auf Kiesnester und die Dickesprünge** untersucht werden. Mit den Untersuchungen ist es möglich, vorhandene Schäden einzugrenzen.

Als etwas einfacher bekannte Untersuchungsmethoden werden die Untersuchungen der **Betondruckfestigkeit mit dem Rückprallhammer, Bohrkernentnahmen, Potentialfeldmessungen, Betondeckung und Chloridanalysen an Hand von Beispielen vorgestellt.**

Mit den genannten Prüfverfahren ist es möglich viele Fragestellungen zerstörungsfrei zu lösen und hierbei den Sanierungsaufwand zu optimieren und so Bauzeiten zu begrenzen und Kosten zu sparen.

2 Zerstörungsfeie Prüfung im Bauwesen

Seit einigen Jahren werden unterschiedliche zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Untersuchung von Bauwerken eingesetzt. Im vorliegenden Beitrag wird die Untersuchung von Betonbauwerken beschrieben. Untersuchungen von Holzbauwerken oder Mauerwerk können [1], [2] entnommen werden.

Allgemein erfolgen die Messungen direkt am Bauwerk und werden teils von Hand, teils mit einem Scannersystem ausgeführt. Da die Messungen mit Scannersystemen für große, ebene Bauwerke wie Spannbetonbrücken eher gedacht sind, wird im folgenden Beitrag eine größere Gewichtung auf die Handmessungen gelegt.

Im Vorfeld wurden umfangreiche Untersuchungen an Probekörpern der BAM durchgeführt, um die Aussagesicherheit der Verfahren zu untersuchen.

Das Ziel einer Anwendung der ZfPBau-Verfahren ist:

- zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchung
- frühes Erkennen und Eingrenzung von Schäden
- Kostenabschätzung bei Instandsetzung
- zerstörungsfreie Dokumentation und Integritätsprüfung des Bauteilzustandes

3 Messverfahren

Zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Einen groben Überblick der Verfahren kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1: zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau) aus [3]:

Elektromagnetische Verfahren:	Akustische Verfahren:	Sonstige Verfahren:
• Radar • Thermographie (passiv / aktiv) • Röntgen /Durchstrahlung • Wirbelstrom, Induktion • Remanenzmagnetismus	• Ultraschallecho • Impact Echo	• Bohrwiderstand • Rückprallhammer • Endoskopie

Eine umfangreiche Liste der zfP – Bau – Verfahren kann dem Kompendium der BAM [4] und dem Bauphysikkalender [5] entnommen werden.

Folgend werden die Messverfahren Ultraschallecho, Rückprallhammer, Radar, Bewehrungsortung, Rissmonitoring und Haftzuguntersuchung detailliert vorgestellt. Die anderen Verfahren können dem Bauphysik-Kalender [5] entnommen werden.

Ein geübter Umgang mit den Verfahren ist unbedingt erforderlich – nur so können gute Messergebnisse erzielt werden. Alle vorgestellten Messgeräte und Anwendungsbeispiele sind eigenen Messeinsätzen entnommen.

3.1 **Messverfahren Ultraschallecho**

Die Ultraschall-Echotechnik beruht auf der Reflexion von Schallwellen an Diskontinuitäten wie Werkstoffinhomogenitäten, Grenzflächen, Hohlstellen oder der Bauteilrückwand.

Im Bauwesen kann Ultraschallecho an Beton [9], [8] und Holz [6], [7] angewendet werden zur

- Bestimmung von Bauteilabmessungen (gleichmäßige Dicke, Aussparungen),
- Ortung von Schäden (Hohlstellen, Kiesnester, Ablösungen, Rissen parallel zur Oberfläche, Fäulnis, Äste) sowie
- Ortung von Schichtwechseln und stofflichen Inhomogenitäten.

Bei Vorhandensein eines Echosignals von der Bauteilrückseite kann davon ausgegangen werden, dass das Bauteil ungeschädigt ist und sich keine inneren Schäden im Bauteil befinden. Diese Aussage gründet physikalisch darauf, dass das ausgesendete Schallsignal eine ungestörte Struktur für die Schalleitung benötigt und für ein Echosignal von der Bauteilrückseite der Schall das Bauteil ungehindert zweimal durchlaufen muss. Ist dies möglich, ist die innere Struktur ungeschädigt. Wird bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen kein Echosignal von der Bauteilrückseite empfangen, besteht ein Verdacht auf eine innere Schädigung.

Mit einem indirekten Verfahren wie Ultraschallecho kann keine eindeutige Aussage über die tatsächliche Art der Schädigung getroffen werden. Daher werden z. B. bei Holzbauwerken unklare Bereiche markiert und zerstörungsarm mit der Bohrwiderstandsmethode an dieser Stelle eine punktuelle Untersuchung durchgeführt (vgl. gesonderten Abschnitt 4 über die Besonderheiten bei der Begutachtung von Holzbauwerken).

Grenzen von Ultraschallecho liegen zum einen in der Unereichbarkeit des Bauteils (direktes Ankoppeln an das Bauteil ist erforderlich), zum anderen wenn eine Materialschicht auf dem zu untersuchenden Bauteil aufgebracht ist (z. B. Estrich und Folie auf einer Betonplatte).

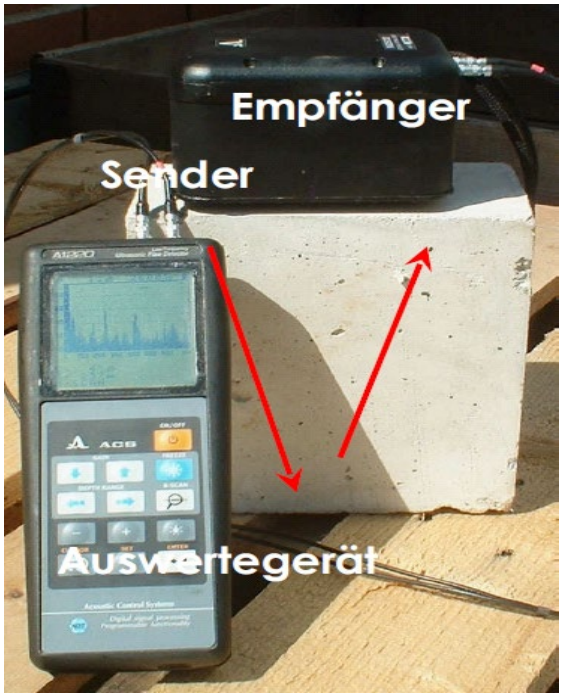

Abbildung 1: Prinzip des Ultraschallechoverfahrens

3.2 **Messverfahren Radar (auch Impulsradar, Georadar)**

Radar ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem Störungen und Inhomogenitäten in massiven Körpern (Bauwerken, Bauteilen, Böden) durch Reflexionen von elektromagnetischen Wellen festgestellt werden können. Gemessen wird die Laufzeit und Amplitude der empfangenen Radarwellen und deren Messposition.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Radar sind vielfältig. So wird Radar

