



Berichte
des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 7 (2021)

Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der ZfPBau-Ver- fahren und Techniken für Ingenieur- bauwerke bei Straße und Schiene

ZfPBau Verfahrenskatalog Beton (Los 2) und Mauerwerk (Los 3)

Berichte des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung, Nr. 7 (2021)
Projektnummer 2018-I-16-1210

Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der ZfPBau-Verfahren und Techniken für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schiene

ZfPBau Verfahrenskatalog Beton (Los 2) und Mauerwerk (Los 3)

von

Alexander Taffe und Juliane Wiese

Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin

Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Impressum

HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10
01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Hochschule für Technik und Wirtschaft
10313 Berlin

ABSCHLUSS DER STUDIE

Dezember 2019

REDAKTION

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
Markus Reinhardt
Martin Friese

PUBLIKATION ALS PDF

<https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte>

ISSN 2629-7973

[doi: 10.48755/dzsf.210012.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210012.01)

Dresden, Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Kurzbeschreibung | 8 |
| Vorwort | 9 |
| 1 Einleitung | 10 |
| 1.1 Struktur und Durchführung des Forschungsvorhabens | 10 |
| 1.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis | 12 |
| 2 Stand der Wissenschaft und Technik | 14 |
| 2.1 Existierende ZfP-Kataloge..... | 14 |
| 2.2 Standardliteratur und Stand der Wissenschaft | 14 |
| 3 AP 1: Erfassung und Darstellung der relevanten Verfahren | 16 |
| 3.1 Vorstellung der Struktur vorhandener ZfPBau-Verfahrenskataloge | 16 |
| 3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche zum Thema Beton | 18 |
| 3.3 Ergebnisse der Literaturrecherche zum Thema Mauerwerk | 19 |
| 3.4 Literaturverwaltungsprogramm | 20 |
| 3.5 Festlegung der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs zum Thema Beton..... | 22 |
| 3.6 Festlegung der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs zum Thema Mauerwerk | 24 |
| 3.7 Festlegung der Struktur des Formblatts für den neuen Verfahrenskatalog..... | 24 |
| 4 AP 2: Identifikation der relevanten Prüfaufgaben | 27 |
| 4.1 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben zum Thema Beton | 28 |
| 4.2 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben zum Thema Mauerwerk..... | 29 |
| 5 AP 3: Verknüpfung der Prüfaufgaben mit den ZfP-Verfahren | 30 |
| 5.1 Darstellung der Matrix aus Prüfaufgabe und ZfP-Verfahren zum Thema Beton | 31 |
| 5.2 Darstellung der Matrix aus Prüfaufgabe und ZfP-Verfahren zum Thema Mauerwerk | 32 |
| 6 AP 4: Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben | 33 |
| 7 Hinweise für die zukünftige Nutzung | 35 |
| 8 Abbildungsverzeichnis | 36 |
| 9 Tabellenverzeichnis | 37 |
| 10 Quellenverzeichnis | 38 |
| 11 Anhänge | 41 |
| 11.1 Datenblätter Beton..... | 43 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 11.1.1 | Sichtprüfung | 43 |
| 11.1.2 | Endoskopie: Boreskope..... | 46 |
| 11.1.3 | Endoskopie: Fiberskope | 50 |
| 11.1.4 | Endoskopie: Videoskope..... | 54 |
| 11.1.5 | Ausziehprüfung..... | 58 |
| 11.1.6 | Abreißversuch..... | 61 |
| 11.1.7 | Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung | 64 |
| 11.1.8 | Rückprallhammer / Schmidt-Hammer | 67 |
| 11.1.9 | Klopfprobe..... | 70 |
| 11.1.10 | Impakt-Echo..... | 73 |
| 11.1.11 | Ultraschall: Echo (und Transmission) | 76 |
| 11.1.12 | Low-Strain-Verfahren / Hammerschlag-Methode | 79 |
| 11.1.13 | Magnetisches Gleichfeld..... | 82 |
| 11.1.14 | Magnetisches Wechselfeld..... | 85 |
| 11.1.15 | Remanenzmagnetismus / Magnetische Streufeldmessung..... | 89 |
| 11.1.16 | Radar..... | 93 |
| 11.1.17 | Aktive Thermographie | 97 |
| 11.1.18 | Durchstrahlungsprüfung / Radiographie..... | 101 |
| 11.1.19 | X-Ray Diffraction – XDF / Röntgendiffraktometrie..... | 105 |
| 11.1.20 | Neutronensonde | 108 |
| 11.1.21 | Potentialfeldmessung..... | 112 |
| 11.1.22 | Indikatorverfahren: Phenolphthalein | 116 |
| 11.1.23 | Salzanalyseverfahren | 119 |
| 11.1.24 | Laser-induzierte Plasmaspektroskopie – LIPS..... | 122 |
| 11.1.25 | Röntgenfluoreszenzanalyse – RFA | 126 |
| 11.1.26 | Energiedispersive Röntgenanalyse – EDA | 130 |
| 11.2 | Datenblätter Mauerwerk..... | 133 |
| 11.2.1 | Sichtprüfung | 133 |
| 11.2.2 | Endoskopie: Boreskope..... | 137 |
| 11.2.3 | Endoskopie: Fiberskope | 141 |
| 11.2.4 | Endoskopie: Videoskope..... | 145 |
| 11.2.5 | Klopfprobe..... | 149 |
| 11.2.6 | Impakt-Echo..... | 152 |
| 11.2.7 | Ultraschall: Echo (und Transmission)..... | 155 |
| 11.2.8 | Mikroseismik..... | 159 |
| 11.2.9 | Geoelektrik | 162 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 11.2.10 Radar | 166 |
| 11.2.11 Mikrowellen | 170 |
| 11.2.12 Aktive Thermographie..... | 174 |
| 11.2.13 Radiographie..... | 178 |
| 11.2.14 Salzanalyseverfahren..... | 181 |

Kurzbeschreibung

Das Forschungsprojekt „Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der ZfPBau-Verfahren und Techniken für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schiene“ (kurz ZfPBau-Verfahren) soll durch die Erstellung von Verfahrenskatalogen für die Bereiche Stahl (1), Beton (2), Mauerwerk (3) und materialunabhängig (4) eine Entscheidungsgrundlage für Akteure der Bauwerksprüfung und Bauaufsichtsbehörden schaffen, geeignete Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) auszuwählen. Der hier vorliegende Bericht behandelt die Teilbereiche Beton (Los 2) und Mauerwerk (Los 3).

Mit dem ZfPBau-Kompendium der BAM und dem Forschungsvorhaben "Sustainable Bridges" liegen bereits Verfahrenskataloge vor, die aus den Jahren 2004 bzw. 2007 stammen. Diese gilt es um den Stand der vergangenen Jahre zu erweitern und in eine geeignete Gliederung zu bringen. Dabei wird der Schritt von allen "relevanten Verfahren" zu den "geeigneten Verfahren" gemacht.

Auf der Basis einer eingängigen Literaturrecherche werden die Möglichkeiten und Grenzen der ZfPBau-Verfahren identifiziert und die geeigneten Verfahren herausgestellt. Mit der Formulierung der praxisrelevanten und baustoffspezifischen Prüfaufgaben wird eine Bewertung hinsichtlich der Eignung der Verfahren erarbeitet und in Matrixform dokumentiert.

Hinweise zum Urheberrecht

Die Datenblätter zu den Verfahren enthalten i.d.R. Fotos, soweit diese frei nutzbar zur Verfügung standen. Diese Fotos und auch Abbildungen wurden z.T. von den Autorinnen und Autoren dieses Berichts erstellt und entsprechend mit „© [Name] HTW Berlin“ gekennzeichnet. Einige Fotos wurden von Kolleginnen und -kollegen zur Verfügung gestellt und sind entsprechend mit „© [Name]“ gekennzeichnet. Ihnen wurde der Verwendungszweck zu einer späteren Veröffentlichung im Internet mitgeteilt und haben dem zugestimmt. Des Weiteren wurde bei Geräteherstellern mit der Bitte zur Freigabe von Fotos angefragt; auch ihnen wurde der Verwendungszweck zu einer späteren Veröffentlichung im Internet mitgeteilt, so dass auch hier von einer Nutzungszustimmung auszugehen ist. Auch wurden Fotos aus Fachzeitschriften (z. B. Beton- und Stahlbetonbau) oder Fachbüchern (z. B. Handbuch Bauwerksprüfung von Mertens (Herausgeber)) verwendet, die vom Autor erstellt wurden und nach Absprache mit den Verlagen ein Literaturverweis auf das entsprechende Werk anzugeben ist. In diesen Fällen ist z.T. nur die Literaturquelle angegeben.

Vorwort

Der ZfPBau-Verfahrenskatalog mit Verfahren zu den Baustoffen Beton, Mauerwerk und Stahl ist in dieser Bandbreite bislang einzigartig. Bei der Erstellung des Katalogs wurde bewusst auf Inhalte existierender (NDT-Toolbox) bzw. etablierter aber zurückgezogener Datenbanken (z. B. ZfPBau-Kompendium der BAM) zurückgegriffen. Manche Gliederungspunkte wurden übernommen, andere hinzugefügt und wieder andere bewusst weggelassen. Dabei war der oberste Grundsatz die Praxisrelevanz der hier beschriebenen Verfahren. Verfahren, die sich in der Vergangenheit primär in der Forschung und kaum in der Praxis etabliert haben, wurden nicht in den Katalog aufgenommen. Das erklärt die gegenüber dem BAM-Kompendium kleinere Zahl an Verfahren. Dafür wurden die Gliederungspunkte verfeinert und die Datenblätter ausführlicher formuliert. Die Datenblätter sollen für die im Bauwesen beteiligten Personen eine Entscheidungsgrundlage zur Auswahl von ZfPBau-Verfahren liefern. Der Katalog bildet keinen Ersatz zur Ausbildung der in der ISO 9712 genannten klassischen ZfP-Verfahren (z. B. UT, RT, PT usw.). Auch wurden bewusst nur Techniken beschreiben, die eine Relevanz im Bauwesen haben.

Zur bestmöglichen Praxisnutzung wurden Prüfaufgaben formuliert, die z.T. modular aufeinander aufbauen, z. B. zuerst die Detektion von Objekten (qualitative Prüfaufgabe) und dann die Messung der Tiefenlage (quantitative Prüfaufgabe). Diese werden den beschriebenen Verfahren in einer Matrix gegenübergestellt und deren Eignung sehr vereinfacht in „+“, „o“ oder „-“ dargestellt. Damit wird einem Wunsch von Nutzern nach einer einfachen Auswahl (möglicherweise) geeigneter Verfahren Rechnung getragen. Die Bewertung nach den drei Kriterien gründet sich hierbei auf Ergebnisse der Literaturrecherche zu Möglichkeiten und Anwendungsgrenzen der Verfahren. Die Zuordnung der Eignung eines Verfahrens für eine bestimmte Prüfaufgabe stützt sich demnach auf die im Datenblatt angegebenen Literaturverweise. Diese bewusst einfach gehaltene Verfahrenszuordnung auf der Basis einer aktuellen Literaturrecherche dürfte in diesem Umfang ein Alleinstellungsmerkmal sein.

Neben den eigenen Recherchen haben sich die Autorinnen und Autoren sehr intensiv mit Fachkolleginnen und -kollegen des Fachausschusses ZfP im Bauwesen der DGZfP bzw. mit anderen Institutionen, Dienstleistern und Herstellern ausgetauscht. Besonders zu erwähnen sind umfangreiche Zuarbeiten von Herrn Prof. Dr. Christian Große (TU München), Herr Dr.-Ing. Sascha Feistkorn (SVTI Wallisellen), Frau Dr.-Ing. Gabriele Patitz (IGP Karlsruhe) und Herrn Dr.-Ing. Georg Dittié. Diese Zuarbeit und der Austausch mit den Experten zu den jeweiligen Verfahren hat zu sehr konkreten Hinweisen zur Eignung und zu Anwendungsgrenzen geführt. Unser besonderer Dank gilt diesen – namentlich erwähnten und nicht namentlich erwähnten – Personen. Damit ist dieser Verfahrenskatalog auch ein Zeitzeugnis der Praxisrelevanz und Anwendbarkeit von ZfPBau-Verfahren. Möge dieser Katalog in Zukunft vielen potenziellen Nutzen der ZfPBau eine Orientierungshilfe bieten und sie zu erfolgreichen Nutzern machen.

