

Untersuchung historischer Deckensysteme mit Hilfe zerstörungsfreier Prüfverfahren

Franz KNAB *, Christian SODEIKAT *

* Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München

Kurzfassung. Historische Gebäude sind ein wesentlicher Bestandteil unserer Bausubstanz. Bei anstehenden Baumaßnahmen ergeben sich häufig ein erhöhter Untersuchungsbedarf und besondere Anforderungen an das Untersuchungsverfahren. Zerstörungsfreie Prüfverfahren stellen hier nicht nur eine überaus leistungsfähige Alternative zu zerstörenden Verfahren dar, sondern sind oft die einzige Möglichkeit, an die gewünschten Informationen zu gelangen.

Die Aufgabenstellungen im Zusammenhang mit historischen Decken sind vielfältig und reichen von Untersuchungen zur Bauteilgeometrie und Konstruktion über Untersuchungen zu vorhandenen Schäden bis hin zur Untersuchung von Baustoffeigenschaften.

Die zerstörungsfreien Verfahren zur Untersuchung historischer Decken sind ähnlich vielfältig wie die Aufgabenstellungen. Wichtige Verfahren, die, ergänzt durch Anwendungsbeispiele, kurz vorgestellt werden, sind das Ultraschall-Echoverfahren, Georadar, Bewehrungsscanner und ergänzend die Endoskopie.

Bei der Durchführung zerstörungsfreier Untersuchungen an historischen Decken hat es sich bewährt, die Untersuchung von Anfang an gründlich vorzubereiten, d.h. Fokussierung auf das Untersuchungsziel, Recherche verfügbarer relevanter Informationen, Klärung der Randbedingungen vor Ort, Wahl des passenden Verfahrens oder der passenden Kombination von Verfahren. Bei komplexeren Aufgabenstellungen können vorherige Testmessungen helfen, das passende Verfahren zu wählen und vorab zu klären, ob die gewünschten Erkenntnisse gewonnen werden können. In der Regel empfiehlt sich zumindest eine stichprobenweise Überprüfung der Messergebnisse durch begleitende minimalinvasive Untersuchungen wie beispielsweise eine Endoskopie.

Die Wahl des optimalen Untersuchungsverfahrens ist nicht immer einfach. Sie setzt, ebenso wie die Auswertung der Untersuchungsergebnisse viel Erfahrung voraus.

1 Einführung

Historische Gebäude bilden einen wesentlichen Bestandteil unserer Bausubstanz. Die Bezeichnung „historisch“ muss dabei nicht gleichbedeutend mit alten Schlössern oder Kirchen gesehen werden. Oft sind es schon einfache Gebäude und Deckensysteme aus der Mitte des 20. Jahrhunderts, beispielsweise alte Schulgebäude, die heute nicht mehr ohne weiteres gebräuchliche Konstruktionen aufweisen und damit als historisch zu sehen sind.

Unabhängig von Aspekten des Denkmalschutzes, haben Bauherren verständlicher Weise in der Regel das Bestreben, vorhandene Bausubstanz so lange wie wirtschaftlich



sinnvoll und möglich zu verwenden. Viele historische Gebäude werden daher früher oder später umgebaut, modernisiert, umgenutzt oder auch einfach nur instand gesetzt. Dabei kommt gerade den Decken in diesen Gebäuden häufig eine zentrale Bedeutung zu. Sie stellen unmittelbar die Fläche zur Nutzung bereit und nehmen als erstes Bauteil wesentliche Lasten auf.

Die fachgerechte Umsetzung einer baulichen Maßnahme erfordert gründliche Erkenntnisse über relevante Eigenschaften der vorhandenen Bausubstanz. Beispielsweise kann im Zuge einer Umnutzung eine Neubewertung der Tragfähigkeit einer Decke durch die Tragwerksplanung erforderlich sein. Auch fordert die Rili-SIB 2001 ausdrücklich die Analyse des Ist- und Sollzustands eines Bauteils im Vorfeld der Planung einer Instandsetzungsmaßnahme, [1]. Bei historischen Bauwerken sind jedoch häufig keine oder nur unzureichende Planunterlagen zum Bestand vorhanden. Der Bestand muss daher erkundet und untersucht werden.