- im Beton- und Stahlbetonbau [8],
- in historischen Bauwerken (Mauerwerk, Holz [10]),
- für Verkehrswege (Schichtaufbau, Tragschicht),
- für Erdbauwerke / Dämme,
- für Baugrunduntersuchungen sowie
- in der Archäologie

mit dem Ziel verwendet, den strukturellen Aufbau (Schalen, Abmessungen), Einbauteile (Bewehrung, Klammern, Dübel, Anker, Leitungen, Fundamente) und Schadstellen (Risse, Ablösungen) zu orten.

Die Grenzen von Radar sind

- das Vorhandensein von Metall (z. B. einer Alufolie in einer Bitumenbahn) → führt zu Totalreflexion,
- nasse Oberflächen → führt teilweise zu extremer Signaldämpfung.

Je nach Umgebung und Antennengröße kann die Messung von Hand, mit einem kleinen Wagen oder vom Auto aus durchgeführt werden. Weiterführende Literatur zum Thema Radar kann [10] und [8] entnommen werden.

3.3 Messverfahren Betondeckungsmessung / Bewehrungsortung

Mit dem Betondeckungsmessgerät kann die Lage (Tiefe und Position) von Bewehrung bestimmt werden. So kann die vorhandene Bewehrung bei Bestandsbauten bestimmt werden, um z.B. eine vorhandene Statik zu prüfen oder eine Statik für einen Bestandsbau erstellen zu können. Weiter kann die Betondeckung für Brandschutznachweise oder den Nachweis der ausreichenden Betondeckung bei der Exposition von Chloriden etc. gemessen werden.

Um bei Bohrkernentnahmen keine Eisen zu beschädigen bzw. wenn die Eisen genau visuell untersucht werden sollen kann so die Lage der Bewehrung bestimmt werden.

Ein sehr großer Vorteil der Bewehrungsortungsverfahren gegenüber der Radartechnik ist, dass die Bewehrungsortungsverfahren auf Wirbelstrombasis oder magnetinduktiv funktionieren und so bei feuchtem Beton angewendet werden können.

Abbildung 2: Betondeckungsmessung

3.4 **Rissmonitoring**

Um zu Untersuchen, ob sich ein Riss „in Ruhe“ befindet und z.B keine Verformungen durch eine thermische Beanspruchung vorliegen, ist ein digitales Rissmonitoring sehr sinnvoll. Neben der Lufttemperatur und Luftfeuchte der Umgebung wird die Rissbewegung aufgezeichnet.

Auch für Untersuchungen, ob eine gezielt aufgebrachte Belastung eine Verformung am Riss zur Folge hat, ist eine digitale Rissuntersuchung von großer Bedeutung.

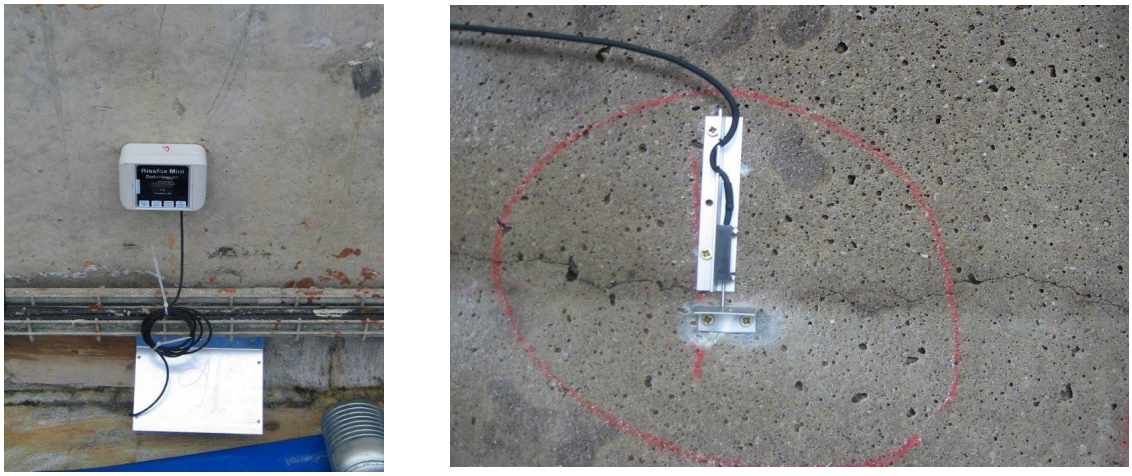

Abbildung 3: Rissmonitoring (links Messeinheit; rechts Messsensor)

3.5 **Haftzuguntersuchung**

Für die Entscheidung, ob der Untergrund für eine Beschichtung oder einen Mörtelauftrag eine ausreichende Tragfähig besitzt, werden Haftzugprüfungen vorgenommen.

Mit den Untersuchungen ist auch indirekt eine Untersuchung der Qualität der oberen Betonstruktur bzw. an Bohrkernen die Haftzugfestigkeit in unterschiedlichen Tiefen möglich.

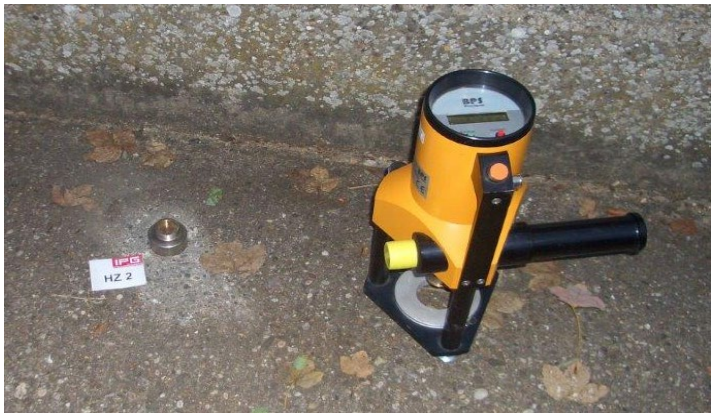

Abbildung 4: Haftzugversuch an Betonoberfläche

3.6 **Rückprallhammer (Schmidhammer)**

Mit dem Rückprallhammer kann die Druckfestigkeit der oberflächennahen Schicht bestimmt werden. Untersuchungen am karbonatisierten Beton ergeben zu hohe scheinbare Druckfestigkeiten – hier muss die Druckfestigkeit abgemindert werden. Exakte Druckfestigkeiten können mittels Druckversuch an einem Bohrkern (50mm) bestimmt werden.

