

VHV-BAUSCHADENBERICHT

HOCHBAU 2023 / 24

BAUEN NEU DENKEN



Adobe Stock ©

6.3.4 Moderne bildgebende Bauwerksdiagnostik in Praxisbeispielen

1 Einleitung

Die Methoden der zerstörungsfreien Bauwerksprüfung (ZfPBau) erlauben es, von der Bauwerksoberfläche aus ohne oder mit nur minimalem Eingriff Informationen aus dem Innern von Bauteilen zu erhalten, zum Beispiel zu Bauteildicken und Schichtaufbauten, zur Lage von Bewehrung oder zu Fehlstellen oder anderen Schäden. Dabei kommen in aller Regel sogenannte »Echo-Methoden« zum Einsatz, die von einer Bauteiloberfläche aus Signale ins Innere senden und aus diesem empfangen. Computeralgorithmen ermöglichen dann eine bildgebende Umwandlung und darstellende Rekonstruktion des Bauteilinnern. In welcher Qualität und was überhaupt bildgebend dargestellt werden kann, hängt ab von



Dr.-Ing. Sebastian Schulze

- den physikalischen Grundlagen der zum Einsatz kommenden Messtechnik bzw. des Messverfahrens,
- Materialität und Abmessung des untersuchten Bauteils/Bauwerks sowie
- den Randbedingungen der Untersuchung (Zustand, Vorschädigungen, Umweltbedingungen usw.)

In vielen Fällen ist daher eine Verfahrenskombination zielführend, um möglichst zuverlässige und detaillierte Informationen aus dem Bauteilinnern zu erhalten.

Bildgebende Verfahren basieren häufig auf akustischen (elastischen) oder elektromagnetischen Wellen und Informationen. Ergänzend kommen elektrochemische oder visuelle Verfahren zum Einsatz. Einen Überblick über die einzelnen Verfahren, deren theoretische Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten geben die DGZfP-Merkblätter der Bauwesen-Reihe der **DGZfP** (Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.¹). Im vorliegenden Beitrag soll daher auf eine allzu theoretische Fokussierung und auch auf eine vertiefende Erläuterung der Vor- und Nachteile einzelner Untersuchungsmethoden verzichtet werden und stattdessen anhand verschiedener Praxisbeispiele eine eher prüfungsorientierte Betrachtung erfolgen.

Kurz: Es wird für verschiedene Fragestellungen aus Qualitätssicherung, Zustandsanalyse und Schadenbewertung im Bauwesen die passende Herangehensweise mit diagnosti-

1 Vgl. www.baufachinformation.de/dgzfp [abgerufen am 29.05.2024]

schen zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Methoden erläutert – überwiegend für Betonbauwerke, aber auch für weitere Bauwerke.

2 Fragestellungen und Lösungen aus der Bauwerksdiagnostik

2.1 Nachweis der Betondeckung der Bewehrung in Bestand und Neubau

Der Nachweis der Betondeckung der Bewehrung im eingebauten Zustand, also nach der Betonage, kann sowohl im Bestand sinnvoll und erforderlich sein – etwa als Brandschutznachweis, zur Bewertung der Restlebensdauer bei fortschreitender Karbonatisierungsfront im Beton oder zur Abschätzung des Umfangs von Instandsetzungsmaßnahmen – als auch im Neubau im Rahmen der Qualitätssicherung und bei der Bewertung von Ausführungsmängeln. Vorgaben für die Betondeckung gibt es in einschlägigen Regelwerken, zum Beispiel Eurocode 2², und zwar nicht nur für Mindest-, sondern auch für Höchstmaße. Oft genug werden zulässige Bereiche in der Praxis über- oder unterschritten, mit teils erheblichen Folgen für die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Besonders im Neubau können Spätschäden – meist außerhalb des Gewährleistungszeitraums festgestellt – mit relativ geringem Aufwand vermieden werden, wenn Mängel unmittelbar nach Fertigstellung dokumentiert werden.