Hierfür bieten sich zerstörende und zerstörungsfreie Verfahren an. Nomen est omen, führen zerstörende Untersuchungen zumindest temporär zu einer wenigstens örtlichen Zerstörung des Bauteils. Trotzdem erlauben sie oft nur einen lokalen Einblick. Für einen umfangreicheren Überblick wären dann zahlreiche zerstörende Untersuchungen notwendig. Gerade das ist jedoch häufig nicht möglich oder zumutbar, sei es aufgrund der laufenden Nutzung, aus Gründen des Denkmalschutzes oder auch schlicht aufgrund der daraus resultierenden Schädigung und Schwächung der Bausubstanz. Hier kommt den zerstörungsfreien Prüfverfahren eine entscheidende Bedeutung zu. Ihre Leistungsfähigkeit ist in den letzten Jahren immer weiter gestiegen. Sie erlauben heute eine schonende, meist wenig lärmintensive Untersuchung des Bauteils, ggf. sogar während der laufenden Nutzung, sowohl allein als auch in Ergänzung zu zerstörenden Prüfungen. Sie sind häufig schnell und großflächig einsetzbar und damit oft auch kostengünstiger als zerstörende Prüfverfahren.

Nachfolgend werden typische Aufgabenstellungen bei der Untersuchung historischer Decken und wichtige einschlägige Prüfverfahren vorgestellt, sinnvolle Schritte bei der Herangehensweise beschrieben und einige Beispiele aus der Praxis gezeigt.

2 Typische Aufgabenstellungen

Rund um Baumaßnahmen an historischen Decken im Bestand treten verschiedenste Aufgabenstellungen auf, für die zerstörungsfreie Prüfverfahren einsetzbar sind. Exemplarisch zu nennen sind unter anderem:

- Untersuchungen zur Bauteilgeometrie und Konstruktion, u.a.
 - Dicke der Decke oder von Schichten
 - Anordnung von deckengleichen Stahlbetonrippen, Stahlträgern, Holzbalken etc.
 - Lage und Ausdehnung von Hohlkörpern
 - Verteilung eines Konstruktionstyps im Gebäude
 - Rekonstruktion der eingebauten Bewehrung
- Untersuchungen zu vorhandenen Schäden
 - Risse
 - Hohllagen
 - (Korrosion an Bewehrung, Beton, Ziegel, Mörtel etc.)
- Untersuchungen zu Baustoffeigenschaften
 - Betondruckfestigkeit
 - Stahlzugfestigkeit.

3 Verfahren und Einsatzbereiche

3.1 Ultraschall (Ultraschall-Echoverfahren)

Beim Ultraschallecho-Verfahren wird eine niederfrequente Ultraschallwelle (Frequenzbereich 30 kHz – 70 kHz) über einen am Bauteil angekoppelten Prüfkopf eingeleitet. An Grenzflächen zu Inhomogenitäten im durchschallten Medium kommt es zu (Teil-)Reflexionen und Phasenverschiebungen der Schallwelle. Die reflektierten Wellenanteile werden am Prüfkopf empfangen und zusammen mit der Laufzeit aufgezeichnet. Über die Laufzeit der Ultraschallwelle kann bei bekannter Schallgeschwindigkeit die Tiefe der Grenzschicht berechnet werden. *Abbildung 1* zeigt das Prinzip des Ultraschall-Echoverfahrens, ein exemplarisches Messgerät.

In Abhängigkeit der Aufzeichnungs- und Aufbereitungsart werden sogenannte A-Scans (punktuelle Messung), B-Scans (Verkettung von mehreren A-Scans zu einer Messlinie in Längsrichtung der Messung), C-Scans (horizontales Schnittbild, erzeugt durch Verkettung paralleler B-Scans und Anzeige der Amplituden in einer Tiefenlage) und D-Scans (Verkettung von mehreren A-Scans zu einer Messlinie in Querrichtung der Messung). Unter günstigen Randbedingungen sind Messtiefen bis rd. 0,7 m erreichbar.

Falls quantitative Aussagen zu Tiefenlagen benötigt werden, muss die Schallgeschwindigkeit kalibriert werden. Bei erfolgreich durchgeführter Kalibrierung kann die Tiefenlage eines Objekts mit rd. 5% Genauigkeit ermittelt werden.