Die Untersuchungsoberfläche muss eben und mit einem Schleifstein vorbereitet sein - Oberflächenveränderungen durch korrosive Einflüsse, Feuer, Frost, chemischen Angriff ergeben keine belastbaren Ergebnisse.

Abbildung 5: Rückprallhammermessungen in einer Tiefgarage

3.7 **Thermografie**

Bei der Thermografie muss zwischen der allgemein bekannten passiven Thermografie (Gebäudediagnostik, Wärmeverluste), und der aktiven Thermografie (mit einem Erwärmen des zu untersuchenden Bauteils vor der Thermografiemessung) unterschieden werden.

passive Thermografie

- Gebäudediagnostik (Wärmeverluste/Wärmbrücken/Feuchte)
- Daten für Energiepass
- Qualitätssicherung von Wärmedämmmaßnahmen
- Leckageortung bei warmen Wasser
- Ortung von Fußbodenheizungen und deren Leckagen
- Bauwerksuntersuchung (Homogenität von Mauerwerk unter Putz...)

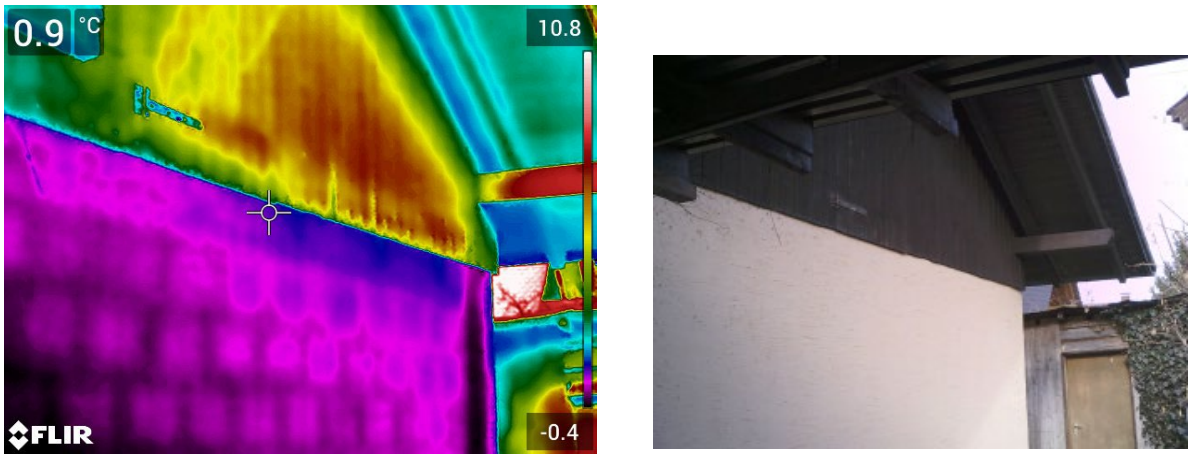

Abbildung 6: links: Ergebnis einer passiven Thermografiemessung, Formate der Steine in der Wand zu erkennen, homogener Wandaufbau, keine Wärmebrücken; rechts: Vergleichsfoto mit Wand und Putz

aktive Thermografie

Anwendungsmöglichkeiten von aktiver Thermografie

- Ortung von oberflächennahen Hohlstellen und Kiesnestern und Ablösungen von Putzen
- Ortung von Hohlstellen und Ablösungen von statisch relevanten Bauteilen z.B. CFK-Laminate auf Beton
- Lokalisierung von Mauerwerk und Fugen hinter Putz
- Ortung von Bereichen mit erhöhter Feuchtigkeit in oberflächennahen Bereichen

Physikalische Grenzen von aktiver Thermografie

- Defekte in zu großer Tiefe (über 5cm)
- Zu geringes thermisches Verhalten der unterschiedlichen Stoffe, d.h. keine Unterschiede sichtbar
- Bauteil nicht erwärmbar bei zu geringer Wärmeleitfähigkeit

IPG
Instandsetzungsplanungs GmbH

Im Rahmen eines ZIM- Forschungsvorhabens zusammen mit der Universität Weimar zum Thema Feuchte unter Beschichtungen zu lokalisieren wurden auch Thermografiemessungen vorgenommen. Folgend Ergebnisse an einem Probekörper mit gezielt eingebrachten Hohlstellen unter der Beschichtung.

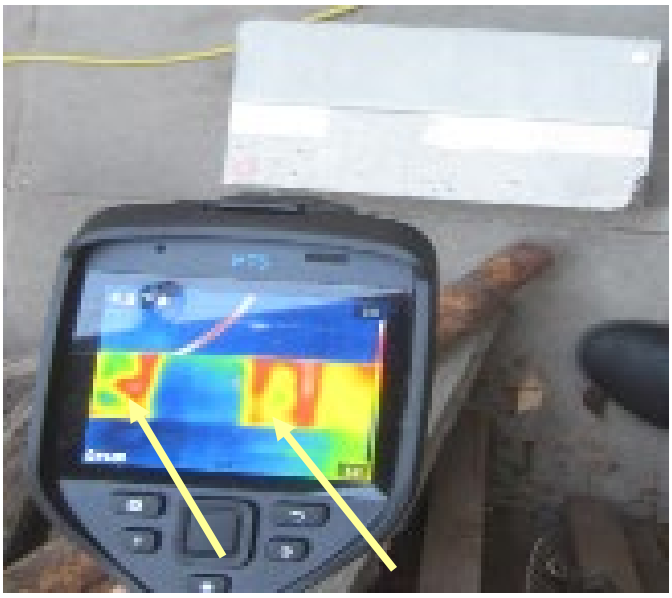

Abbildung 7: Ergebnis einer aktiven Thermografiemessung (Erwärmung mit Heizlüfter) Hohllagen unter Beschichtung zu erkennen (gelber Pfeil)