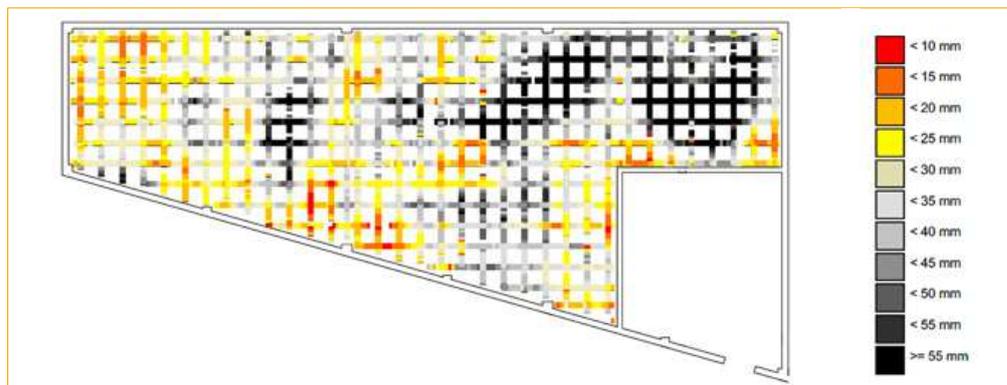


Abb. 01: Grafische Darstellung der Betondeckung an einer Sohle in Form einer »Heatmap« mit Farbschema zum Nachweis von Bereichen zu geringer und zu hoher Betondeckung [Grafik: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

Wird die Messung der Betondeckung systematisch nach einschlägigen Richtlinien durchgeführt (zum Beispiel DBV-Merkblatt³), so kann eine statistische Bewertung erfolgen und ein Ist-Wert für die Mindestbetondeckung $c_{\min,ist}$ ermittelt werden, der direkt mit

- 2 DIN EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken (diversere Teile/ Nationale Anhänge/Änderungen, mit diversen Veröffentlichungsdaten)
- 3 Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (Hrsg.): DBV-Merkblatt »Betondeckung und Bewehrung – Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2«, Eigenverlag, Berlin, 2015

den Soll-Werten gemäß Plan und/oder statischer Vorgabe verglichen werden kann. Auf diese Weise kann unmittelbar und belastbar überprüft werden, ob eine Bauteilfläche die Vorgaben einhält und damit als »abgenommen« oder »nicht abgenommen« (= Nacharbeiten erforderlich) einzustufen ist.



Abb. 02: Durchführung einer Betondeckungsmessung auf einem Parkdeck, statistische Bewertung und Ermittlung einer Mindestbetondeckung $c_{min,ist}$ [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

2.2 Ortung von Bewehrung (und anderen Einbauteilen) für verschiedene Prüfaufgaben

Bewehrung und andere Einbauteile in Beton und anderen Werkstoffen können mit verschiedenen Methoden zerstörungsfrei ermittelt werden. Radar eignet sich besonders für die schnelle Untersuchung auf oberflächennahe Einbauten in diversen Baustoffen, Ultraschall auch für Tief liegendes in Beton. Per Radiographie (Röntgen) können relativ dünne Bauteile hochauflösend und direkt bildgebend untersucht werden.

Prüfaufgaben sind zum Beispiel schadenfreies Anlegen von (Kern-)Bohrungen, Überprüfen des Bewehrungsrasters oder Ortung sonstiger Einbauteile.

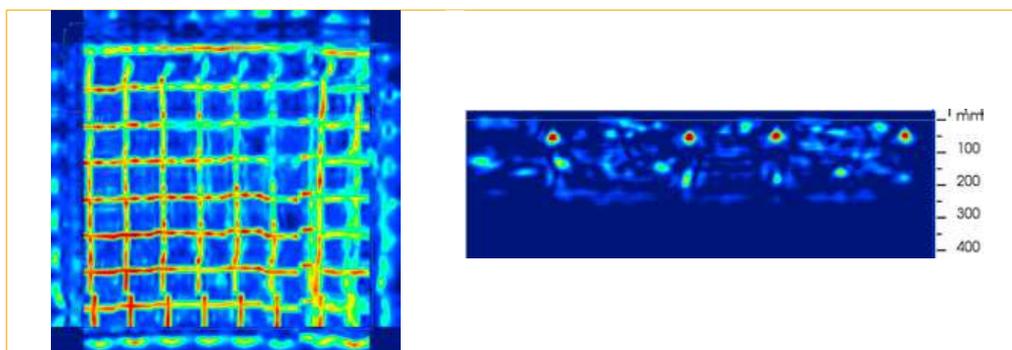


Abb. 03: Visualisierung von Mattenbewehrung (links, Tiefenschnitt) und Einzelstäben in Beton (rechts, Querschnitt durch das untersuchte Bauteil) per Radar [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