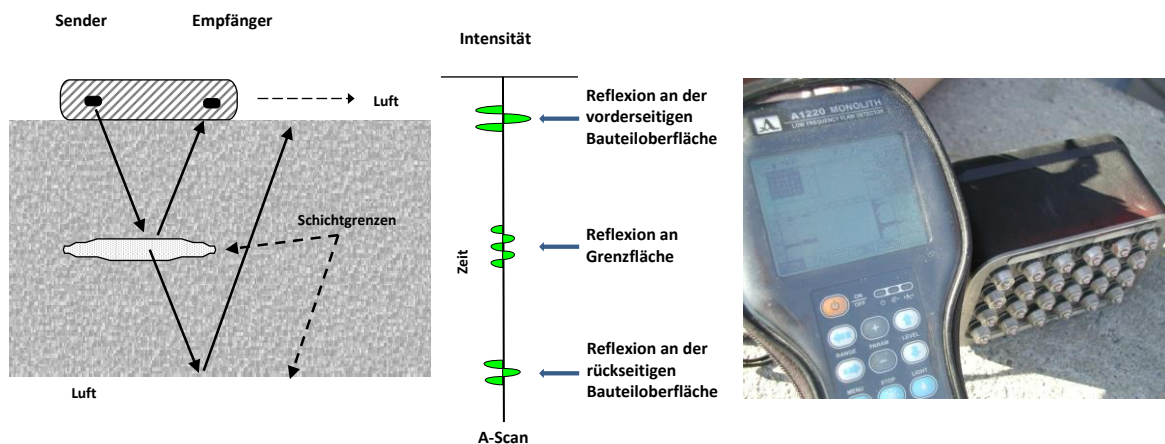


Abbildung 1: Funktionsprinzip Ultraschall-Echoverfahren und exemplarisches Multiarray-Ultraschall-Gerät, Typ Monolith A1220

3.2 Georadar

Das Georadar-Verfahren ist ebenfalls ein Impuls-Echoverfahren. Von einem Impulsgenerator wird ein elektromagnetischer Impuls erzeugt und in Richtung des Bauteils abgestrahlt. An Grenzflächen, an denen sich die dielektrischen Eigenschaften des Materials ändern, kommt es zu Reflexionen. Diese werden zusammen mit der Laufzeit aufgezeichnet. Die gebräuchlichen Messgeräte arbeiten mit breitbandigen Sende- und Empfangsantennen mit Nennfrequenzen von etwa 0,8 GHz bis 2,6 GHz, je nach Gerät auch mit Arrays, in denen mehrere Sende- und Empfangsantennen zusammengefasst sind. Je nach Frequenz und Randbedingungen sind Messtiefen von bis zu rd. 35 cm erreichbar, [2], im Einzelfall auch mehr.

In Analogie zum Ultraschall-Echoverfahren können die Messergebnisse als A-, B-, C- oder D-Scans aufbereitet werden. *Abbildung 2* zeigt exemplarische Darstellungen (Linienscan und räumliches Bild).

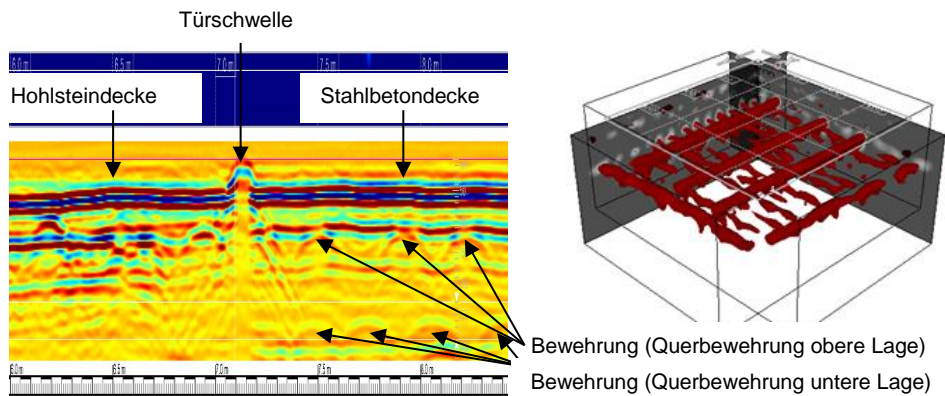


Abbildung 2: Exemplarische Darstellungen von Georadararmessungen (links Linienscan im Bereich einer Decke mit Systemwechsel, rechts 3D-Darstellung einer Stahlbetondecke)

Nach vorheriger Kalibrierung der Wellengeschwindigkeit können auch quantitative Angaben zur Tiefenlage einer Anomalie gemacht werden. Verfahrensbedingt liegt die Genauigkeit der angegebenen Tiefenlagen bei rd. 5%-10%, [3].