1 Einleitung

1.1 Struktur und Durchführung des Forschungsvorhabens

Mit den Ausschreibungsunterlagen des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) wurden im Dokument „Bieterinformation“ die nachfolgenden Angaben zum Forschungsvorhaben gemacht:

„Gegenstand der Ausschreibung ist ein Forschungsprojekt zur Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der in Frage kommenden ZfP-Verfahren/Techniken für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schiene. Das Ziel dieser Ausschreibung ist es, die Standardbaustoffe und deren zugeordnete Prüfverfahren zu erfassen.

Die Leistung umfasst vier Lose. Jedes einzelne Los untergliedert sich in jeweils vier Arbeitspakete. Die Lose können einzeln oder gemeinsam an einen Auftragnehmer vergeben werden.

Die zu vergebenden Lose sind:

- 1. Los: **Stahl**: Verfahren zur Untersuchung der Konstruktionsteile aus Stahl, inkl. Schweißnähten, Schraubverbindung, Anstrichen und Beschichtungen*
- 2. Los: **Beton**: Verfahren zur Untersuchung der Konstruktionsteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton*
- 3. Los: **Mauerwerk**: Verfahren zur Untersuchung der Konstruktionsteile aus Naturstein und Kunststein (primär bei Bogenbrücken)*
- 4. Los: **Materialunabhängig**: Verfahren, die an jeder Brücke eingesetzt werden können. (z.B. Schwingungsmessung, Verschiebungen, Endoskopie)“*

Die HTW hat sich um die Durchführung der Lose 2 (Beton) und 3 (Mauerwerk) beworben und ihr wurde mit Schreiben vom 05.12.2017 (Az.:1142-11vb/025-0099#014) der Zuschlag für beide Lose erteilt.

In den Bieterinformationen wurden ebenfalls die Arbeitspakete wie folgt vorgegeben:

- **AP 1:** Erfassung & Darstellung der relevanten Verfahren Zuerst werden die relevanten Verfahren für das Los erfasst und gegliedert. Dann werden die Verfahren beschrieben.
- **AP 2:** Identifikation der relevanten Prüfaufgaben Neben den Verfahren müssen auch die Prüfaufgaben für jedes Los definiert werden.
- **AP 3:** Verknüpfung der Prüfaufgaben mit den ZfP-Verfahren Dieses AP dient der Verknüpfung von AP 2 und AP 3. Jeder Prüfaufgabe werden die Prüfverfahren zugeordnet und die Eignung bewertet.
- **AP 4:** Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben Zusätzlich zur reinen Eignung werden weitere Informationen benötigt, um die Verfahren besser einschätzen zu können. Daher soll für jede Kombination die bzgl. Eignung mindestens einen Punkt erhalten hat, das Tabellenblatt „Weitere Informationen“ ausgefüllt werden.

Diese Einteilung der Arbeitspakete wurde im Zeitplan für Beton (Los 2) in der Tabelle 1 und für Mauerwerk (Los 3) in der Tabelle 2 umgesetzt.

TABELLE 1: VORGEHENSWEISE IN LOS 2 (BETON)

| Arbeitspaket (AP) und Meilensteine (M) | Monate | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|----|---|----|---|----|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| AP 1: Verfahren erfassen - Strukturierung praxisrelevanter Verfahren M1: Eingangssitzung in Bonn M2: Katalog der praxisrelevanten Verfahren geliefert | M1 | | M2 | | | | | | | | | |
| AP 2: Identifikation Prüfaufgaben M3: Zwischenpräsentation M4: Katalog relevanter Prüfaufgaben geliefert | | | | M3 | | M4 | | | | | | |
| AP 3: Verknüpfung Verfahren und Prüfaufgabe Verknüpfung ausgewählter Verfahren mit Prüfaufgaben M5: Zwischenpräsentation M6: Katalog der Verfahren vs. Prüfaufgaben in 1. Fassung hergestellt | | | | | | M5 | | M6 | | | | |
| AP 4: Verfahrensbewertung M7: Endpräsentation M8: Ergebnisaktualisierung und Endfassung des Kataloges der bewerteten Verfahren geliefert | | | | | | | | | | M7 | | M8 |
| Personaleinsatz | 1 wissenschaftliche(r) Mitarbeiter(in) zu 75% | | | | | | | | | | | |

TABELLE 2: VORGEHENSWEISE IN LOS 3 (MAUERWERK)

| Arbeitspaket (AP) und Meilensteine (M) | Monate | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|----|---|----|---|----|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| AP 1: Verfahren erfassen - Literaturrecherche - Strukturierung praxisrelevanter Verfahren M1: Eingangssitzung in Bonn M2: Katalog der praxisrelevanten Verfahren geliefert | M1 | | M2 | | | | | | | | | |
| AP 2: Identifikation Prüfaufgabe M3: Zwischenpräsentation M4: Katalog relevanter Prüfaufgaben geliefert | | | | M3 | | M4 | | | | | | |
| AP 3: Verknüpfung Verfahren und Prüfaufgabe Verknüpfung ausgewählter Verfahren mit Prüfaufgaben M5: Zwischenpräsentation M6: Katalog der Verfahren vs. Prüfaufgaben in 1. Fassung hergestellt | | | | | | M5 | | M6 | | | | |
| AP 4: Verfahrensbewertung M7: Endpräsentation M8: Aktualisierung der Ergebnisse; Kataloge der bewerteten Verfahren in Endversion geliefert | | | | | | | | | | M7 | | M8 |
| Personaleinsatz | 1 wissenschaftliche(r) Mitarbeiter(in) zu 25% | | | | | | | | | | | |

Als Gesamtarbeitszeit für Los 2 werden 12 Monate mit einem/ einer wissenschaftlichen Mitarbeiter(in) (WiMi) zu 75% bei einer Vergütung mit E13 angesetzt. Die Personalkosten für Los 3 belaufen sich für einen WiMi bei einer Vergütung mit E13 für 12 Monate bei 25%.

Beide Lose (2 für Beton und 3 für Mauerwerk) ergeben insgesamt einen WiMi für 12 Monate zu 100%. Daher ist eine Vergabe beider Lose sinnvoll.

Das Auftakttreffen fand am 30.01.2018 an der HTW in Berlin statt, so dass der 01.02.2018 den Beginn des Vorhabens in den oben dargestellten Tabellen markiert. Das Projektende wurde für den 28.02.2019 festgelegt.

1.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis

Das Forschungsprojekt wurde von einem fachbezogenen beratenden Arbeitskreis begleitet, der vom Auftraggeber eingesetzt wurde und mit dem die Forschungsergebnisse und das Vorgehen zu den jeweiligen Arbeitspaketen abgestimmt worden sind. Der Arbeitskreis setzte sich zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), Berlin, des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerks an der Projektbetreuung mitwirkte.

Im Arbeitskreis wurde zunächst die grundlegende Struktur des Katalogs diskutiert. Auf Grundlage der Ergebnisse wurde von der HTW exemplarisch für wenige Verfahren ein Vorschlag erarbeitet und daraufhin einvernehmlich die endgültige Struktur festgelegt.

Ausgehend von der Zielgruppe des Katalogs – Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf Seiten der Infrastrukturbetreiber, die nach Lösungen für konkrete Probleme suchen, wurden folgende vom Katalog abzubildende Szenarien festgelegt:

- Auswahl einer Prüfaufgabe und Anzeige geeigneter Verfahren
Dieses Szenario bildet den typischen Anwendungsfall ab. An einem Bauwerk liegt eine Prüfaufgabe vor (z.B. ein Schaden, der näher untersucht werden soll), und es wird nach passenden Verfahren gesucht.
- Auswahl eines Verfahrens und Anzeige passender Prüfaufgaben
- Auswahl eines Messgeräts und Anzeige der Verfahren, für die dieses Messgerät geeignet ist

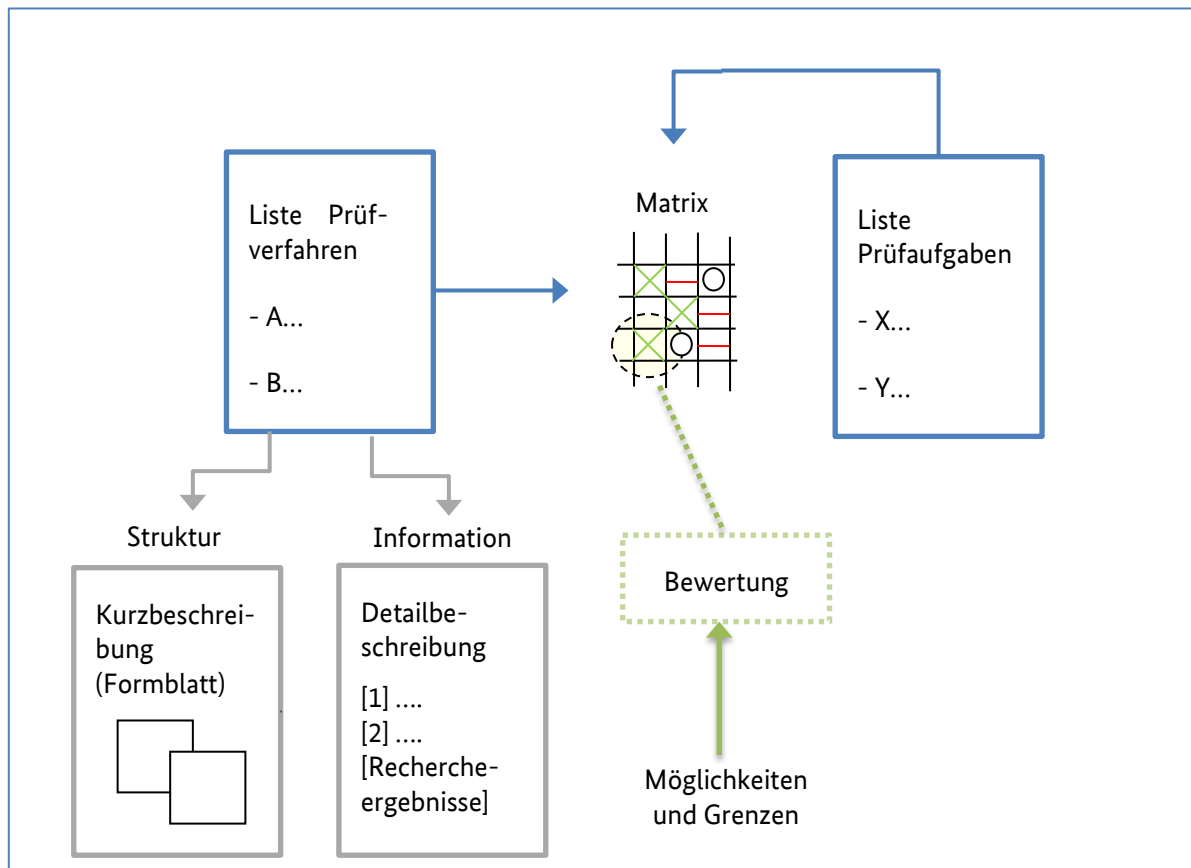


Abbildung 1: Struktur des ZfP-Katalogs

In Abbildung 1 ist die Struktur des ZfP-Katalogs mit folgenden Hauptteilen dargestellt:

- Liste mit allen praxisrelevanten Prüfverfahren [→ Bearbeitung in Kap. 3] bestehend aus:
- Formblatt mit Kurzbeschreibung zu technisch relevanten Punkten [→ Kap. 3.6]
- Detailbeschreibung mit Literaturverweisen
- Liste mit allen praxisrelevanten Prüfaufgaben [→ Bearbeitung in Kap. 5]
- Matrix aus Prüfaufgaben und Verfahren [→ Kap. 5]
- Bewertung der Prüfverfahren hinsichtlich der Prüfaufgabe auf Basis der Literaturrecherche [→ Kap. 6]

Weiterhin wurde festgelegt, dass die stets nach dem gleichen Schema aufgebauten Verfahrensbeschreibungen zunächst in Textform veröffentlicht werden. Langfristig ist aber die Veröffentlichung eines Online-Tools geplant. Daher sind die Inhalte, die gleichbleibende Struktur und die Möglichkeit zur (teil-)automatisierten Aufbereitung der Inhalte prioritär zu behandeln, das Format des Formblattes ist demgegenüber nachrangig.