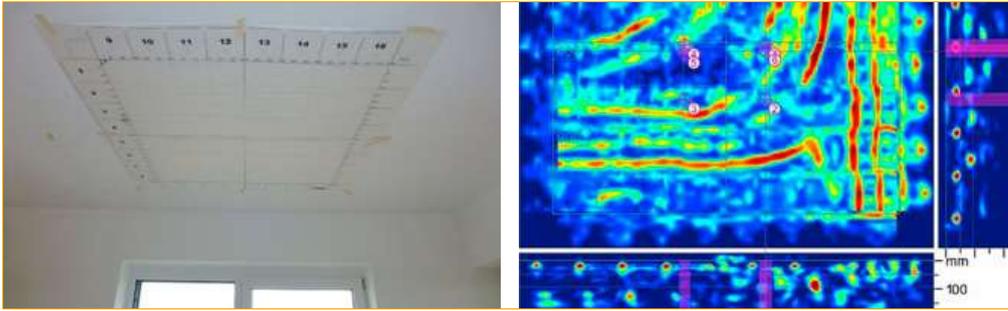


Abb. 04: Messfeld und ausgewertete Radarmessdaten zur Ortung von Warmwasserschläuchen aus Kunststoff in Beton (Betonkerntemperierung, BKT) [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]



Abb. 05: Untersuchungsaufbau und Röntgenbild einer hochbelasteten Elementwand für das Anlegen von Kernbohrungen ohne Bewehrungstreffer und Fehlbohrungen: Erkennbar sind Bewehrungsstäbe, A-Böcke der Fertigteilschalen sowie Abstandhalter (Kunststoffräder). [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

2.3 Zustandsuntersuchung denkmalgeschützter Bauwerke

Bei denkmalgeschützten Bauwerken – aber auch bei statisch hochbelasteten Konstruktionen unbekanntem Aufbaus/Zustands und bei augenscheinlich stark geschädigten Bauteilen – kann und darf häufig keine Öffnungsstelle zur eindeutigen Feststellung des Istzustands angelegt werden. Hier kann die Radiographie (Röntgen) besonders hilfreich sein, da eine direkte und eindeutige Bildgebung des inneren Aufbaus möglich ist.



Abb. 06: Untersuchung einer denkmalgeschützten Eisenbetondecke per Radiographie: Messaufbau [Foto: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH]

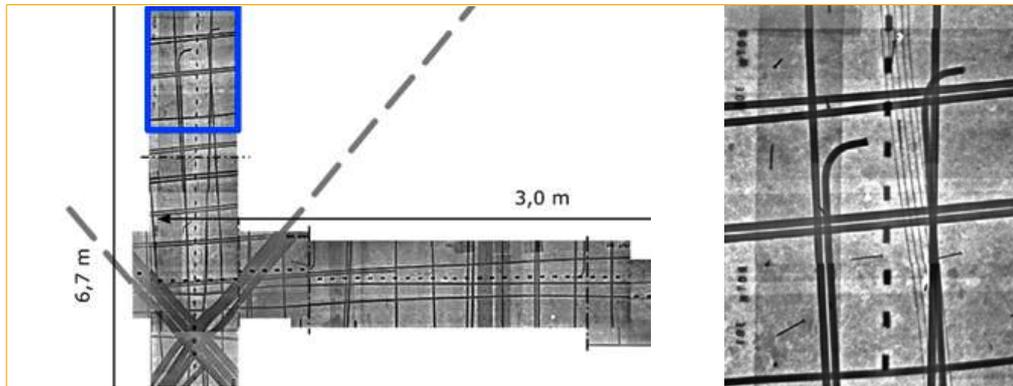


Abb. 06 Fortsetzung: Untersuchung einer denkmalgeschützten Eisenbetondecke per Radiographie: Röntgenbilder der Lage des Glatteisens/Glattstahls mit Endaufbiegung zur Verankerung im Beton [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH]

2.4 Feststellung von Korrosion an Bewehrung

Aktive Korrosion in Stahlbetonbauten kann mit der Potentialfeldmessung erkannt werden. Dafür wird prinzipiell der schwache elektrochemische Strom des Korrosionsprozesses genutzt. Die Methode ermöglicht die Erkennung von Schädigungen, bevor sich diese durch Rissbildung oder gar Abplatzungen an der Bauteiloberfläche bemerkbar machen. Auf diese Weise können schadhafte von ungeschädigten Bauteilbereichen abgegrenzt und eine zielführende, wirtschaftliche Instandsetzung großflächiger Bauteile möglich werden. Die Potentialfeldmessung erfordert verschiedene ergänzende Untersuchungen zur Interpretation der Messergebnisse, unter anderem auch eine Messung der Betondeckung der Bewehrung.