3.3 Bewehrungsscanner

Gebräuchliche Bewehrungsscanner arbeiten in der Regel nach dem Magnet-Induktions-Prinzip: Mittels einer Spule wird ein Magnetfeld erzeugt. Dieses wird durch Bewehrung beeinflusst. Daraus kann wiederum auf Bewehrung zurückgeschlossen werden.

Die Aufbereitung der Messergebnisse erfolgt je nach Gerät oder zusätzlich verwendeter Software verschieden und reicht von der bloßen Ausgabe von Messwerten hin zu verschiedenen Arten von Linien- und Flächendarstellungen, vgl. exemplarisch *Abbildung 3*. Messungen sind in der Regel nur bis zu einer Tiefe von rd. 10 cm möglich. Die Betondeckungen können je nach Messtiefe auf wenige Millimeter genau angegeben werden. Falls quantitative Aussagen zur Betonüberdeckung benötigt werden, ist in jedem Fall eine Kalibrierung der Messung vorzunehmen.

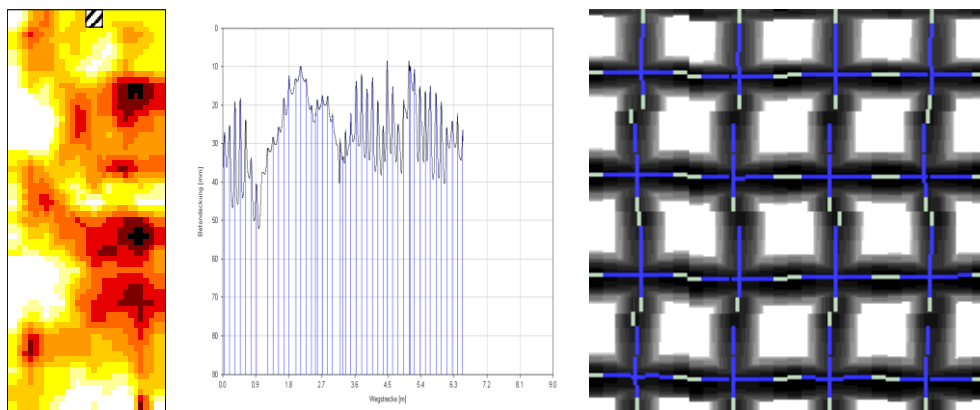


Abbildung 3: Verschiedene Beispiele zur Ergebnisdarstellung von Bewehrungsscannern und ergänzender Software

3.4 Endoskopie

Die Endoskopie ist im eigentlichen Sinne kein zerstörungsfreies Prüfverfahren sondern minimalinvasiv. Über eine dünne Bohrung wird ein Endoskop in das zu untersuchende Bauteil eingeführt. Die Untersuchung erfolgt augenscheinlich über das Endoskop.

Endoskope können sowohl optisch (Linsensysteme und Lichtwellenleiter) als auch elektronisch (bildgebende Sensoren) funktionieren. Je nach Gerät sind auch Foto- und/oder Filmaufnahmen möglich, vgl. beispielsweise *Abbildung 4*. Sie sind ein wichtiges Hilfsmittel zu Überprüfung/Interpretation nicht eindeutiger zerstörungsfreier Messergebnisse.