Weitere Festlegungen betreffen u.a. die Erwähnung alternativer Verfahren sowie Hinweise auf weiteren Forschungsbedarf.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Existierende ZfP-Kataloge

Die Idee nach einem Verfahrenskatalog für ZfPBau-Verfahren geht bis Ende der 1980er-Jahre zurück. Im Jahr 1991 hat die BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) mit dem als Loseblattsammlung erhältlichen Forschungsbericht 177 den ersten deutschsprachigen Verfahrenskatalog erstellt ([1]). Diese Datenbank wurde von damals rd. 80 Verfahren im Jahr 2004 auf den Umfang von 115 Verfahren erweitert ([2]) und über den Webserver der BAM unter der Bezeichnung „**ZfPBau-Kompodium**“ zugänglich gemacht. Sie folgt der in ([3]) beschriebenen Systematik in 17 Verfahrensgruppen. Eine Abhandlung über die Gliederung wurde in ([4]) veröffentlicht. Seit Anfang 2017 ist das ZfPBau-Kompodium der BAM nicht mehr über den BAM-Server erreichbar.

Eine ähnlich strukturierte Datenbank wurde in dem von der EU geförderten Forschungsvorhaben **Sustainable Bridges** von *Helmerich et. al.* im Jahr 2007 konzipiert ([5]). Die den Ausschreibungsunterlagen beigefügte Tabelle ähnelt sehr stark dem Muster der damals entwickelten **NDT-Toolbox** [5].

Auch der Frage welche Prüfaufgabe mit welchem Verfahren nachgegangen werden kann, wurde in Bezug auf ZfPBau-Verfahren in der Vergangenheit erarbeitet:

- In den Jahren 2003 und 2004 wurden durch Prof. Taffe, damals wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BAM, in dem Forschungsvorhaben „Entwicklung eines RI-EBW-PRÜF-kompatiblen Verfahrenskatalogs innerhalb der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ eine Verknüpfung von Brückenschäden und Verfahren des ZfPBau-Kompodiums als sog. „**BASt-Kompodium**“ entwickelt und eine Zeitlang über die Brückenprüfer Software **SIB-Bauwerke** bereitgestellt.
- Im Jahr 2014 wurde vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein (DBV) das **DBV-Merkblatt „Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen“** ([6]) veröffentlicht. Es enthält (1) eine kurze Verfahrensbeschreibung, (2) nennt zehn Prüfaufgaben und (3) mehrere bauartbedingte Prüfungen. Die möglichen Verfahren werden priorisiert und Ergebnisse werden beispielhaft beschrieben. Dabei stützt sich das DBV-Merkblatt auf die Merkblätter der Schriftenreihe B02 bis B11 der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) wie in Tabelle 1 dargestellt.

Eine Übersicht der **Regelwerke zur Bauwerksdiagnose** ist in ([7]) veröffentlicht. Dort werden sowohl die zerstörenden als auch die zerstörungsfreien Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau) zusammengefasst.

2.2 Standardliteratur und Stand der Wissenschaft

Als Standardliteratur zum Stand der Wissenschaft hat sich die umfangreiche Dokumentation der Arbeiten der **Forscherguppe FOR 384** „Zerstörungsfreie Strukturbestimmung von Betonbauteilen mit akustischen und elektromagnetischen Echo-Verfahren“ der Jahre 2001 bis 2006 im Beton-Kalender 2007 etabliert ([8]).

In englischer Sprache fasst **Woodhead Publishing in Materials** den Stand der Forschung und Technik zusammen ([9]). Der Sachstandsbericht des **RILEM TC 207** fasst neuere Ergebnisse zur kombinierten Anwendung von ZfPBau-Verfahren und zur Datenfusion zusammen ([10]).

Etwas mehr praxisorientiert ist der Beitrag im **Bauphysik-Kalender 2004** ([11]), der zusammen mit dem **Bauphysik-Kalender 2012** ([12]) Leistungsfähigkeit und Grenzen der dargestellten Verfahren beschreibt.

([12]) enthält unter anderem Grundlagenartikel zum Thema Schadensmechanismen an Beton. Mögliche ZfPBau-Verfahren – zudem an Holz und Mauerwerk – werden beschrieben.

Ein weiteres Standardwerk ist das **Handbuch Bauwerksprüfung** aus dem Jahr 2015. Darin ist ein Teilkapitel über ZfPBau-Verfahren enthalten ([13]), das eine Ergänzung der Verfahrensbeschreibungen von ([6]) darstellt. Es ist primär für Brückenprüfer geschrieben und fasst die Inhalte der Brückenprüferlehrgänge des VFIB zusammen.

In Tabelle 3 sind die Merkblätter der DGZFP (Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung) zusammengefasst. Sie dokumentieren den Stand von Wissenschaft und Technik und schließen die Lücke der – bis auf den Rückprallhammer – nicht genormten ZfPBau-Verfahren.

TABELLE 3: ALLE DERZEIT VON DER DGZFP VERBREITETEN MERKBLÄTTER DER B-REIHE (STAND: ANFANG 2019)

| Merkblatt- Nr.: | Titel |
|-----------------|--|
| B02 | Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsartung an Stahl- und Spannbetonbauteilen (2014) |
| B03 | Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion (2014) |
| B04 | Merkblatt über das Ultraschallverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (2018) |
| B05 | Merkblatt über das aktive Thermographieverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (2013) |
| B06 | Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (1996) |
| B08 | Merkblatt Seismische Baugrunderkundung (2013) |
| B10 | Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (2008) |
| B11 | Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur Zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen (2011) |

3 AP 1: Erfassung und Darstellung der relevanten Verfahren

3.1 Vorstellung der Struktur vorhandener ZfPBau-Verfahrenskataloge

Wie in Kap. 2 herausgearbeitet, stehen mit dem ZfPBau-Kompendium und der NDT-Toolbox ([5]) bereits geeignete Kataloge zur Verfügung. Auch der Frage nach der Eignung bestimmter Verfahren zur Lösung von Prüfaufgaben wurde mit dem sogenannten BAST-Kompendium und dem DBV-Merkblatt ([6]) nachgegangen. Zudem stellen ([1]) und ([6]) geeignete Textbausteine zur Verfügung. Eine Struktur steht mit ([5]) zur Verfügung.

Basierend auf den Ausführungen von Heft 574 DAfStb ([4]) (Anhang B) sind die Verfahren gemäß der eingebrachten Energie (mechanisch, thermisch, elektrisch, magnetisch, chemisch und Strahlung; zusätzlich: optische und handwerkliche Verfahren) strukturiert. Tabelle 4 aus ([4]) zeigt, dass damit alle Verfahren des ZfPBau-Kompendiums erschlagen werden können. Die Tabelle 4 zeigt eine mögliche Strukturierung der Verfahren nach eingebrachter Energie (erste Spalte) und Zuordnung der im ZfPBau-Kompendium aufgelisteten Verfahren (übrige Spalten) und ist aus ([4]) entnommen.

TABELLE 4: HEFT 574 DAFSTB

| Eingebrachte Energie | Zuordnung der Verfahren | | | | | |
|----------------------|---|---|--|---|--------------------|--|
| | Mechanisch | Thermisch | Elektrisch | Magnetisch | Chemisch | Strahlung |
| Mechanisch | Rückprall-Versuch Kugelschlag-Versuch Pendelhammer Bolzensetzgerät | Vibrothermografie (Wärmeverluste bei mechanischer Anregung) | Impakt-Echo- Schallemissions-analyse Ultraschall Schwingungsanalyse Pfahlprüfung Mikroseismik | | | Farbeindringverfahren Laser- Speckle-Fotografie optische Holographie |
| Thermisch | Differential- Thermoanalyse | Reifegrad-Methode IR-Strahlungs-Thermo- meter IR-Thermografie Wärmeflussverfahren | | | | optische Holographie |
| Elektrisch | | Induktionsthermografie | Mikrowellen, Radar | | | |
| Magnetisch | Betondeckung (Anziehungskraft) | | Betondeckung (magn. Wechselfeld) Wirbelstrom | Kernspinresonanz Remanenzmagnetismus Betondeckung (Streufeld) Magnetstreufuss- verfahren | | |
| Chemisch | Kalzium-Karbid- Methode | Infrarot-Spektroskopie | Potentialfeldmessung | | | Fluoreszenzspektroskopie (LIBS) Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA) |
| Strahlung | | | Radiografie (Speicherfolien) | | Radiografie (Film) | Radiografie (Röntgen-, Gammastrahlen, Neutronen, Linearbeschleuniger) Neutronensonde, Photonensonde XRD*, EDX+ |

* Röntgen-Diffraktometrie; + EDX = Energiedispersive Analyse

Die Einteilung gemäß Tabelle 4 hinsichtlich der eingebrachten Energie wurde bei der späteren Strukturierung der Verfahren in Kap. 3 verwendet.

3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche zum Thema Beton

Für die **Standard-Verfahren** aus Los Beton existieren verwertbare Quellen in großem Umfang. Besonders die **Fachbeiträge, Merkblätter und sonstige Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen** liefern viele und fachlich gute Informationen.

Entsprechende Ausgaben der Buchreihen **Beton-Kalender** und **Bauphysik-Kalender** vom Ernst und Sohn Verlag verschaffen einen guten Einblick in die jeweiligen Verfahren und bieten weiterführende Literaturhinweise.

Die Fachzeitschriften der Heftreihen **Beton- und Stahlbetonbau** und **Bautechnik** veröffentlichen ebenfalls fundierte Fachartikel. Insbesondere die Veröffentlichungen der Fachzeitschriften nach 2007 (Beton- und Stahlbetonbau, Bautechnik) sind bezüglich der Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren wichtig, weil danach die Ergebnisse der Forschergruppe FOR384 [8] dokumentiert wurden.

Die Verfahren **Potentialfeldmessung, Ultraschall, Thermografie, Endoskopie, Radar und Impakt-Echo** sind in den Merkblättern der B-Reihe der DGZfP beschrieben (vgl. Tabelle 3).

Die Verfahren **Sichtprüfung, Ausziehprüfung, Rückprallhammer, Aktive Thermographie, Phenolphthalein-Prüfung und Chemische Salzanalyse** sind genormt; hier können notwendige Informationen den Normen entnommen werden.

Die Verfahren **Sichtprüfung, Ultraschall, Aktive Thermographie, Radiographie und Wirbelstrom** sind außerdem Verfahren der klassischen ZfP. Die dazugehörigen Normen sind für das Bauwesen nur teilweise aufschlussreich.

Vor allem zu den Verfahren **Abreißversuch, Rückprallhammer, Radar und Wirbelstrom** bieten viele Gerätehersteller informative und verwertbare Produktinformationen; sie veröffentlichen im Internet gerätespezifische Trainingsvideos und Live-Webinare mit weiterführenden Informationen zu internationalen Normen und Vorschriften.