Abb. 07: Potentialfeldmessung an einem Wandssockel, Potentialkarte zur Abgrenzung von Bereichen hoher (rot-orange) und geringer Wahrscheinlichkeit aktiver Korrosion (grau) [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

An beidseitig zugänglichen Bauteilen, zum Beispiel Decken und Wänden, aber auch an Ecken von Stützen und Unterzügen ist mit der Radiographie eine direkte Visualisierbarkeit von Korrosion und deren Auswirkungen auf die Bausubstanz (Risse) möglich.

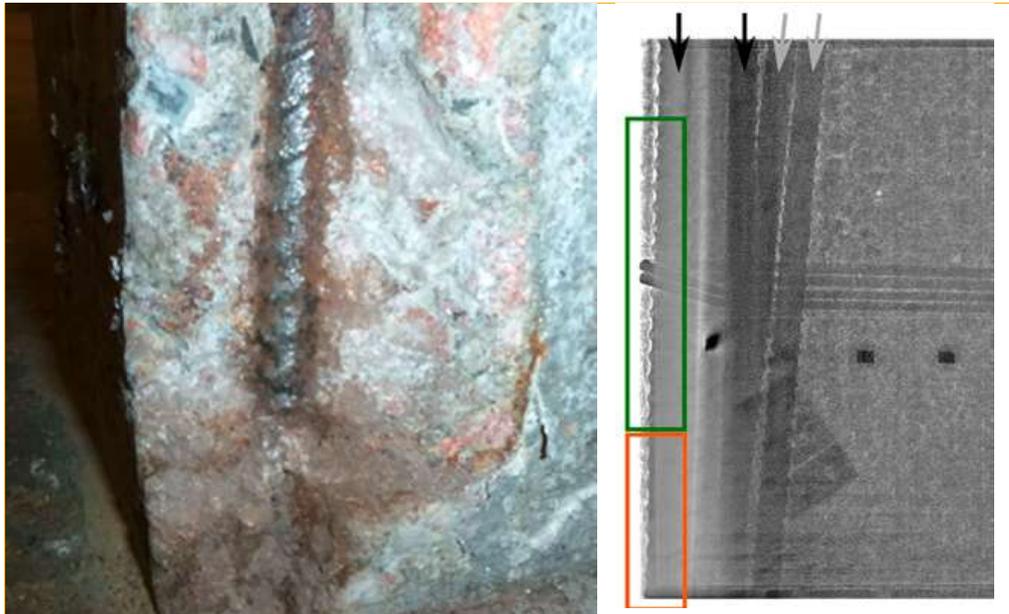


Abb. 08: Identifikation minimaler Abrostungserscheinungen an einer Stützecke (erfolgreiche Machbarkeitsstudie) [Quelle: Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff, Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH]