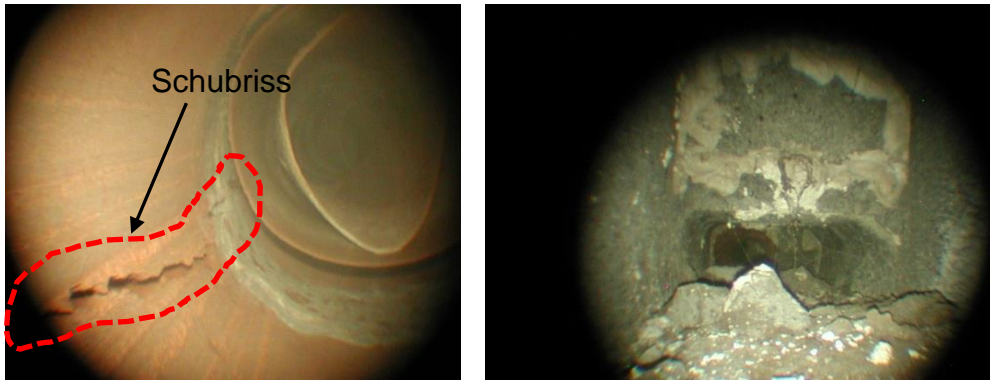


Abbildung 4: Links: Endoskopieaufnahme eines Hohlkörpers in einer Ziegelrippendecke mit sichtbarem Schubriss, welcher durch eine statische Überlastung entstanden ist.
Rechts: Hohlkammer in einer Dahmit-Decke vor einem Wechsel des Steintyps (Höhensprungung in der Hohlkammer) mit sichtbaren Verschmutzungen (Schuttreste) der Kammer aus der Bauzeit

3.4.1 Einsatzbereiche

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten ausgewählter zerstörungsfreier Prüfverfahren.

Tabelle 1: Überblick über die Einsatzmöglichkeiten ausgewählter zerstörungsfreier Prüfverfahren

Einsatzbereich	Ultraschall-Echoverfahren	Georadar	Bewehrungs-scanner	Endoskopie
Bestimmung von Schicht- und Bauteildicken	sehr gut	mittel bis gut	(nicht mögl.)	sehr gut
Ortung von Einbauteilen	sehr gut	sehr gut	im Einzelfall	zur Bestätigung
Ortung von Bewehrung	verschieden	sehr gut	sehr gut	nicht sinnvoll
Verteilung von Deckentypen in einem Gebäude	mäßig	sehr gut	(nicht mögl.)	zur Bestätigung
Untersuchung von Rissen	verschieden	schlecht	(nicht mögl.)	zur Bestätigung
Auffinden von Hohllagen	sehr gut	schlecht	(nicht mögl.)	zur Bestätigung
Betondruckfestigkeit	eingeschränkt	(nicht mögl.)	(nicht mögl.)	(nicht mögl.)

4 Herangehensweise

Bei der Untersuchung historischer Deckensysteme hat sich folgende Herangehensweise bewährt:

- Klären der genauen Zielsetzung der Untersuchung und Fokussierung auf diese Zielsetzung
- Recherche verfügbarer Informationen zum Deckensystem (Planunterlagen, statische Berechnungen, Benennung eines Deckensystems -> Recherche in Fachliteratur)
- Klären der Randbedingungen und Wahl des Messverfahrens (auch Kombinationen möglich)
- Vorbereitung der Untersuchungen und Sicherstellung passender Randbedingungen vor Ort
- Durchführung der Messungen (bei komplexer Problematik sind vorherige Testmessungen zu empfehlen, je nach Aufgabenstellung muss kalibriert werden)
- Auswertung der Ergebnisse
- Bei komplexer Problematik zumindest stichprobenweise Sondierung/Überprüfung der Messergebnisse, beispielsweise mittels Endoskopie.

5 Anwendungsbeispiele

5.1 Überprüfung der Dicke von Decken in einem Gebäude

5.1.1 Aufgabenstellung

Ein älteres Gebäude soll aufgestockt und teilweise einer Nutzungsänderung unterzogen werden. Im Zuge der tragwerksplanerischen Neubewertung von Teilen des Gebäudes sollte die Dicke vorhandener Stahlbetondecken auf Übereinstimmung mit alten Planunterlagen in größeren Flächen überprüft werden. Aufgrund der laufenden Nutzung war eine regelmäßige Durchbohrung der Decken zur direkten Messung nicht möglich.

5.1.2 Gewähltes Verfahren

Die Decken wurden im laufenden Betrieb mittels Ultraschall-Echoverfahren in Form punktueller Messungen (A-Scan) untersucht, vgl. *Abbildung 5*. Lokal wurden einzelne dünne Bohrungen durch die Decke erstellt. An diesen Stellen wurde die Ultraschallmessung kalibriert bzw. überprüft.

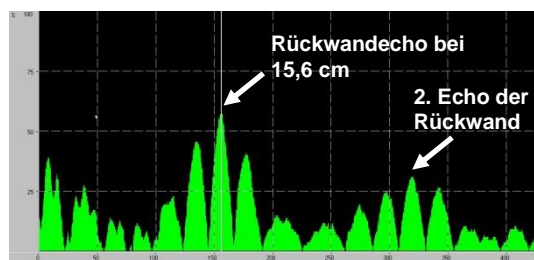


Abbildung 5: Ultraschallmessung (A-Scan) zur Überprüfung der Dicke einer Stahlbetondecke (Dicke 15,6 cm)

5.2 Ortung von Holzbalken in einer historischen Decke

5.2.1 Aufgabenstellung

In einer historischen, denkmalgeschützten Holzbalkendecke muss die Lage von Holzbalken bestimmt werden.