Die Untersuchungen ergaben, dass es mit aktiver Thermografie folgendes möglich ist:

- Ablösungen der Beschichtung vom Beton
  → gut detektierbar

- Feuchte unter intakter Beschichtung
  → nicht detektierbar

- Feuchte bei Bodenplatte ohne Beschichtung
  → gut detektierbar

3.8 **Potentialfeldmessung zur Detektion von Korrosion**

- sehr genaue Analyse der geschädigten Bereiche möglich durch Sondierungsöffnungen zum Kalibrieren →
- genaue Eingrenzung der geschädigten Bereiche möglich →
- Wenn 1m² nicht saniert werden muss, wird so viel eingespahrt wie 100m² detaillierter Untersuchung kosten
- D.h. genaues Arbeiten spart viel Geld!
- Zusätzlich Sondagen und Bohrmehlproben immer erforderlich

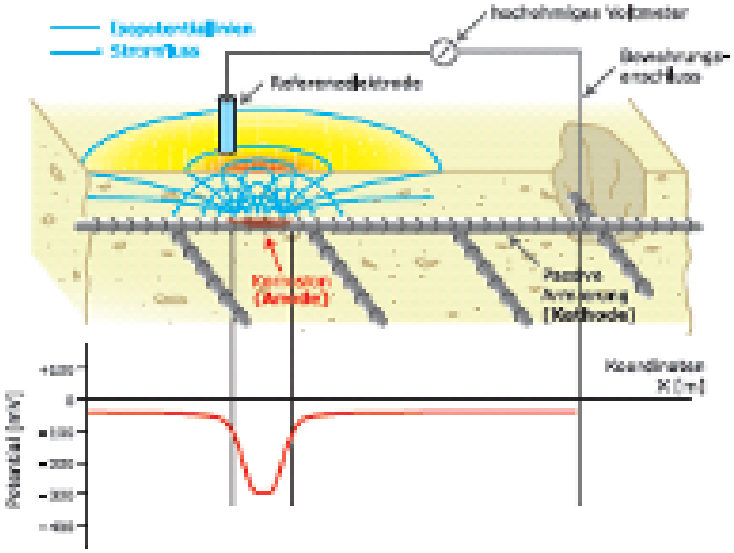

Abbildung 8: Prinzip der Potentialfeldmessung, Aus: Bauphysikkalender 2012

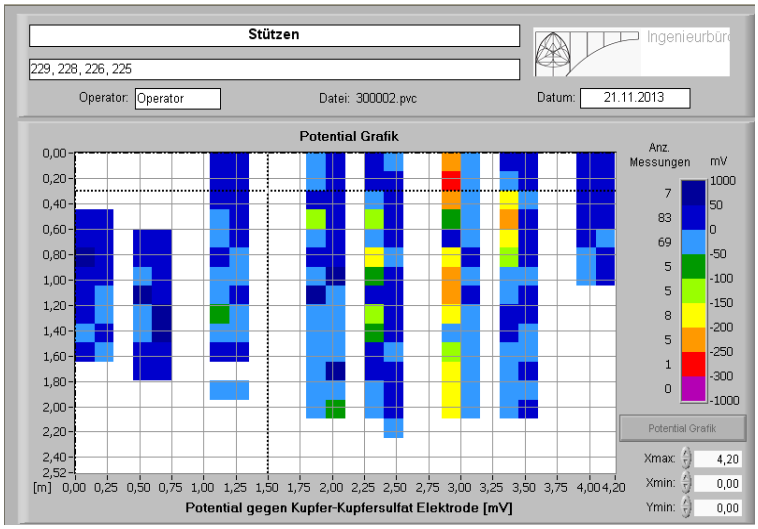

Abbildung 9: Potentialfeldmessung horizontal in zwei Ebenen um Stützenfüsse; fast alle Stützen ohne Verdacht auf Schäden

3.9 **Sondage**

Um den Zustand der Bewehrung bestimmen zu können sind Sondagen unumgänglich. Mit dem beschriebenen Bewehrungsortungsgerät kann die Lage der Eisen gut bestimmt werden und es empfielt sich ein oberflächennahes Eisen freizulegen, da die Exposition meist “von Außen” kommt.

Mittels Phenolpthallein (Indikatorflüssigkeit) kann die Karbonatisierung bestimmt werden. Resultat: rosa → ausreichende Alkalität des Betons → Eisen gegen Luftrost geschützt. Aber- keine Aussage zu chloridinduzierter Korossion.

Abbildung 10: Sondage an Bewehrung – rosa Farbausschlag von Phenolpthallein zeigt Alkalität des Betons an – d.h. Kein Rost durch Luft, aber – Lochfraßkorossion durch Chloride → Salzanalyse mittels Bohrmehlprobe!!

3.10 **Salzanalyse**

über OK Boden, 1cm Tiefenschritt, sehr hohe
n (Labor IPG); visuell guter Eindruck der
äden zu erkennen

4	0 - 10		rö4/4	169,0	0,21	1,584
4	10 - 20		"	185,0	0,23	1,734
4	25 - 35		rö4_10 / 40	103,0	0,13	[illegible]
	35 - 45		"	78,8	0,10	[illegible]
	45 - 55		"	61,9	0,08	[illegible]
	55 - 65		"	32,8	0,04	0,308
	65 - 75		"	21,9	0,03	0,205

3.11 **Bohrkernentnahmen**

Oft ist nur ein Riss in der Beschichtung zu erkennen. Nun stellen sich die Fragen:
Wie tief geht der Riss? Wie ist der Bodenaufbau?