Für das Verfahren **Bohrmaschine mit Abschaltautomatik** ist der Informationsumfang sehr gering, so dass hier direkt mit diversen Bohrmaschinenherstellern Kontakt aufgenommen wurde. Die Firmen Bosch, Makita und Hilti haben keine Bohrmaschinen mit Abschaltautomatik im Sortiment (Stand August 2018). Die Firma Metabo hatte bis 2010 die KHE 26 Contact - Abschalttechnik im Hammersortiment, führt diese aber im aktuellen Sortiment nicht mehr (Stand August 2018). Nach dem aktuellen Wissensstand von September 2018 ist die Firma Duss, die einzige, welche derzeit Bohrmaschinen mit Abschaltautomatik im Sortiment vertreiben. Die Abschaltautomatik wird unter der Bezeichnung ASA geführt und kann in Verbindung mit jedem Duss Bohrhammer eingesetzt werden.

Zum Verfahren **Thermografie** ist zusätzlich Kontakt zu einem Experten aufgenommen worden, da die Informationen aus den Normen und Merkblättern unpräzise sind.

Insbesondere zu den Verfahren **Radar und Ultraschall** existiert viel verwertbare Literatur; zu den **chemischen Verfahren** wie Röntgenfluoreszenz-Analyse und Energiedispersive Röntgenanalyse existiert wenig verwertbare Literatur. Bei diesen besteht in Bezug auf die Baupraxis und den Einsatz vor Ort noch Forschungsbedarf.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in die Datenblätter der einzelnen Verfahren eingearbeitet und dort zitiert worden. Unter dem Punkt *Messvarianten/ Verwandte Verfahren* sind weitere Verfahren bzw. Verfahrensabweichungen aufgeführt, die mitunter Forschungsbedarf aufdecken. Die spätere Bewertung der Verfahren stützt sich auf die Ergebnisse der Literaturrecherche.

3.3 Ergebnisse der Literaturrecherche zum Thema Mauerwerk

Für die Verfahren aus Los Mauerwerk existieren deutlich weniger etablierte Lösungen für Prüfaufgaben. Die **Fachbeiträge und Veröffentlichungen der deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung** liefern auch hier aufschlussreiche Informationen.

Das von der Europäischen Kommission geförderte Forschungsprojekt „**Onsiteformasonry - On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry**“ (2001-2004) befasst sich mit den Möglichkeiten und Einsatzgrenzen von zerstörenden Prüfungen an historischem Mauerwerk. Das Projekt untersucht folgende Verfahren an Mauerwerk: Radar-Impuls-Echo, Radartomografie, Mikrowellen-Feuchte-Messung, Impakt-Echo, Akustische Tests und Tomografie, Ultraschall Tomografie, Flat Jack und Geoelektrik. Die beschriebenen Anwendungen haben z.T. nur wissenschaftlichen Charakter und lassen nur begrenzt Rückschlüsse auf eine erprobte Praxisanwendung zu.

Die Dissertation „Zerstörungsfreie Ortung von Anomalien in historischem Mauerwerk mit Radar und Ultraschall – Möglichkeiten und Grenzen“ Astrid Wendrich liefert Informationen zu **Radar und Ultraschall** an Mauerwerk.

Die Literaturrecherche hat ergeben, dass insbesondere Frau Dr.-Ing. Gabriele Patitz, Beratende Ingenieurin INGBW, an vielen Veröffentlichungen zum Thema “Zerstörungsfreie Prüfungen an Mauerwerk” mitgewirkt hat. Hier wurden ergänzend Expertengespräche geführt.

Folgende mögliche Verfahren sind auf Grund der Literaturrecherche entfallen: Rückprallhammer, NMR und CM-Verfahren.

Zur Anwendung des **Rückprallhammers** an Mauerwerk wurde lediglich ein Artikel gefunden, in dem von einem erfolgreichen Einsatz berichtet wird. Weitere Erfahrungswerte zum Einsatz dieses Verfahrens an einem auch makroskopisch so heterogenen Werkstoff wie Mauerwerk liegen nicht vor. Damit erfüllt der Rückprallhammer für die Anwendung an Mauerwerk zumindest derzeit nicht das Kriterium der Praxisrelevanz.

Die **Verfahren NMR und CM** zur Bestimmung der Feuchteverteilung bzw. des Feuchtegehalts werden durch das Feuchtemessverfahren Mikrowellen ersetzt. Das Mikrowellen-Verfahren wird in verschiedenen Literaturquellen als mögliches Verfahren beschrieben.

Weitere Verfahren, die zur ursprünglichen Liste der Verfahren aus dem Durchführungskonzept hinzugekommen sind: Impakt-Echo, Mikroseismik, Geoelektrik, Aktive Thermographie. Diese Verfahren wurden im Rahmen des Projekts „Onsiteformasonry“ in der Praxis erprobt und auf Grund ihrer grundsätzlichen Tauglichkeit in den Bericht „Recommendation for the end users“ aufgenommen.

Zu den Verfahren **Radar, Ultraschall und Mikroseismik** sind mehrfach Artikel und Fallstudien in der Literatur zu finden. Über alle anderen Verfahren existiert wenig bis gar keine Literatur. Daher findet insgesamt

beim Thema Mauerwerk ein nicht unerheblicher Teil der Recherche keinen Niederschlag im Katalog, sondern deckt den Forschungsbedarf auf.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in die Datenblätter der einzelnen Verfahren eingearbeitet und dort zitiert worden. Die spätere Bewertung der Verfahren stützt sich auf die Ergebnisse der Literaturrecherche.

3.4 Literaturverwaltungsprogramm

Die verwendete Literatur ist parallel in das Literaturverwaltungs- und Wissensorganisations-Programm *Citavi* eingepflegt und entsprechend der Themen Beton und Mauerwerk sowie der Struktur des neuen Katalogs nach Messprinzipien in Kategorien eingeordnet worden. Zusätzlich ist ein Ordner mit allgemeinen Literaturhinweisen angelegt worden. So ist die gesamte, verwendete Literatur geordnet gesammelt und gespeichert und kann einfach ausgegeben und zugänglich gemacht werden.

In den Abbildungen 2, 3 und 4 wird die Arbeit und die Ergebnisse mit *Citavi* am Beispiel von Beton-Ultraschall-Verfahren vorgestellt.

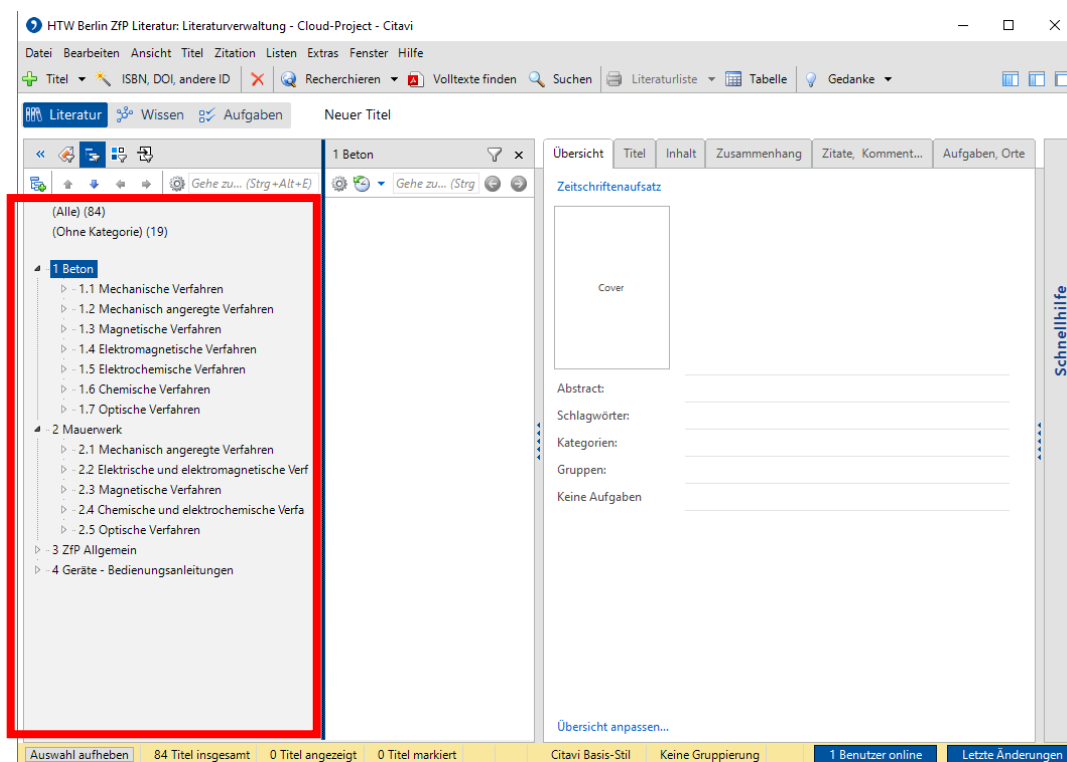


Abbildung 2: Struktur der Kategorien in Citavi für Beton und Mauerwerk

AP 1: Erfassung und Darstellung der relevanten Verfahren

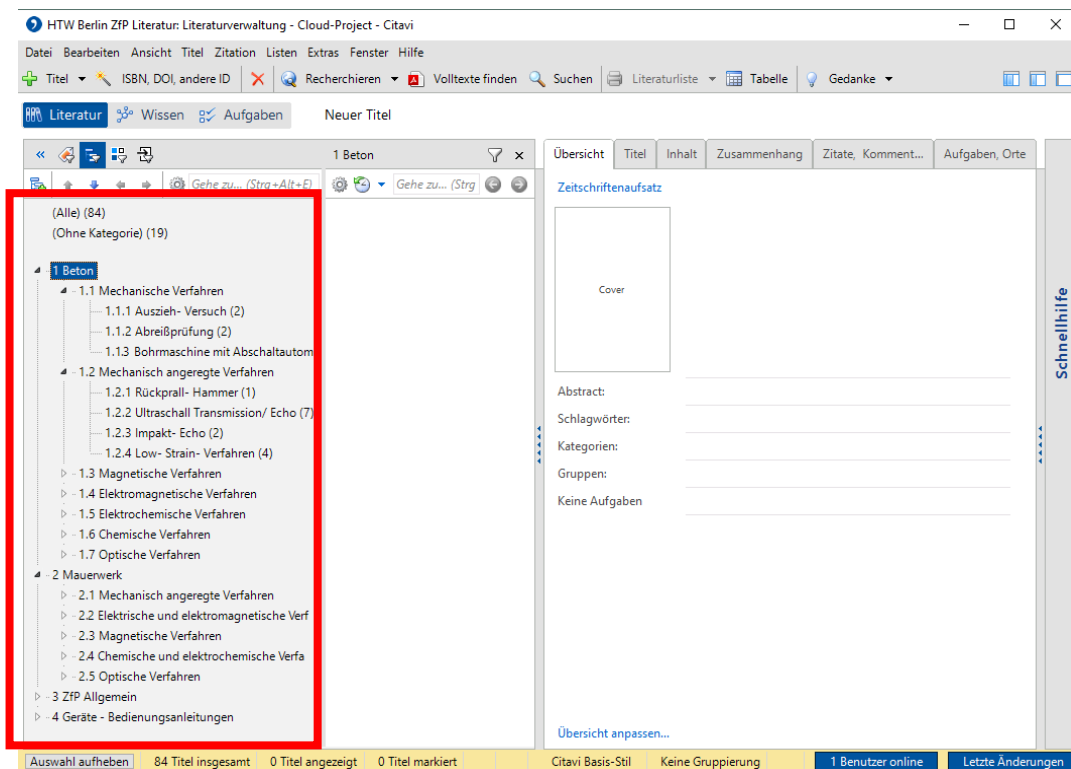


Abbildung 3: Struktur der Subkategorien exemplarisch am Beispiel von „Mechanischen Verfahren“ und „Mechanisch angeregte Verfahren“ in Citavi