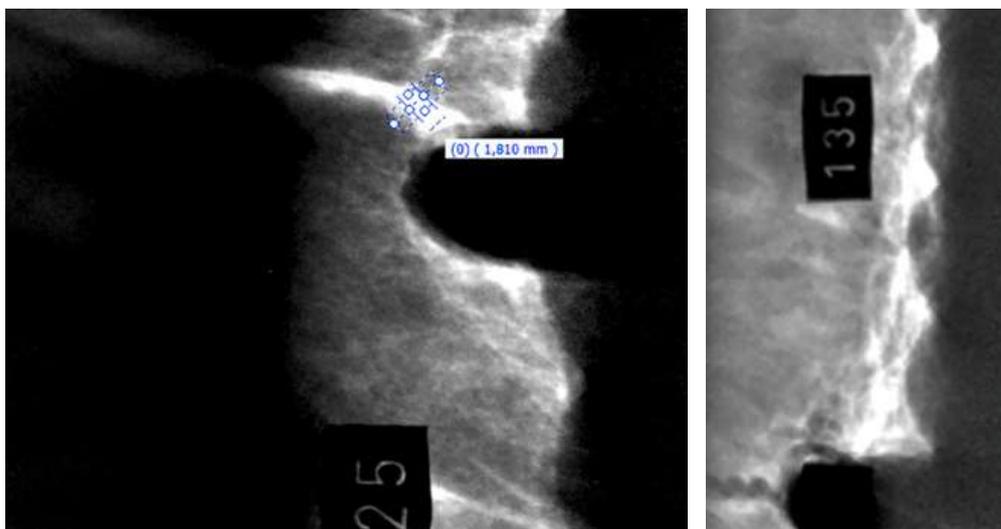


Abb. 09: Visualisierung korrosionsbedingter Sprengrisse an Stützen per Radiographie [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH]

2.5 Lokalisieren und Bewerten von Betoniermängeln

Zur Überprüfung auf Betoniermängel in Bestand und Neubau eignet sich besonders das Ultraschallecho-Verfahren, da an Luftschichten stets eine vollständige Reflexion des eingeschallten Signals erfolgt. Somit können Kiesnester, Hohllagen und (ab einer gewissen Größe) Verdichtungsmängel geortet werden. Für die Verifizierung des zerstörungsfrei ermittelten Befunds können Kernbohrungen dienen oder, substanzschonender, minimal-invasive Endoskopien.

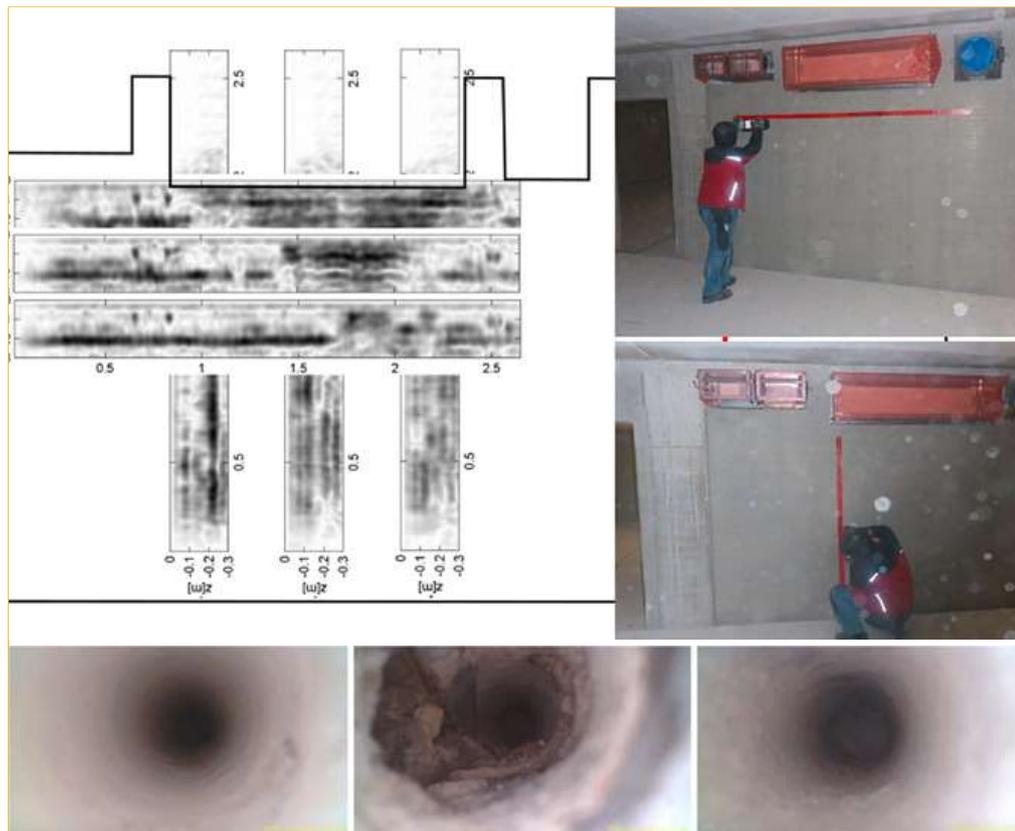


Abb. 10: Untersuchung von Elementwänden auf Verdichtungsmängel im Kernbeton: per Ultraschall (im »umgedrehten Schüttkegel« unterhalb des mit roter Folie abgeklebten Einbauteils für Lüftung/Haustechnik); statt: Endoskopien im mangelhaft verfüllten Bereich (mittleres Bild unten) und im angrenzenden mangelfrei verfüllten Bereich (äußere Bilder unten) [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