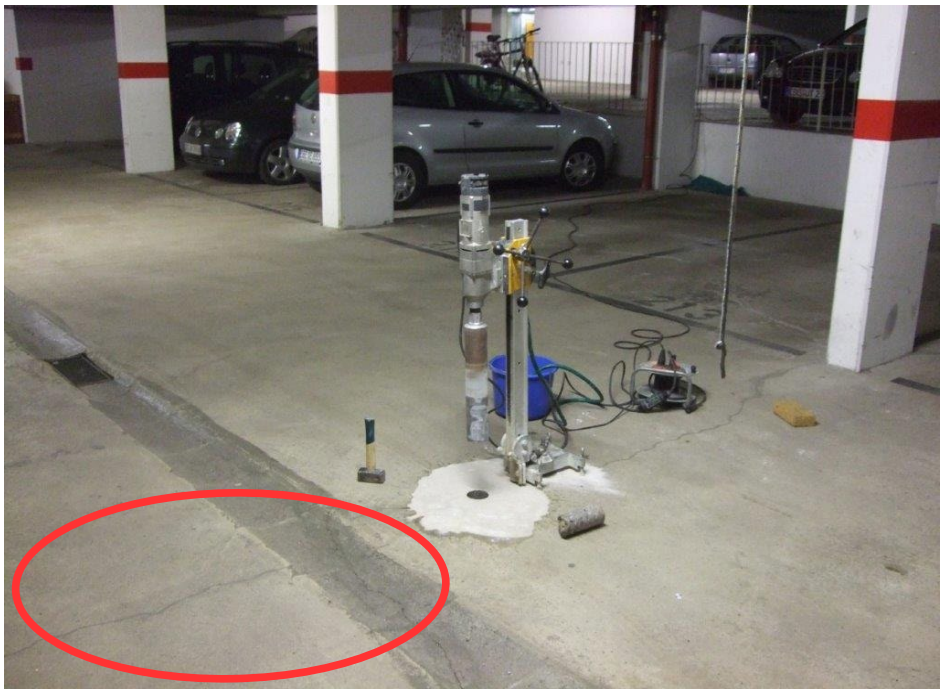

Abbildung 12: Riss in Beschichtung

Abbildung 13: links: Bohrloch mit Riss und Beschichtung direkt auf Betonplatte; rechts: Aufbeton auf Bodenplatte

Mit Bohrkernen kann folgendes bestimmt werden:

- Länge des Risses
- Struktur des Betons (Rundkorn, gebrochenes Korn, Aufbeton auf Bodenplatte)
- falls erforderlich Druckfestigkeitsbestimmung

4 Praktische Anwendungsbeispiele

4.1 Bestandsbau mit unbekannter Gründung vor Umnutzung

Abbildung 14: Keller mit unbekannter Bodenplatte und mittelalterlicher Kommunwand I

Fragestellung:

Lage der Fundamente unter der Bodenplatte
Gleichmäßigkeit der oberen und unteren Bewehrung?

→ Lösung: Untersuchung mit Radar

Fragestellung:

Zustand der Stützen?
Homogenität des Betons?

→ Lösung: Untersuchungen mit Ultraschallecho

Ultraschallechomessungen

Mit den akustischen Ultraschallechomessungen soll die Homogenität der Bodenplatte bestimmt werden. So kann der Struktur, wenn innere Hohlräume und Kiesnester ausgeschlossen werden können, in der Statik “mehr Vertrauen” zugesprochen werden.

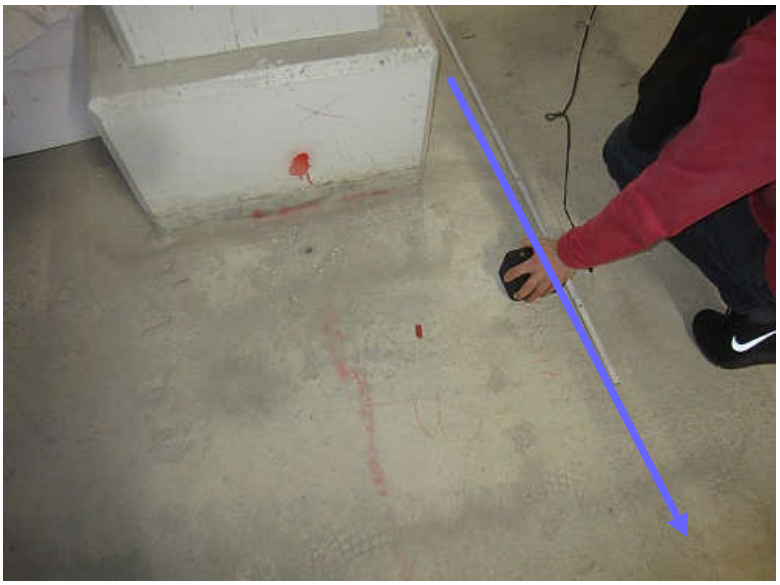

Abbildung 15: Ultraschallechomessung an der Bodenplatte

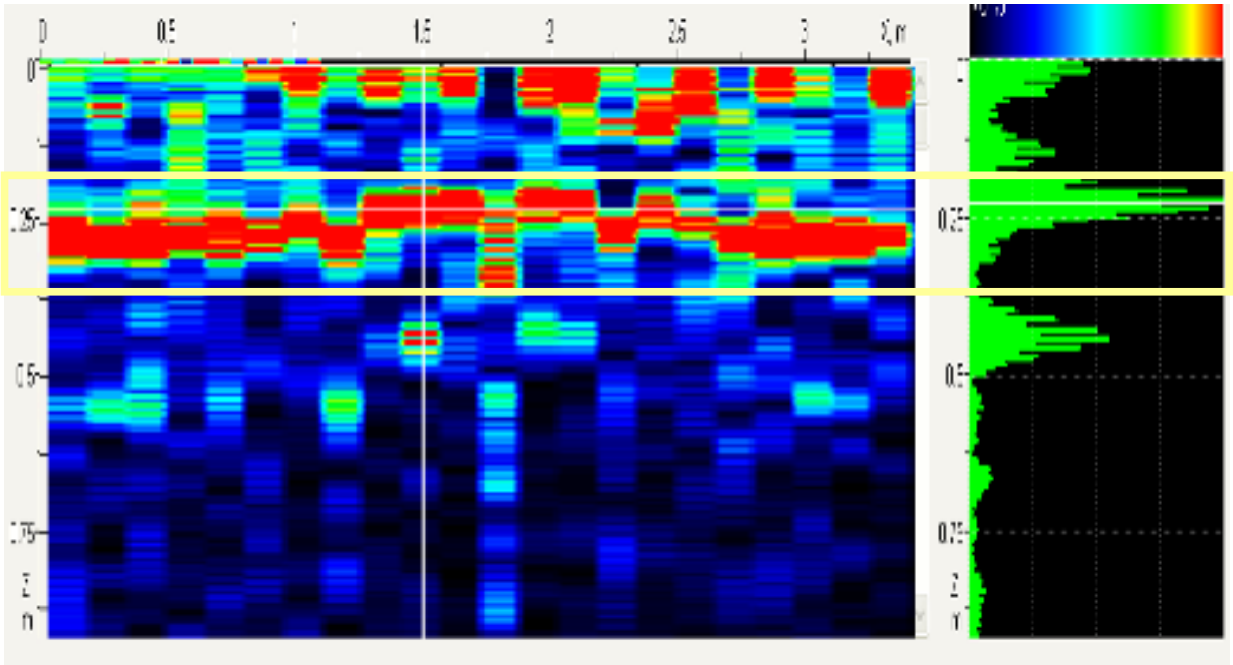

Abbildung 16: Ergebnis einer Ultraschallechomessung an der Bodenplatte; Echo an der Unterseite der Platte markiert. Keine inneren Hohlräume