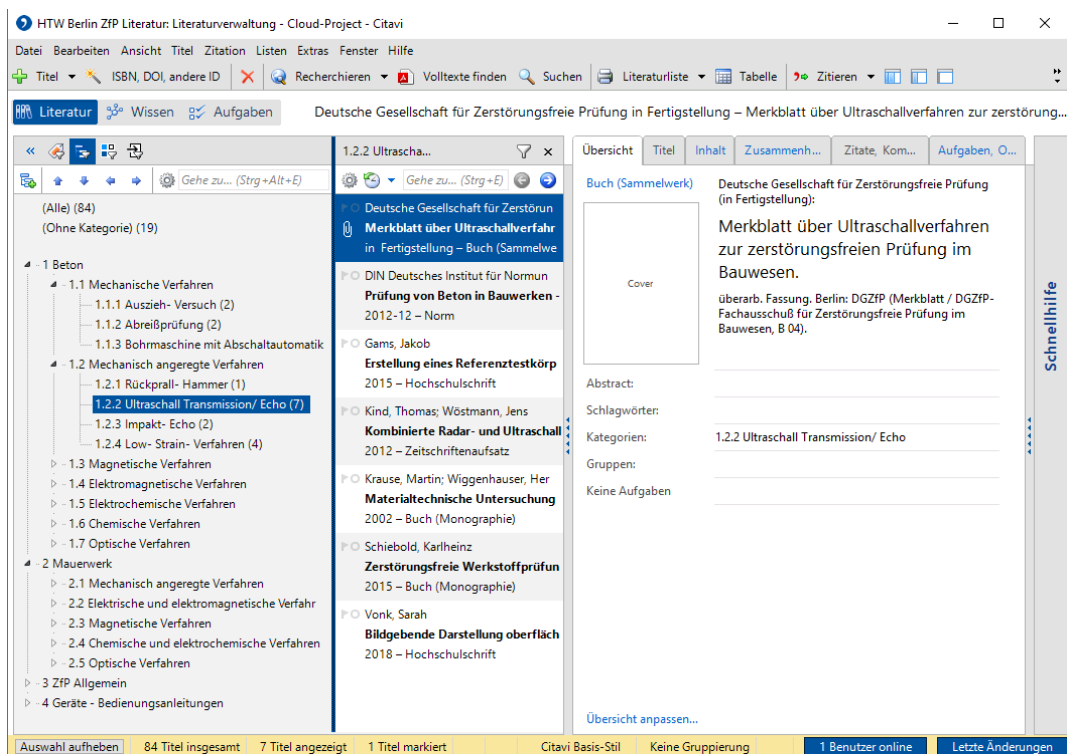


Abbildung 4: Literaturangaben exemplarisch am Beispiel von Ultraschall

Im fe der Bearbeitung des Projekts sind insgesamt rund 270 literarische Werke gesammelt worden.

3.5 Festlegung der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs zum Thema Beton

Nicht alle der 115 im ZfPBau-Kompodium verwendeten Verfahren haben sich als praxisrelevant erwiesen, daher wird die Anzahl der Verfahren auf die im DBV-Merkblatt genannten Verfahren beschränkt.

Die Struktur des Katalogs unterteilt sich gemäß den physikalischen Messprinzipien bzw. gemäß der eingebrachten Energie ähnlich wie in der zuvor aufgeführten aus [4].

Die Struktur und die Zuordnung der ausgewählten Verfahren ergeben sich demnach wie folgt:

- **Optische Verfahren**
 - (1) Sichtprüfung
 - (2) Endoskopie: Boreskope
 - (3) Endoskopie: Fiberskope
 - (4) Endoskopie: Videoskope
- **Mechanische (handwerkliche) Verfahren**
 - (1) Ausziehprüfung (hier: CAPO-Test)
 - (2) Abreißversuch (Oberflächenzugfestigkeit und Haftzugfestigkeit)
 - (3) Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung
- **Mechanisch angeregte Verfahren**
 - (1) Rückprallhammer / Schmidt-Hammer
 - (2) Klopfprobe
 - (3) Ultraschall Echo
 - (4) Impakt-Echo
 - (5) Low-Strain-Verfahren / Hammerschlag-Methode
- **Magnetische Verfahren**
 - (1) Magnetisches Gleichfeld
 - (2) Magnetisches Wechselfeld: Ferromagnetische Verfahren und Wirbelstrom
 - (3) Remanenzmagnetismus
- **Elektromagnetische Verfahren**
 - Spektralbereich Mikrowellen
 - (1) RADAR
 - Spektralbereich Infrarotstrahlung
 - (2) Aktive Thermografie
 - Spektralbereich Röntgenstrahlung
 - (3) Radiographie/ Durchstrahlungsprüfung mit Röntgenstrahlen
 - (4) XRD X-Ray Diffraction/ Röntgendiffraktometrie
 - Spektralbereich Gammastrahlung
 - (5) Neutronensonde
- **Elektrochemische Verfahren**
 - (1) Potentialfeldmessung

▪ **Chemische Verfahren¹**

- (1) Indikatorverfahren: Phenolphthalein
- (2) Chemische Salz-Analyseverfahren: Chlorid-Test
- (3) LIBS Laser- Induced Breakdown Spectroscopy/ LIPS Laser-induzierte Plasmaspektroskopie
- (4) XRF X-Ray Fluorescence Spectroscopy/ RFA Röntgen-Fluoreszenz-Analyse
- (5) EDX Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy/ EDA Energiedispersive Röntgenanalyse

Auf chemisch analytische Verfahren, Feuchtemessverfahren und Spezialverfahren wird zwar hingewiesen, diese werden aber nicht detailliert beschrieben.

¹ LIBS und XRF werden aus [4] folgend unter „chemische Verfahren“ eingruppiert, weil die ausgesandte Strahlung zwar elektromagnetisch ist, diese jedoch von der Elektronenkonfiguration des untersuchten Elements abhängt und somit das Messprinzip auf der Anregungsseite „chemisch“ ist.

3.6 Festlegung der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs zum Thema Mauerwerk

Die Struktur des Katalogs zum Thema Mauerwerk unterteilt sich wie beim Thema Beton gemäß den physikalischen Messprinzipien bzw. gemäß der eingebrachten Energie ähnlich wie in der zuvor aufgeführten aus[4].

Die Struktur und die Zuordnung der ausgewählten Verfahren ergeben sich wie folgt:

- **Optische Verfahren**
 - (1) Sichtprüfung
 - (2) Endoskopie: Boreskope
 - (3) Endoskopie: Fiberskope
 - (4) Endoskopie: Videoskope
- **Mechanisch angeregte Verfahren**
 - (1) Klopfprobe
 - (2) Impakt-Echo
 - (3) Ultraschall
 - (4) Mikroseismik
- **Elektrische Verfahren**

Spektralbereich Mikrowellen

 - (1) Geoelektrik/ Widerstandsverfahren
- **Elektromagnetische Verfahren**

Spektralbereich Mikrowellen

 - (1) RADAR
 - (2) Mikrowellen

Spektralbereich Infrarotstrahlung

 - (3) Aktive Thermografie

Spektralbereich Röntgenstrahlung

 - (4) Radiographie/ Durchstrahlungsprüfung
- **Chemische Verfahren**
 - (1) Chemische Analyseverfahren

3.7 Festlegung der Struktur des Formblatts für den neuen Verfahrenskatalog

Zur Festlegung des Formblatts für den neuen ZfPBau- Verfahrenskatalog dienen die zwei bestehenden - in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten - Kataloge als Vorlage:

- ZfPBau-Kompodium, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, November 2004
- NDT-Toolbox, Forschungsvorhaben „Sustainable Bridges“, Rosemarie Helmerich, BAM, November 2007

Diese beiden Vorlagen, wovon sich das ZfPBau Kompodium bereits langjährig bewährt hat, wurden miteinander verglichen und abgewogen, welche Felder im neuen Formblatt sinnvoller Weise auftauchen sollen.

Im Folgenden werden die positiven und negativen Aspekte der bestehenden Vorlagen dargestellt und anschließend schlussfolgernd der Aufbau des neuen Formblattes erläutert:

- Beide Vorlagen haben gemein, dass sie prinzipiell sehr übersichtlich gestaltet sind.
- Positiv beim ZfPBau-Kompendium ist die Kurzbeschreibung zum Verfahren. Diese gibt eine schnelle Übersicht. Die Struktur mit Unterteilung Charakterisierung, Anwendung und Bewertung ist generell gut, aber die Begrifflichkeiten sind nicht eindeutig bzw. nicht fachspezifisch gewählt. Außerdem wird nicht explizit nach Messverfahren, Messprinzip und Messmethode unterschieden. Insgesamt fällt durch einige Begrifflichkeiten wie „WWW- Links“ und nicht mehr gängige Verfahren auf, dass das Kompendium älteren Datums ist.
- Positiv bei der NDT-Toolbox sind auch hier die Kurzbeschreibung sowie die explizite Aufführung des physikalischen Prinzips hinter dem Verfahren. Die Anwendungsgrenzen sind sehr knapp beschrieben. Die Unterpunkte bei der Verfahrenscharakterisierung sind nicht eindeutig. Die Unterteilung in zerstörungsfrei, geringfügig zerstörend und zerstörend ist irreführend, wenn es um zerstörungsfreie Verfahren geht. Die getrennte Unterscheidung in erforderliche Ausbildung und Ausbildungsgrad ist überflüssig. Die Bezeichnung „Vor- und Nachteile“ ohne direkte Gegenüberstellung eines anderen Verfahrens mit gleicher Prüfaufgabe lässt keinen direkten Vergleich zu. Vor- und Nachteile können nur im direkten Vergleich von Verfahren für bestimmte Prüfaufgabe zur Entscheidungswahl für ein Verfahren führen. Genauere Angaben zur Messmethode fehlen. Insgesamt sind die einzelnen Verfahrensbeschreibungen nicht ausführlich genug. Der Bezug für die Kriterien im Bereich Charakterisierung fehlt.

Neuer ZfPBau-Verfahrenskatalog

Das Formblatt für den neuen ZfPBau Verfahrenskatalog orientiert sich vom prinzipiellen Aufbau an den beschriebenen Vorlagen. Das Formblatt ist so aufgebaut, dass die einzelnen Formfelder später problemlos in ein Online-Tool übertragen werden können.

Die Ausführlichkeit wird ein Kompromiss aus dem ZfPBau-Kompendium und der NDT-Toolbox. Insgesamt wird auf die Verwendung von eindeutigen Fachbegriffen und treffenden Überschriften für die einzelnen Formfelder geachtet.

Der Inhalt des Formblattes baut sich in einer festgelegten Reihenfolge auf. So ergibt sich eine eindeutige Struktur der Felder, die dadurch thematisch aufeinander aufbauen.

Der *einleitende Überblick* gibt eine schnelle Auskunft, ob das entsprechende Verfahren das richtige für die gesuchte Prüfaufgabe ist. Wenn nein, dann kann man sich mit dem nächsten Verfahren beschäftigen. Wenn ja, dann folgt der vertiefende Hauptteil und weiterführende Informationen zum Verfahren.

Die Inhalte des Formblattes sind wie folgt aufgebaut:

- 1) Einleitender Überblick
 - a) Messverfahren, Messprinzip und Messmethode in der Kurzbeschreibung sowie Prüfaufgabe
 - b) Standard-Anwendungsbereich und -grenzen sowie Sonder- Anwendungsmöglichkeiten und bauliche Voraussetzungen
- 2) Spezifische Informationen über das ausgewählte Verfahren
 - a) Ausführliche Verfahrensbeschreibung und Vergleich (Vor- und Nachteile bei gleicher Prüfaufgabe)
 - b) Messmethode und Verfahrensauswand
 - Messmethode (Messaufbau, Messergebnisse, Messgeräte, Messgröße, Messdurchführung): Der Messaufbau und die Messergebnisse werden in Form von Fotos dargestellt; die Fotos werden überwiegend eigene Aufnahmen von Prüfungen sein

- Verfahrensaufwand (Technik, Zeit, Kosten, Fachwissen): Für den Verfahrensaufwand werden 1 bis 5 Punkte vergeben, wobei 1 Punkt den geringsten Aufwand und 5 Punkte den höchsten Aufwand beschrieben.