5.2.2 Gewähltes Verfahren

Die Lage der Holzbalken wird mittels linienförmiger Georadarmessungen bestimmt, vgl. *Abbildung 6*.

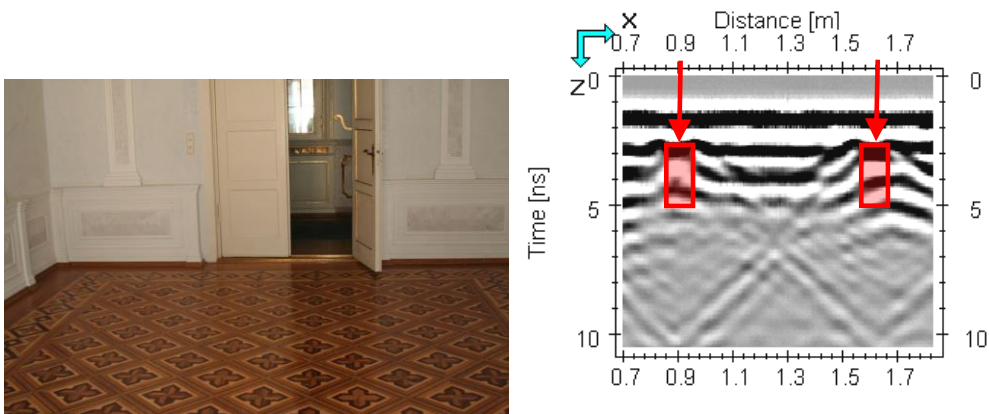


Abbildung 6: Ortung von Holzbalken in einer Decke mittels Georadar

5.3 Erstellung eines Deckentypenverzeichnisses in einem teilweise wiederaufgebauten Gebäude

5.3.1 Aufgabenstellung

Für ein altes, nach Schäden im 2. Weltkrieg teilweise wiederaufgebautes Gebäude soll zusammen mit einer tragwerksplanerischen Neubewertung der Decken ein Deckentypenverzeichnis erstellt werden. Zu den Decken sind keine Planunterlagen vorhanden.

5.3.2 Gewähltes Verfahren

Die Decken wurden überwiegend mittels Georadar von oben untersucht. Je nach Konstruktionstyp der Decke zeigt sich ein charakteristisches Bild, vgl. *Abbildung 7* und *Abbildung 8*.

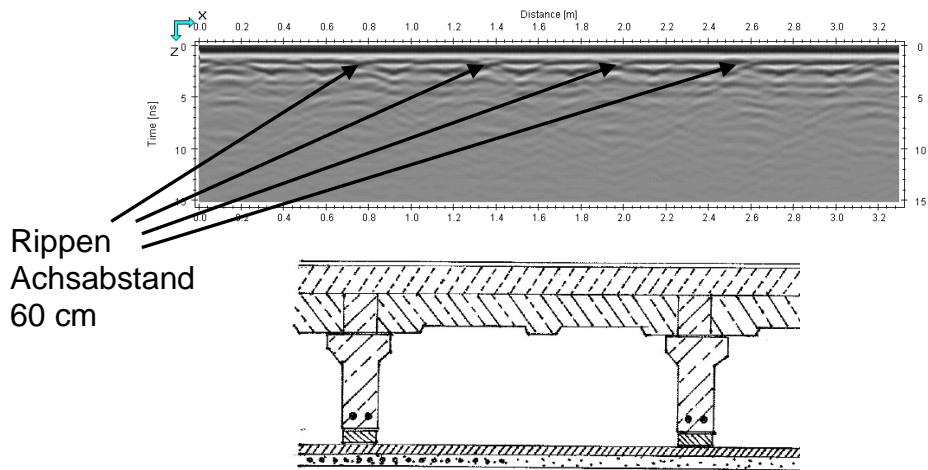


Abbildung 7: Radargramm zu Stahlbetonrippendecke
(Skizze zum Querschnitt IB Sturm Kessler)