Abbildung 17: Ultraschallechomessung an einer Außenstütze

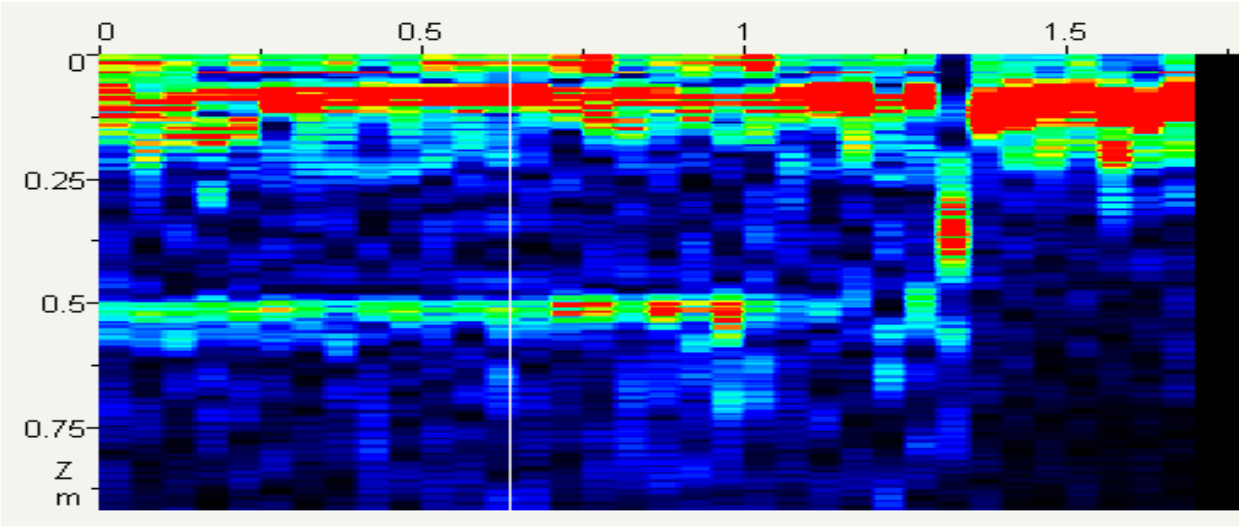

Abbildung 18: Ergebnis der Ultraschallechomessung an einer Außenstütze; homogene Struktur, unterer Beton nicht akustisch mit Stütze verbunden

Ergebnis der Ultraschallechomessungen:

- Bodenplatte homogen, keine Hohlräume, Kiesnester
- Stütze ebenfalls homogen, untere Verbreiterung akustisch nicht mit Stütze verbunden

Radarmessungen mit zwei unterschiedlichen Messfrequenzen

Um eine bessere Auflösung der Struktur der Bodenplatte und unter der Bodenplatte zu ermöglichen, wurde mit zwei Radarfrequenzen untersucht.

Abbildung 19: Radarmessung auf der Bodenplatte; links mit hochfrequenter 1,5GHz Antenne, rechts mit 900MHz Antenne

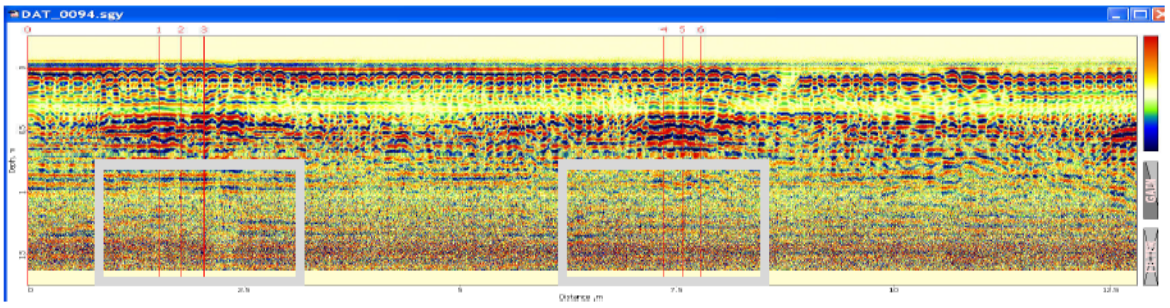

Abbildung 9: Radarmessung, Bezeichnung siehe Kopfzeile; Lage siehe Plan; linke Stütze: (Breite 50cm) (davor etwa 70; danach 103cm (Fundamentbreite links: ca. 2,2m) rechte Stütze (85 danach 70) Fundamentbreite: ca. 2,1m