3) Weiterführenden Informationen:

- a) Gerätehersteller ²,
- b) verwandte Verfahren und
- c) Literaturangaben.

² Die Aufzählung der Gerätehersteller erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4 AP 2: Identifikation der relevanten Prüfaufgaben

Wie in Kapitel 2 herausgearbeitet, werden im **DBV-Merkblatt ([6])** Prüfaufgaben, bauartbedingte Prüfungen sowie Prüfungen für Bauen im Bestand an Mauerwerk in Textform beschrieben. In der **NDT-Toolbox ([5])** werden für Beton und Mauerwerk Prüfaufgaben beschrieben und mit den Verfahren verknüpft. Die Verfahren sind nach physikalischen Messprinzipien geordnet. Mit einem Punkt wird markiert, welche Prüfaufgabe von welchem Verfahren erfüllt werden kann. Es erfolgt keine Bewertung, welches Verfahren am besten für welche Prüfaufgabe geeignet ist.

Im **Bauphysik-Kalender 2012 ([12])** werden Untersuchungsziele Prüfverfahren zugeordnet. Die Prüfverfahren nach in geringen, erhöhten und hohen technischen Aufwand unterschieden.

In ([22]) werden praxisrelevante Prüfprobleme nach Häufigkeit der Fragestellung für Mauerwerk dargestellt.

Diese Regelwerke und Erfahrungen dienen zusammen mit den bisherigen Erkenntnissen aus Arbeitspaket 1 als Grundlage für die umfassende Identifikation der relevanten Prüfaufgaben in diesem Arbeitspaket.

Im Laufe der Bearbeitung zur Strukturierung der Prüfaufgaben hat sich ergeben, dass zunächst der **Prüfgegenstand** definiert und unterteilt werden muss, um eine sinnvolle Übersicht und Zuordnung der **Prüfaufgaben** zu erhalten. Bei den Prüfaufgaben selbst ist ebenfalls eine Unterteilung sinnvoll, um darstellen zu können, dass sich die **Prüfaufgaben aus verschiedenen Einzelprüfungen und einer Prüfabfolge** zusammensetzen. So kann die Lösung einer komplexen Prüfaufgabe später modular zusammengesetzt werden.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich folgende Liste der praxisrelevanten Prüfaufgaben:

- Der **Prüfgegenstand** wird unterteilt in **Baustoffeigenschaften** und **Bauteilkonstruktion**. Die Prüfaufgaben für die Baustoffeigenschaften betreffen den inneren Zustand, also Baustoff- und Materialeigenschaften, des zu untersuchenden Objekts. Die Bauteilkonstruktion umfasst den generellen Aufbau mit Einbauteilen des zu untersuchenden Objekts.
- Die **Prüfaufgaben** unterteilen sich in die **qualitative Bestimmung** durch **Detektion** und die **quantitative Bestimmung** durch Messung des zu untersuchenden Objekts.

Durch diese Unterteilung ergeben sich insbesondere bei der Bauteilkonstruktion sinnvolle Prüfabfolgen mit Einzelprüfungen.

Der generelle Aufbau aus Prüfgegenstand und Prüfaufgaben der Tabelle ist für die Themenbereiche Beton und Mauerwerk identisch; die Prüfaufgaben sind baustoffspezifisch.

In den Kapiteln 4.1 und 4.2 sind die praxisrelevanten Prüfaufgaben tabellarisch für die Lose Beton und Mauerwerk formuliert und dargestellt.

4.1 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben zum Thema Beton

Tabelle 5 zeigt die baustoffspezifischen Prüfaufgaben für das Los Beton - unterteilt in qualitative und quantitative Bestimmung sowie die Baustoffeigenschaften- und die Bauteilkonstruktion betreffend.

TABELLE 5: STRUKTURIERUNG PRAXISRELEVANTER PRÜFAUFGABEN BETON

| Prüfgegenstand | Detektion: | Messung: |
|---|--|---|
| | Qualitative Bestimmung | Quantitative Bestimmung |
| Baustoffeigenschaften: Innerer Zustand/ Oberfläche | Elementzusammensetzung | Elementgehalt |
| | (Änderung der) Baustoffeigenschaften | - Druckfestigkeit - Oberflächen- und Haftzugfestigkeit |
| | Oberflächen-Inhomogenitäten: Risse (i.d.R. betriebsinduziert) | Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) |
| | Volumen-Inhomogenitäten: Kiesnester (i.d.R. herstellungsbedingt) | Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) |
| | Delaminationen | Lage und Größe delaminierte Bereiche |
| | Karbonatisierung | Karbonatisierungstiefe |
| | Feuchteverteilung | Feuchtegehalt |
| | Bauschädliche Salze (z. B. Chloride) | Salzgehalt (z. B. Chloridgehalt) |
| | Verpressfehler | Lage und Größe der Verpressfehler |
| | Korrosionsaktive Bereiche | Bereiche mit erhöhter Korrosionsaktivität |
| Bauteilkonstruktion: Innerer Aufbau/ Geometrie | Rückwand | - Bauteildicke/ -länge - Dickenänderung - Schichtenaufbau |
| | Bewehrung (Stahlbeton) | - Betondeckung - Stababstände - Durchmesser |
| | Spannglieder/ Hüllrohre (Spannbeton) | - Tiefenlage - Anzahl |
| | Spannstahlbruch/ Spanndrahtbruch (Spannbeton) | - |

4.2 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben zum Thema Mauerwerk

Tabelle 6 zeigt die baustoffspezifischen Prüfaufgaben für das Los Mauerwerk - unterteilt in qualitative und quantitative Bestimmung sowie die Baustoffeigenschaften- und die Bauteilkonstruktion betreffend.

TABELLE 6: STRUKTURIERUNG PRAXISRELEVANTER PRÜFAUFGABEN MAUERWERK

| Prüfgegenstand | Detektion: | Messung: |
|---|--|--|
| | Qualitative Bestimmung | Quantitative Bestimmung |
| Baustoffeigenschaften: Innerer Zustand/ Oberfläche | Elementzusammensetzung (Stein- und Mörtelart) | Elementgehalt |
| | Erhaltungszustand/ (Änderung der) Baustoffeigenschaften | Druckfestigkeit des Mauerwerks |
| | Oberflächen-Inhomogenitäten Stein und MW: Abbröckelungen, Absandungen, Absprengungen, Risse (i.d.R. betriebsinduziert und witterungsbedingt) | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) |
| | Volumen-Inhomogenitäten Stein und MW: Verarbeitungsfehler, Schalenbildung, Luft-, Holz- und Metalleinschlüsse (i.d.R. herstellungsbedingt) | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) |
| | Delaminationen (z. B. Putzhohllagen) | Lage und Größe delaminierte Bereiche |
| | Feuchteverteilung | Feuchtegehalt |
| | Bauschädliche Salze (z. B. Chloride) | Salzgehalt (z. B. Chloridgehalt) |
| Bauteilkonstruktion: Innerer Aufbau/ Geometrie | Verformungen | Lage und Abweichungen |
| | Rückwand | - Bauteildicke - Mehrschaligkeit/ Schichtenaufbau/ Luftschicht - Verbund der Schichten/ Ablösungen - Steineinbindetiefe |
| | Bewehrtes Mauerwerk, Verbindungsanker | Lage und Anzahl |
| | Zustand der Bewehrung | - |

5 AP 3: Verknüpfung der Prüfaufgaben mit den ZfP-Verfahren

Auf Basis der Erkenntnisse aus AP 1 und AP 2 stehen die Möglichkeiten und Grenzen der als relevant eingestuften Verfahren sowie die Prüfaufgaben fest. In diesem Arbeitspaket werden die Verfahren in einer Matrix mit den Prüfaufgaben verknüpft.

In diesem Kapitel wird auf das Arbeitspaket 4 vorgegriffen. Die festgelegte Bewertungsform für die Eignung der Verfahren aus Arbeitspaket 4 wird in diesem Kapitel angewendet. In die Bewertung sind die Ergebnisse der Literaturrecherche eingegangen. Konkrete Hinweise auf Literaturstellen finden sich in den Datenblättern der Verfahren.

In der Matrix wird bewusst auf Fußnoten für weiterführende Hinweise oder Erklärungen für die verwendete Bewertung verzichtet. Die Matrix gibt grundsätzlich Auskunft über die physikalischen Voraussetzungen, technischen Voraussetzungen und die wirtschaftliche Vertretbarkeit und dient damit einem ersten Eindruck für die bestehenden Möglichkeiten der Verfahren. Für detaillierte Informationen zu Anwendungsgrenzen und Sonder-Anwendungen der Verfahren wird auf das Formblatt des jeweiligen Verfahrens verwiesen.

In den Kapiteln 5.1 und 5.2 sind die Matrizen der Verknüpfungen von Prüfaufgabe mit den Verfahren zur Übersicht der Gestaltung für die Lose Beton und Mauerwerk dargestellt. Im Anhang befinden sich die Matrizen in Originalgröße.

5.1 Darstellung der Matrix aus Prüfaufgabe und ZfP-Verfahren zum Thema Beton

Tabelle 7 zeigt die Matrix aus den baustoffspezifischen Prüfaufgaben (Kap. 4) und den Verfahren (Kap. 3) für das Los Beton. Die baustoffspezifischen Prüfaufgaben sind weiter unterteilt in qualitative und quantitative Bestimmung, wobei die Textvorhebungsfarbe Grau die qualitative Bestimmung und Weiß die quantitative Bestimmung darstellt.

TABELLE 7: MATRIX PRÜFAUFGABE/ ZFP-VERFAHREN BETON

| Prüfaufgaben** | Bewertungskriterien | Verfahren Beton | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|--|--------------------------------|-------------------------|---|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | | Physikalische Grundlageweisung | | | | Optische Verfahren | | | | Mechanische (handwerkliche) Verfahren | | | | Physikalische Grundlageweisung | | | | | | |
| | | (1) Sichtprüfung | (2)(a) Endoskopie: Borekope | (2)(b) Endoskopie: Fiberskope | (2)(c) Endoskopie: Videoskope | (1) Ausziehprüfung | (2) Abreißversuch | (3) Bohmaschine mit automatischer Abschaltung | (1) Rückprallhammer / Schmidt-Hammer | (2) Klopflprobe | (3) Impact Echo | (4) Ultraschall | (5) Low-Stain-Verfahren / Hammerschlag-Methode | (1) RADAR | (2) Aktive Thermografie | (3) Radiographie/Durchstrahlungsprüfung | (4) Röntgendiffraktometrie XRD | (5) Neutronensonde | (1) Magnetisches Gleichfeld | (2) Magnetisches Wechselfeld |
| Baustoffzusammensetzung (Beton-/ Zementsorte) | Elementgehalt | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (Änderung der) Baustoffeigenschaften | Druckfestigkeit | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Oberflächen- und Haftzugfestigkeit | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Oberflächen-Inhomogenitäten (z.B. Risse) | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) | + | + | + | + | - | - | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + | - | - | - |
| | Volumen-Inhomogenitäten (z.B. Kiesnester) | o | o | o | o | - | - | - | - | o | + | o | + | + | + | + | + | - | - | - |
| Delaminationen | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) | o | o | o | o | - | - | - | - | o | + | + | + | + | + | + | + | - | - | - |
| | Lage und Größe delaminierter Bereiche | o | o | o | o | - | - | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + | - | - | - |
| Karbonatisierung | Karbonatisierungstiefe | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Feuchteverteilung | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | o | - | + | + | - | - | - | - | - |
| Bauschädliche Salze (z.B. Chloride) | Salzgehalt (z.B. Chloridgehalt) | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Verpressteher | - | + | + | + | - | - | o | - | - | - | o | + | - | - | - | - | - | - | - |
| Korrosionsaktive Bereiche | Lage und Größe der Verpressteher | - | + | + | + | - | - | o | - | - | - | o | + | - | - | - | - | - | - | - |
| | Bereiche mit erhöhter Korrosionsaktivität | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | o | - | - | - | - | - | - |
| Rückwand | Bauteildicke bzw. Bauteillänge | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | + | - | - | - |
| | Dickenänderung | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | o | + | + | + | + | - | - | - |
| Bewehrung (Stahlbeton) | Schichtenaufbau | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | o | + | + | + | + | - | - | - |
| | Betondeckung | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | + | - | - | - |
| Spannglieder/ Hüllrohre (Spannbeton) | Stababstände | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | + | - | - | - |
| | Durchmesser | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | + | - | - | - |
| Spannstahlbruch/ Spanndrahtbruch (Spannbeton) | Tiefenlage | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | o | - | - |
| | Anzahl | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - | - |
| Spannstahlbruch/ Spanndrahtbruch (Spannbeton) | | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - | - |

Die Beschreibung der Kriterien zur Bewertung der Verfahren mit „+“, „o“ und „-“ erfolgt in Kap. 6.