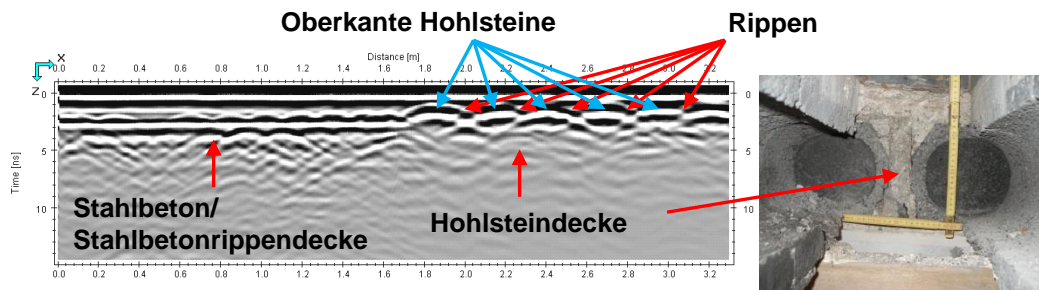


Abbildung 8: Radargramm zu einer Flurdecke, Wechsel in der Deckenkonstruktion
von Stahlbeton/Stahlbetonrippendecke auf Hohlsteindecke

Aus den Messergebnissen konnte ein Deckentypenplan erstellt werden, vgl. *Abbildung 9*. Dabei wurde festgestellt, dass die Deckentypen mitunter auch innerhalb eines Raums wechseln, vgl. *Abbildung 8*.



Abbildung 9: Exemplarischer Deckentypenplan

Die Deckentypen wurden stichprobenweise mittels Endoskopie untersucht. Da die tragwerksplanerischen Berechnungen nur auf eine geringe rechnerische Tragreserve hindeuteten, wurden die Decken ergänzend vollflächig auf äußerlich sichtbare Auffälligkeiten hin untersucht und zuvor mittels Georadar eingemessene Hohlkammern gezielt lokal endoskopierte. Bei einer äußerlich bereits leicht auffälligen Decke (unterseitig Risse im Putz in Auflagernähe), wurden bei der anschließenden gezielten Endoskopie Schubrisse entdeckt, vgl. *Abbildung 4 links*. Durch eine Ausweitung des Untersuchungsprogramms auf die übrigen relevanten Decken konnte gezeigt werden, dass es sich um einen lokalen, durch Umbauarbeiten in der Vergangenheit entstandenen Schaden handelte.

5.4 Untersuchung einer historischen Dahmit-Decke im Zuge einer Nutzungsänderung

5.4.1 Aufgabenstellung

Für ein im 2. Weltkrieg wiederaufgebautes Gebäude wurde eine Nutzungsänderung geplant. Die tatsächliche Bauausführung stimmte augenscheinlich nicht vollständig mit den Planunterlagen überein. Im Zuge der tragwerksplanerischen Neuberechnung einer Geschossdecke in diesem Gebäude sollte eine Überprüfung des Bestands auf Übereinstimmung der tragenden Bauteile mit der ursprünglichen statischen Berechnung gemacht bzw. relevante Abweichungen festgestellt werden.

5.4.2 Gewähltes Verfahren

Die Decke wurde mit einer Kombination aus Georadar, Bewehrungsscannern und Endoskopien untersucht. Der planmäßige Deckentyp konnte nachgewiesen werden, vgl. *Abbildung 10*.

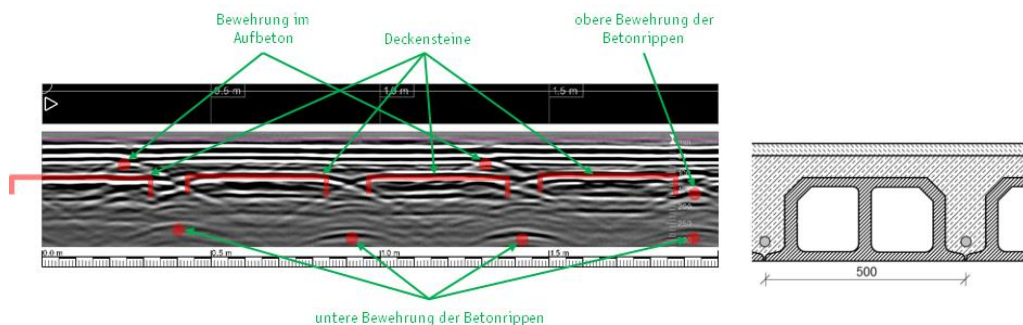


Abbildung 10: Radargramm einer Dahmit-Decke

Bei der Untersuchung der Decke stellte sich heraus, dass die Hohlsteine mit einer eisenhaltigen Schlacke hergestellt worden waren, welche die Radarwellen vollständig abschirmten. Untersuchungen der Bewehrungsführung in den Rippen von unten waren daher mittels Radar nicht möglich, da die Hohlsteine die Rippen unterseitig umschlossen. Hier konnten mit Hilfe eines Bewehrungsscanners Informationen gewonnen werden, da die Hohlsteine zwar auch dessen Signal beeinflussten, jedoch nicht völlig abschirmten.