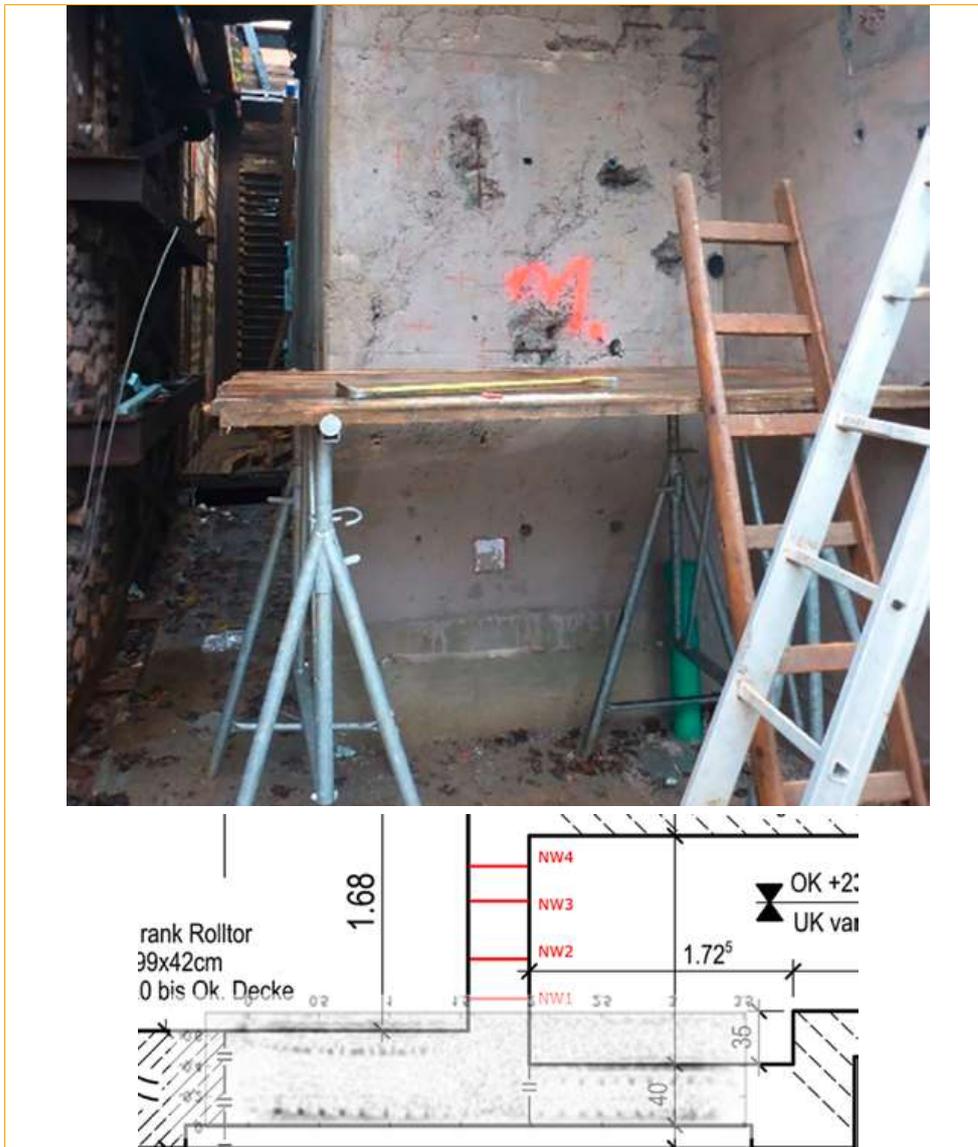


Abb. 11: Ultraschall-Nachweis des fehlerfrei verfüllten Kernbereichs einer Wand, die oberflächennah massive Verdichtungsmängel/Lunker aufweist; unten: Rekonstruktion mithilfe von Ultraschall eines angrenzenden horizontalen Wandquerschnitts mit Visualisierung der aufgehenden Bewehrung und der Wandrückseiten [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH/hupfer ingenieure]