5.2 Darstellung der Matrix aus Prüfaufgabe und ZfP-Verfahren zum Thema Mauerwerk

Tabelle 8 zeigt die Matrix aus den baustoffspezifischen Prüfaufgaben (Kap. 4) und den Verfahren (Kap. 3) für das Los Mauerwerk. Die baustoffspezifischen Prüfaufgaben sind weiter unterteilt in qualitative und quantitative Bestimmung, wobei die Textvorhebungsfarbe Grau die qualitative Bestimmung und Weiß die quantitative Bestimmung darstellt.

TABELLE 8: MATRIX PRÜFAUFGABE/ ZFP-VERFAHREN MAUERWERK

| Prüfaufgaben* | | Verfahren Mauerwerk | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|---|
| | | Optische Verfahren | | | | Mechanisch angeregte Verfahren | | | | Elektrische Verfahren | | | | Elektromagnetische Verfahren | | | |
| Bauteilkonstruktion: | Baustoffeigenschaften: | Physikalische Grundlage | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (1) Sichtprüfung | (2)(a) Endoskopie: Borekope | (2)(b) Endoskopie: Fiberskope | (2)(c) Endoskopie: Videoskope | (1) Klopfprobe | (2) Impakt-Echo | (3) Ultraschall: Transmission | (4) Mikroseismik | (1) Geoelektrik | (1) Radar | (2) Mikrowellen | (3) Aktive Thermographie | (4) Radiographie | (1) Chemische Salzanalyseverfahren | | |
| | Baustoffzusammensetzung (Stein- und Mörtelart) | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Elementgehalt | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Erhaltungszustand | o | - | - | - | o | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - |
| | Druckfestigkeit Mauerwerk | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Oberflächen-Inhomogenitäten Stein und MW: Abbröckelungen, Absandungen, Absprengungen, Risse | + | + | + | + | o | o | o | o | + | - | - | - | - | - | - | - |
| | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) | o | o | o | o | o | o | o | o | + | - | - | - | - | - | - | - |
| | Volumen-Inhomogenitäten Stein und MW: Verarbeitungsfehler, Schalenbildung, Luft-, Holz- und Metalleinschlüsse | - | o | o | o | o | o | o | o | + | o | - | - | - | - | - | - |
| | Art, Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe) | - | o | o | o | o | o | o | o | + | - | - | - | - | - | - | - |
| | Delaminationen (z.B. Putzhohllagen) Lage und Größe delaminierter Bereiche | - | - | - | - | + | + | + | + | o | o | - | - | - | - | - | - |
| | Feuchteverteilung | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Feuchtegehalt | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Bauschädliche Salze (z.B. Chloride) | o | o | o | o | - | - | - | - | - | o | - | - | - | - | - | - |
| | Salzgehalt (z.B. Chloridgehalt) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Verformungen | + | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Lage und Abweichungen | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Rückwand | - | o | o | o | - | - | + | o | o | - | - | - | - | - | - | - |
| | Bauteildicke | - | o | o | o | - | - | + | o | o | - | - | - | - | - | - | - |
| | Mehrschaligkeit/ Schichtenaufbau/ Luftschicht | - | + | + | + | - | - | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Verbund der Schichten/ Ablösungen | - | o | o | o | - | - | o | + | o | - | - | - | - | - | - | - |
| | Steineinbindetiefe | - | + | + | + | - | - | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Bewehrtes Mauerwerk, Verbindungsanker | - | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Anzahl und Lage | - | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Zustand der Bewehrung | o | o | o | o | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Die Beschreibung der Kriterien zur Bewertung der Verfahren mit „+“, „o“ und „-“ erfolgt in Kap. 6.

6 AP 4: Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben

In diesem Kapitel entsteht für die Matrix aus Prüfaufgabe und möglichen Verfahren aus Kap. 5 die Festlegung der Bewertung in Form von „+“, „-“, oder „o“ nach einer grundsätzlichen Dreiteilung in (1) physikalisch möglich, (2) technisch möglich und (3) wirtschaftlich sinnvoll.

Die Bewertung wird damit einfach gehalten und folgt dem Grundsatz nach Handbuch Bauwerksprüfung ([13]), wo zur Auswahl des Prüfverfahrens folgende Unterscheidung getroffen wird:

„Bei der Frage nach der Auswahl eines geeigneten Prüfverfahrens gilt es, 3 Aspekte zu betrachten:

- **physikalische Voraussetzungen** für die Anwendung eines Messprinzips (z. B. physikalische Eigenschaften der zu untersuchenden Baustoffe, die die Ausbreitung einer bestimmten Energieform erlauben),
- **technische Voraussetzungen** für die Anwendung eines Gerätes (z. B. Zugänglichkeit der Messfläche, Verfügbarkeit geeigneter Sensoren und Auswertungsmethoden, Zuverlässigkeit der Prüfaussage),
- **wirtschaftliche Vertretbarkeit** (z. B. Größe der Messfläche im Verhältnis zum Messraster, Zeitaufwand von Messung und Auswertung, Eingriffe in den Verkehr).“ ([13], Kapitel 4.2)

Darauf aufbauend wurde die Klassifizierung wie folgt festgelegt:

- **„-“: Anwendung des Verfahrens physikalisch nicht möglich**

Es gibt keine (ausreichende) physikalische Grundlage, die einen Zusammenhang von Messgröße zur Prüfaufgabe herstellt. Das schließt folgerichtig eine technisch sinnvolle bzw. wirtschaftlich vertretbare Anwendung aus.

- **„o“: Anwendung des Verfahrens mit Einschränkungen möglich**

Die physikalischen Voraussetzungen sind gegeben. Bei geeigneten Randbedingungen ist eine technische Anwendung zwar möglich, die Genauigkeit bzw. Zuverlässigkeit der Ergebnisse mag eingeschränkt sein. Daher beschränkt sich eine wirtschaftlich vertretbare Anwendung häufig auf Einzelfälle mit hoher Relevanz bzgl. der Prüfaussage (z.B. akute Gefährdung der Standsicherheit) oder auf wissenschaftliche Anwendungen, wenn wirtschaftliche Aspekte eine untergeordnete Rolle spielen.

- **„+“: Anwendung des Verfahrens gut geeignet**

Die physikalischen Voraussetzungen sind gegeben. Bei geeigneten Randbedingungen ist eine technische Anwendung je nach Anforderungen des Kunden möglich. Leistungsfähigkeit und Grenzen der Verfahren sind in der Praxis hinreichend dokumentiert, so dass das Verfahren je nach Kundenanforderungen und der Bedeutung der Prüfergebnisse auf die Nutzung des Bauwerks als wirtschaftlich vertretbar eingestuft werden kann. Ungünstige Randbedingungen und hohe Kundenanforderungen können die technische Anwendbarkeit einschränken bzw. eine wirtschaftliche Vertretbarkeit in Frage stellen.

Daher wird bei der Auswahl des Verfahrens dringend empfohlen, zwischen Kunden und Dienstleister die Prüfaufgabe mit der zu beantwortenden Prüfaussage zu spezifizieren. Dazu sind im Vorfeld von beiden Seiten die Kundenanforderungen und die technisch möglichen Ergebnisse zu benennen. Im Sinne der wirtschaftlichen Vertretbarkeit mögen einzelne Kundenanforderungen mit den technisch realistisch er-

zielbaren Möglichkeiten abgeglichen werden. Dies betrifft insbesondere die Festlegung der minimal detektierbaren Objektgröße, des Messrasters und der zu untersuchenden Fläche. Weitere Hinweise zur Festlegung einer Messstrategie sind im Bauphysik-Kalender 2012 ([7]) enthalten.

7 Hinweise für die zukünftige Nutzung

Mit dem neuen ZfP-Katalog steht für mögliche Prüfaufgaben des Bauwesens eine Auswahlgrundlage für die Baustoffe Beton, Mauerwerk und Stahl³ zur Verfügung. Dabei ist zu beachten, dass die ZfPBau-Verfahren primär für den Einsatz an Beton als etabliert anzusehen sind. Für Mauerwerk gibt es aufgrund der stark heterogenen Struktur des Baustoffs weit weniger etablierte Standardanwendungen als für Beton, auch wenn 14 Verfahren angegeben werden. Die für Mauerwerk in Frage kommenden Verfahren müssen daher im Einzelfall auf die Eignung an dem konkreten Objekt und für die konkrete Prüfaufgabe geprüft werden.

³ Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung 6 (2021);
<https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/>

8 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Struktur des ZfP-Katalogs..... | 13 |
| Abbildung 2: Struktur der Kategorien in Citavi für Beton und Mauerwerk..... | 20 |
| Abbildung 3: Struktur der Subkategorien exemplarisch am Beispiel von „Mechanischen Verfahren“ und..... | 21 |
| Abbildung 4: Literaturangaben exemplarisch am Beispiel von Ultraschall..... | 21 |

9 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Vorgehensweise in Los 2 (Beton)..... | 11 |
| Tabelle 2: Vorgehensweise in Los 3 (Mauerwerk) | 11 |
| Tabelle 3: Alle derzeit von der DGZfP verbreiteten Merkblätter der B-Reihe (Stand: Anfang 2019) | 15 |
| Tabelle 4: Heft 574 DAfStb | 17 |
| Tabelle 5: Strukturierung praxisrelevanter Prüfaufgaben beton | 28 |
| Tabelle 6: Strukturierung praxisrelevanter Prüfaufgaben mauerwerk | 29 |
| Tabelle 7: Matrix Prüfaufgabe/ ZfP-Verfahren Beton..... | 31 |
| Tabelle 8: Matrix Prüfaufgabe/ ZfP-Verfahren Mauerwerk..... | 32 |