Bei den Messungen wurden mehrere Bereiche gefunden, in denen anstelle der Dahmit-Decke eine Stahlbetonkonstruktion vorhanden war, vgl. *Abbildung 11*.

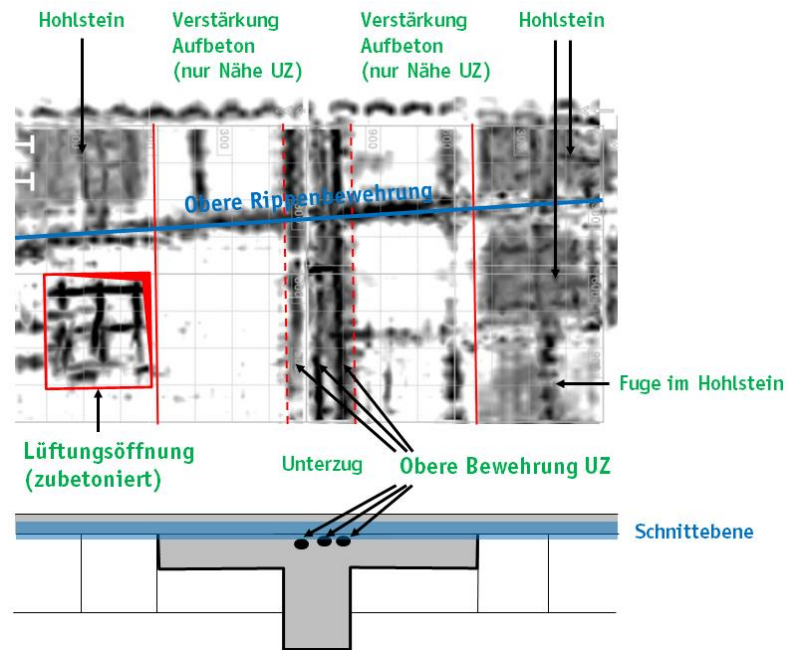


Abbildung 11: Radargramm (Darstellung als C-Scan) einer Dahmit-Decke, unten links Stahlbetonergänzung

6 Schlüsse und Anmerkungen

Zerstörungsfreie Prüfverfahren stellen nicht nur eine überaus leistungsfähige Alternative zu zerstörenden Untersuchungsmethoden dar. Sie erlauben häufig einen deutlich tieferen Einblick in die Bausubstanz als dies zerstörend je möglich wäre.

Aufgrund der umfangreichen Datenmengen, die bei zerstörungsfreien Prüfverfahren mitunter produziert werden, ist es ratsam, sich einen klaren Untersuchungsfokus zu setzen und die Untersuchung gründlich vorzubereiten.

Je nach Aufgabenstellung gibt es nicht das einzig wahre ideale Verfahren. Oft führt erst eine sinnvolle Kombination von Messfahren zum gewünschten Ergebnis. Testmessungen sind deshalb ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen.

Zerstörungsfreie Prüfverfahren sind häufig einfach in der Anwendung, mitunter jedoch sehr schwierig in der Interpretation. Für die Wahl des optimalen Untersuchungsverfahrens bzw. der optimalen Verfahrenskombination und die spätere Auswertung der Ergebnisse ist viel Erfahrung erforderlich. Trotzdem sind zerstörungsfreie Untersuchungen häufig deutlich kostengünstiger als eine Unmenge zerstörender Prüfungen und die Resultate können in der Regel überzeugen.

7 Literatur

- [1] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001
- [2] Taffe, A./Feistkorn, S./Diersch, N.: Erzielbare Detektionstiefen metallischer Reflektoren mit dem Impulsradarverfahren an Beton, in: Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), S. 442 – 450, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2012
- [3] Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüf e.V., Berlin, 2008.