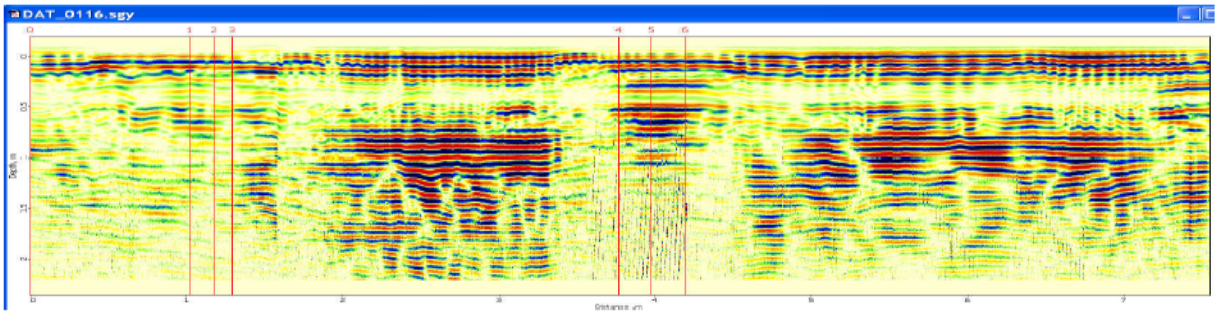

Abbildung 20: Ergebnis von Radarmessungen, Lage der Fundamente zu erkennen

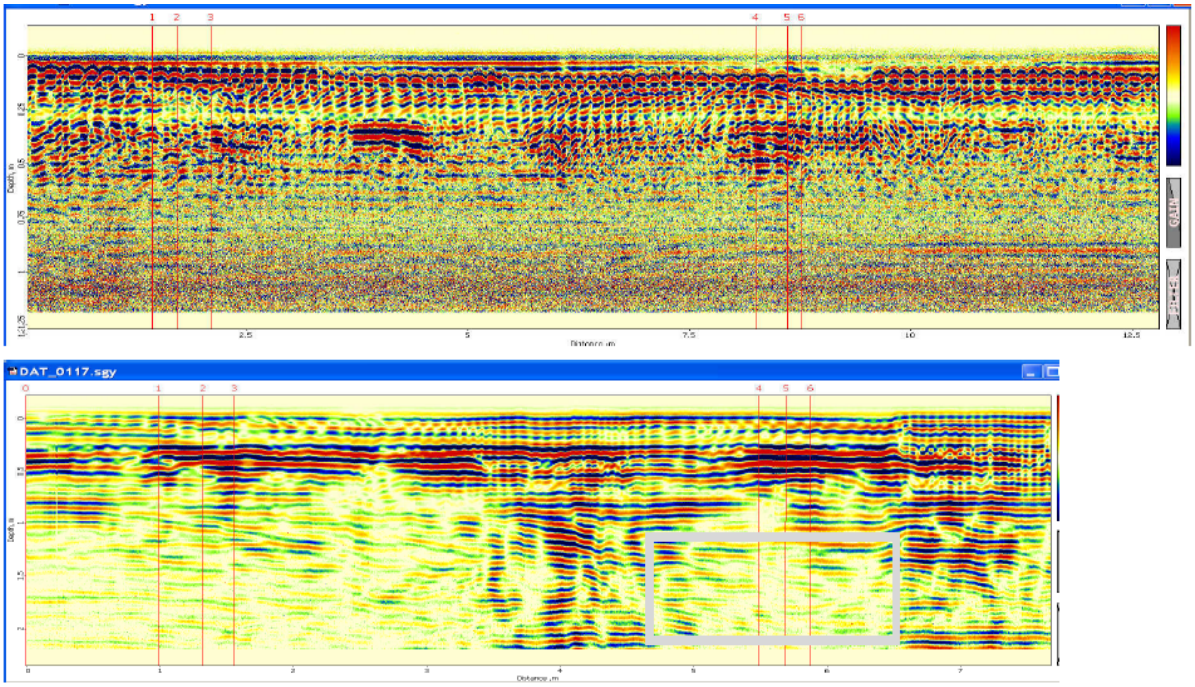

Abbildung 21: Ergebnis von Radarmessungen, Lage der Fundamente zu erkennen, unterschiedliche Struktur der Bodenplatte

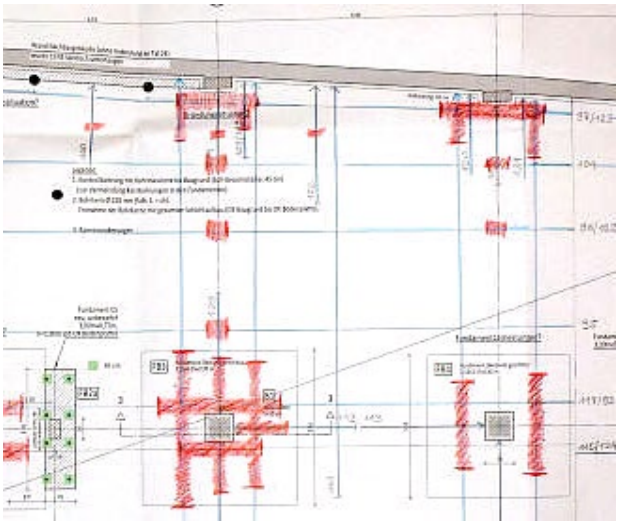

Abbildung 22: Plan mit Lage der Fundamente

Ergebnis:

- Lage der Fundamente stimmt teils mit den Annahmen überein
- Fundamente unter der Aussenwand erheblich breiter als angenommen
- Bewehrungskonzentration unterscheidet sich in der Bodenplatte teils erheblich

Nutzen für den Auftraggeber

Reale Lage der Fundamente bekannt;
guter Zustand der Bodenplatte nachgewiesen
→ Genaue Daten ermöglichen optimierte Statik

4.2 **Parkhaus mit Trapezprofilen mit Rostflecken** (Schweiz, mit TFB)

Abbildung 23: Unteransicht einer Parkhausdecke in Bayern mit Schädigung (Rostflecken)

Rostflecken an der Untersicht einer Parkgaragendecke
→ in korrodierten Bereichen sind Querschnitte (Blechstärke) der Profile herabgesetzt
→ Befürchtung dass erhebliche Sanierung erforderlich ist

Lösungsansatz:

zerstörungsfrei geschädigte und intakte Bereiche der Konstruktion unterscheiden
→ Schaden eingrenzen
mit Ultraschallecho die Dicke der Stahlprofile von der Unterseite aus bestimmen

Messung

Abbildung 24: Unteransicht mit Ultraschallechomessung

Ergebnisse

→ Schäden eindeutig zu erkennen → zur Verifizierung an einigen Stellen Bauteilöffnung mit einer Flex

→ Vergleich der Ultraschalldaten mit realen Querschnittsmessungen

Abbildung 25: geschädigte Bleche, mittels Ultraschallechomessung lokalisiert

Nutzen für den Auftraggeber:

Ultraschallmessungen → Bereiche mit Minderdicken des Trapezprofiles eingrenzen

durch Kenntnis der geschädigten Bereiche →
Schädigungsmechanismus und Eintrag der streusalzhaltigen Wässer bestimmbar →
gezielt Wasserableitung abdichten
Ausmass der Schäden bestimmt → Sanierung optimiert

4.3 Potentialfeldmessung bei einer Parkhausrampe

Aufgabenstellung:

- im Bestandsbau Bereiche mit möglichen Schäden an Bewehrung lokalisieren

Abbildung 26: links: Potentialfeldmessung mit 4-Rad-System von Proteq; rechts: Sondage von Stahl mit Lochfrass; elektrischer Anschluß für Messung