2.6 Feststellen des Bewehrungsgehalts in Stahlbetonbauteilen

Während die Visualisierung von Bewehrungslagen mit Ultraschall und Radar möglich ist, wie in den vorgenannten Beispielen gezeigt, kann mit diesen Verfahren kein Stabdurchmesser und damit kein Bewehrungsgehalt festgestellt werden. Dies ist vollständig zerstörungsfrei einzig per Radiographie (Röntgen) möglich, andere Verfahren erfordern stets Bauteilöffnungen, um Stabdurchmesser, aber auch Doppelstablagen und dergleichen eindeutig identifizieren zu können.

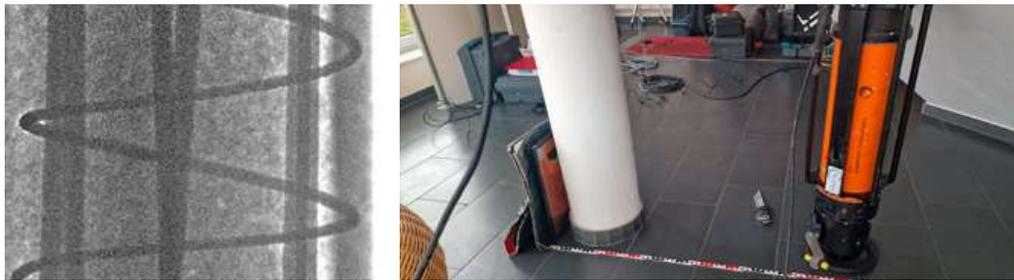


Abb. 12: Visualisierung der Wendel- und Vertikalbewehrung in einer Rundstütze per Radiographie (Röntgen) [Quelle: Dr.-Ing. Sebastian Schulze, bauray GmbH]

3 Zusammenfassung/Ausblick

Viele zerstörungsfreie und zerstörungsarme Untersuchungsmethoden sind auf einem Entwicklungsstand, der breite Anwendungsmöglichkeiten für die aktuelle Baupraxis bietet, im Hochbau wie auch in allen anderen Sparten, insbesondere im Rahmen der Qualitätssicherung im Neubau, da hier eine unmittelbare Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Die Sicherstellung der Ausführungsqualität unterstützt die Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit unserer Bauwerke. Aber auch im Bestand ist eine bildgebende Bauwerksdiagnostik mindestens hilfreich bis gegebenenfalls unumgänglich, wie die genannten Beispiele zeigen.

Dennoch sind die meisten Verfahren und Prüfaufgaben in der Baupraxis kaum bekannt. Als anerkannte Regel der Praxis kann die ZfPBau daher noch nicht angesehen werden. Dies soll sich in Zukunft ändern, unter anderem seit Einführung der DIN 4871 (2022): »Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen«⁴. Die ZfPBau soll mittelfristig auf ein Niveau gehoben werden, das beispielsweise dem der klassischen Materialprüfung nahekommt, mit dem Ziel, die Qualität der Bauwerksprüfung und damit der Bauwerke selbst permanent zu verbessern.

Dr.-Ing. Sebastian Schulze ist Geschäftsführender Gesellschafter der bauray GmbH. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens in Berlin an der Technischen Universität (TUB) war er als Promotionsstudent an Forschungsvorhaben zur zerstörungsfreien Bauwerksprüfung (ZfPBau) an der Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung (BAM) in Berlin beteiligt und promovierte 2017. Bis 2023 war er Projektleiter für alle zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Verfahren der Bauwerksdiagnostik bei Huffer Ingenieure Bauwerksuntersuchungen GmbH in Hamburg. Sebastian Schulze ist Mitglied der Hamburgischen Ingenieurkammer Bau (HIKB) und Mitglied der Unterausschüsse »Ultraschall« sowie »Ausbildung Bau« des Fachausschusses Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) im Bauwesen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP). Zudem ist er Vorsitzender des Unterausschusses »Durchstrahlungsprüfung im Bauwesen« und Autor diverser Fachveröffentlichungen.

⁴ DIN 4871:2022-09 Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)