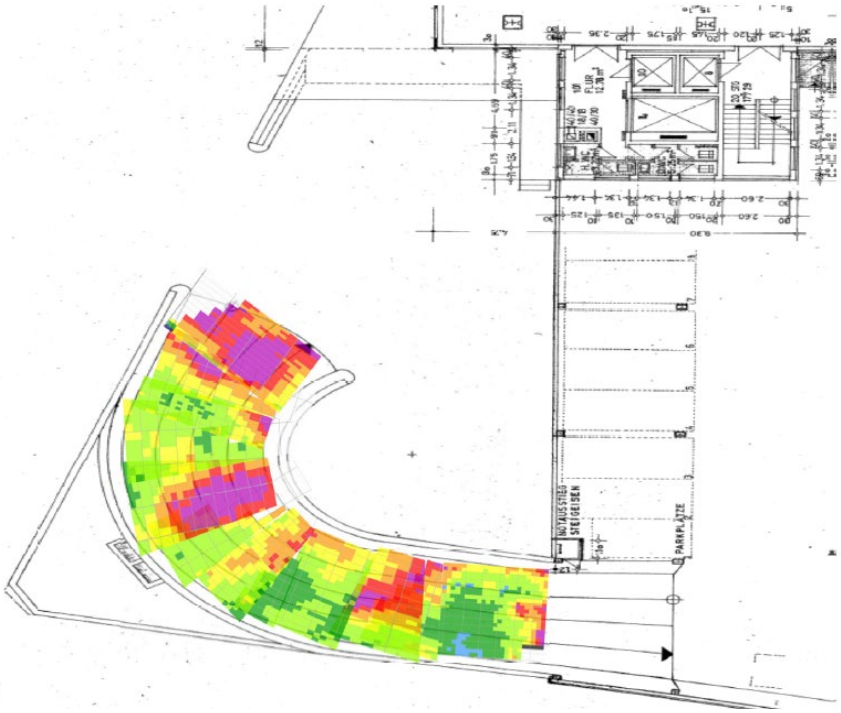

Abbildung 27: Ergebnis einer Potentialfeldmessung; lila Bereiche deuten auf Schäden hin

Nutzen für den Auftraggeber:

- optimierte Planung der Sanierung
- realistische Angabe von Sperrzeiten möglich

5 Zusammenfassung

Mit den dargestellten Praxisbeispielen konnte die Leistungsfähigkeit der zerstörungsfreien Prüfverfahren praktisch dargestellt werden.

Folgender Ansatz ermöglicht einen reibungslosen Projektablauf:

Vor der Untersuchung das Ziel detailliert abklären

→ Untersuchungsmethode definieren aber immer
„Erkenntnisgewinn durch Messung pro Aufwand“ bei den Messungen beachten!

Einsatz verschiedenartiger zerstörungsfreier Prüfverfahren kombinieren
→ keine Schädigung der Bausubstanz → genau untersuchen

Messergebnisse sind physikalisch belastbar → „echte Querschnitte“ als Ergebnis
→ für die weitere Tragwerksplanung praktisch verwendbar

Bauwerk gezielt messtechnisch „gesundprüfen“ d.h. trotz Schäden in der Konstruktion
→ ungeschädigte Bereiche markieren´
→ statische Sicherheit der Konstruktion
→ viel wertvolle Bausubstanz kann erhalten werden (geringere Trocknungszeiten etc.)

Weiter ist wichtig zu beachten, dass mit den vorgestellten Verfahren sofort auf der Baustelle eine „in situ“ eine Aussage getroffen werden kann, und an Hand der erlangten Informationen Entscheidungen getroffen werden können.

Entscheidungshilfe für die Anwendung von zerstörungsfreie Prüfung

Suche von:	Tiefe Bewehrung/Eisen	=> Radar
	Bauteildicken Beton	=> Ultraschallecho
	Risse in Beton/Holz parallel zur Oberfläche	=> Ultraschallecho
	Ablösungen von Putz	=> Ultraschallecho / aktive Thermografie

Grenzen der Verfahren:	Radar:	zu viel Metall / Wasser
	Ultraschallecho:	Estrich auf dem Boden, Fläche nicht direkt erreichbar

17

6 Literatur

[1] Hasenstab, A., Baron, T.: Kombinierte Anwendung von Ultraschallecho und Bohrwiderstand bei der Prüfung von Holzkonstruktionen. Der Bausachverständige, Jahrgang 7, Heft 1 (Februar) 2011, S. 20-26

[2] Hasenstab, A. et al.: Zerstörungsfreie Prüfung in der Baudenkmalpflege. Teil 1: Theoretische Grundlagen. Restauro 1/2011, S. 33-39

[3] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis. Tagungsband der DGzfP-Jahrestagung 2008, St. Gallen, 28.04.-30.04.2008

[4] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): ZfPBau-Kompendium.http://www.bam.de/microsites/zfp_kompendium/welcome.html (2004)

[5] Walter, A. und A. Hasenstab: Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau in: Fouad N. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2012, Berlin: Ernst und Sohn (2012)

[6] Hasenstab, A.: Ultraschall-Echo, ein ZfP-Verfahren zum Lokalisieren von Fehlstellen in Brettschichtholz (BSH) und Vollholz – Praxisbeispiele. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Berlin

[7] Hasenstab, A., Osterloh, K., Robbel, J., Krause, M., Ewert, U., Hillemeier, B.: Mobile Röntgenblitzröhre zum Auffinden von Holzschäden. DGzfP-Jahrestagung 17.-19.05.2004 in Salzburg, DGzfP-Berichtsband auf CD: Plakat 15

[8] Straußberger, D., Hartmann, I., Hasenstab, A.: Straßenuntersuchungen mit Radar, Ultraschallecho und FWD. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Poster 13, Berlin

[9] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis. Jahrestagung DGzfP DACH, St. Gallen 2008

[10] Hasenstab, A., Homburg, S., Maierhofer, C., Arndt, R.: Holzkonstruktionen mit Radar und Thermografie zerstörungsfrei untersuchen Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 2007, Poster 14, 14.-16.05.2007 Fürth

[11] Maierhofer, C., Röllig, M., Hasenstab, A., Schönitz, A.: Praktische Anwendung der aktiven Thermografie zur Untersuchung von Stahlbetonbauteilen. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Poster 13

Literatur, Verfahrensbeschreibung etc. siehe:

www.zfp-hasenstab.de/Veröffentlichungen