10 Quellenverzeichnis

- [1] **Krause M., Wiggenhauser, H. und G. Schickert:** ZfPBau-Datenbank für Ingenieurbauwerke. In: DGZfP (Hrsg.); Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Berlin 27.02.-01.03.1991, Berlin (1991), S. 293-301
- [2] **Schickert, G., Krause, M. und H. Wiggenhauser:** ZfPBau-Kompendium, Internetpräsenz: <http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm> (Letzte Überarbeitung 2004)
- [3] **Schickert, G.:** Systematik der ZfPBau-Verfahren, in: DGZfP (Hrsg.); Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Berlin 27.02.-01.03.1991, Berlin (1991), S. 1-16
- [4] **Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb):** Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung (Dissertation), Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth Verlag Berlin, Heft 574
- [5] **Helmerich, R., Bien, J. and P. Cruz:** A guideline for Inspection and Condition Assessment including the NDT toolbox, Proceedings of Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and longer lives. Wrocław, 2007, pp. 93-104
- [6] **Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein;** DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, Eigenverlag, Berlin 2014
- [7] **Hillemeier, B. und A. Taffe:** Aktuelle Regelwerke der Bauwerksdiagnostik. In: Fouad, N. A. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2012; Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Kapitel A3, S. 57-101
- [8] **Reinhardt, H.-W.:** Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen in Bergmeister, K. (Hrsg.); Beton-Kalender 2007, Verkehrsbauten-Flächentragwerke. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Bd. 1, Kapitel V, S. 479-598
- [9] **Maierhofer, Ch., Reinhardt, H.-W. and G. Dobmann (eds.):** Non-destructive evaluation of reinforced concrete structures, Volume 1 and 2, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2010
- [10] **Breyse, D. (Hrsg.):** Non-Destructive Assessment of Concrete Structures: Reliability and Limits of Single and Combined Techniques; State-of-the-Art Report on RILEM Technical Committee 207-INR. Springer 2012
- [11] **Wiggenhauser, H. und A. Taffe:** Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen. In: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, S. 305-418.
- [12] **Fouad, N. A. (Hrsg.):** Bauphysik-Kalender 2012, Gebäuediagnostik; Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Kapitel A bis C, S. 1-442
- [13] **Taffe, A.:** Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Mertens (Hrsg.), Handbuch Bauwerksprüfung, S. 255-280, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 2015
- [14] **Patitz, G.:** Altes Mauerwerk zerstörungssarm mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. In: Bauphysik-Kalender 2012, S. 203-245.
- [15] **Taffe, A. and E. Niederleithinger:** NDT investigation methods. In: Butcher, A.P., Powell, J.J.M. and H.D. Skinner (eds.); Reuse of Foundation For Urban Sites - A Best Practice Handbook, Berkshire (2006), BRE Press, Kap. 6.3.3, pp. 47-55


- [16] **Taffe, A.:** Dickenmessung von Fundamenten und Ermittlung der Messunsicherheit, Bergmeister, K., Wörner, J.-D. (Hrsg.); Beton-Kalender 2007, Verkehrsbauten-Flächentragwerke. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Bd. 1, Kapitel V Echoverfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen, Absch. 12, S. 573-581
- [17] **Taffe, A., Kind, Th., Stoppel, M. und J. Kurz:** Bauwerkscanner zur automatisierten und kombinierten Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 4, S. 267-275
- [18] **Taffe, A., Feistkorn, S. und N. Diersch:** Erzielbare Detektionstiefen metallischer Reflektoren mit dem Impulsradarverfahren an Beton, Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012) 7, S. 442-450
- [19] **Taffe, A., Braml, T., Feistkorn, S. and O. Wurzer:** Assessment of Existing Structures using Probabilistic Analysis Methods in Combination with Nondestructive Testing Methods. In: Structural Engineering International (2014), S. 376-385
- [20] **Taffe, A. und B. Jungen:** Untersuchungen zur Genauigkeit von magnetisch induktiven Betondeckungsmessungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) 8, S. 484-495
- [21] **Taffe, A.:** Ist-Zustandserfassung von Parkbauten mit Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung. In: DBV-Heft 39 „Ist-Zustandserfassung von Parkbauten in Betonbauweise“, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein (2017), Eigenverlag
- [22] **Wendrich, Astrid (2009):** Zerstörungsfreie Ortung von Anomalien in historischem Mauerwerk mit Radar und Ultraschall. Möglichkeiten und Grenzen. Berlin: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM (BAM-Dissertationsreihe, Band 47).

11 Anhänge

| | | |
|-------------|---|------------|
| 11.1 | Datenblätter Beton | 43 |
| 11.1.1 | Sichtprüfung | 43 |
| 11.1.2 | Endoskopie: Boreskope..... | 46 |
| 11.1.3 | Endoskopie: Fiberskope | 50 |
| 11.1.4 | Endoskopie: Videoskope..... | 54 |
| 11.1.5 | Ausziehprüfung..... | 58 |
| 11.1.6 | Abreißversuch..... | 61 |
| 11.1.7 | Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung | 64 |
| 11.1.8 | Rückprallhammer / Schmidt-Hammer | 67 |
| 11.1.9 | Klopfprobe..... | 70 |
| 11.1.10 | Impakt-Echo..... | 73 |
| 11.1.11 | Ultraschall: Echo (und Transmission) | 76 |
| 11.1.12 | Low-Strain-Verfahren / Hammerschlag-Methode | 79 |
| 11.1.13 | Magnetisches Gleichfeld..... | 82 |
| 11.1.14 | Magnetisches Wechselfeld..... | 85 |
| 11.1.15 | Remanenzmagnetismus / Streufeldmessung..... | 89 |
| 11.1.16 | Radar..... | 93 |
| 11.1.17 | Aktive Thermographie | 97 |
| 11.1.18 | Durchstrahlungsprüfung / Radiographie..... | 101 |
| 11.1.19 | X-Ray Diffraction – XDF / Röntgendiffraktometrie..... | 105 |
| 11.1.20 | Neutronensonde | 108 |
| 11.1.21 | Potentialfeldmessung..... | 112 |
| 11.1.22 | Indikatorverfahren: Phenolphthalein | 116 |
| 11.1.23 | Salzanalyseverfahren | 119 |
| 11.1.24 | Laser-induzierte Plasmaspektroskopie – LIPS..... | 122 |
| 11.1.25 | Röntgenfluoreszenzanalyse – RFA | 126 |
| 11.1.26 | Energiedispersive Röntgenanalyse – EDA | 130 |
| 11.2 | Datenblätter Mauerwerk | 133 |
| 11.2.1 | Sichtprüfung | 133 |
| 11.2.2 | Endoskopie: Boreskope..... | 137 |
| 11.2.3 | Endoskopie: Fiberskope | 141 |
| 11.2.4 | Endoskopie: Videoskope..... | 145 |
| 11.2.5 | Klopfprobe..... | 149 |

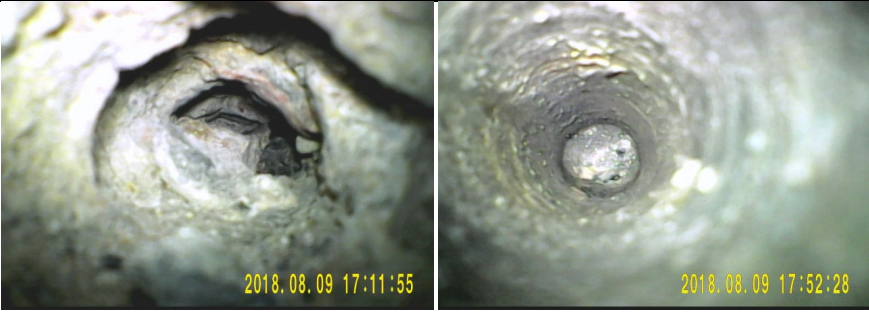
| | | |
|---------|---|-----|
| 11.2.6 | Impakt-Echo..... | 152 |
| 11.2.7 | Ultraschall: Echo (und Transmission)..... | 155 |
| 11.2.8 | Mikroseismik..... | 159 |
| 11.2.9 | Geoelektrik | 162 |
| 11.2.10 | Radar | 166 |
| 11.2.11 | Mikrowellen | 170 |
| 11.2.12 | Aktive Thermographie..... | 174 |
| 11.2.13 | Radiographie..... | 178 |
| 11.2.14 | Salzanalyseverfahren..... | 181 |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Optisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Sichtprüfung</p> engl.: Visual Testing | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung - Korrosion | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Schäden, Mängeln und Fehlern und zur Beurteilung der Beschaffenheit der Prüffläche durch Inaugenscheinnahme einer Prüffläche mit oder ohne Hilfsmittel. - Oberflächenverfahren | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Orten und Bewerten von oberflächlichen Qualitätsmerkmalen durch Wahrnehmen, Vergleichen, Schätzen, Zählen und Messen [1] - Kiesnester, Porenansammlungen, Ansammlungen von Zementschlämme, auslaufende Zungen bei Arbeitsfugen, Kantenabbrüche und Farbunterschiede infolge von verminderter Festigkeit [2] - Risse [2] - Absanden [2] - Ausblühungen infolge Versalzung [2]: Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn Rückstände von Salzen an der Betonoberfläche erkennbar sind - Kalkkrusten im Bereich von Arbeitsfugen, Kiesnestern und Rissen [2] - Rostflecken an Betonoberfläche durch Korrosion der Bewehrung (Bindedraht, Schalungsnägeln) [2]: Erkennbarkeit von Korrosion, wenn es sich um fortgeschrittene karbonatisierungsinduzierte Korrosion handelt - Betonabspaltungen über Bewehrung infolge der mit der Korrosion verbundenen Volumenvergrößerung [2] - Risse entlang der Bewehrungsstahl-/ Spanngliedachse [2]: Erkennbarkeit von Spannstahlbrüchen, wenn Risse sichtbar sind, die den Spanngliedverlauf abzeichnen - <u>Sichtprüfung als grundlegende Prüfung für weiterführende Untersuchungen</u> | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Zugänglichkeit - Lichtverhältnisse - Erkennbarkeit an der Oberfläche - Betrachtungsabstand bzw. Raster der Sichtprüfung - Größe und Form des zu ortenden Objekts | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Verwendung von Hilfsmitteln wie Spiegeln, Linsen, Endskopen und Foto- sowie Videotechnik | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - zugängliche Prüffläche (ggf. durch Aufstellen von Gerüsten und Bühnen; Entfernungen zum Prüfobjekt kleiner als 600 mm und unter einem Winkel von nicht weniger als 30° zur Prüffläche bei der lokalen Sichtprüfung, Entfernungen größer als 600 mm bei der Übersichtprüfung nach DIN EN 13018) - ausreichende Lichtverhältnisse (ggf. Hinzunahme von Beleuchtungsquellen mit mindestens 160 lx bei der Übersichtprüfung und mit mindestens 500 lx bei der lokalen Sichtprüfung nach DIN EN 13018) - Vorbereiten der Oberfläche: ggf. Reinigung der Oberfläche für geringen Verschmutzungsgrad der Oberfläche | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Die Sichtprüfung unterscheidet sich nach [DIN EN 13018: 2016-06] in die direkte und die indirekte Sichtprüfung: - "[Direkte] Sichtprüfung mit nicht unterbrochenem Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche. Diese Prüfung wird ohne oder mit Hilfsmittel(n), z. B. mit Spiegel, mit Linse, mit Endoskop oder mit faseroptischem Gerät, durchgeführt" Die indirekte Sichtprüfung erfolgt, wenn die direkte nicht durchgeführt werden kann. - "[Indirekte] Sichtprüfung mit unterbrochenem Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche. Die indirekte Sichtprüfung umfasst die Anwendung von Foto- und Videotechnik, von automatisierten Systemen und Robotern". | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Sichtprüfung ohne Hilfsmittel ist je nach Zugänglichkeit schnell, - Sichtprüfung ohne Hilfsmittel detektiert u.U. nicht die Merkmale, die mit Hilfsmitteln detektiert werden können | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| Messaufbau | | <p>Sichtprüfung am Hohlkasten einer Betonbrücke M. Friese, BAST</p>  | |
| Messgeräte | | | |
| <p>- ggf. Hilfsmittel wie Spiegel, Linsen, Endoskope oder Foto- und Videotechnik</p> | | | |
| Messgröße und Zielgröße | | | |
| <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): z.B. Oberflächenrisse</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche ggf. unter Hinzunahme von Hilfsmittel wie Spiegel, Lupen und Endoskope - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Direkte Sichtprüfung [DIN EN 13018: 2016-06]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abstand zur Prüffläche < 600 mm - Blickwinkel von $\geq 30^\circ$ zur Prüffläche - bei Übersichtsprüfungen: Abstand von > 600 mm zulässig - ggf. zusätzliche Beleuchtung: mind. 500 lx für lokale Sichtprüfung und mind. 160 lx für Übersichtsprüfung <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kennzeichnen (z.B. mit Kreide) des festgelegten Merkmals (Inhomogenität) auf dem Bauwerk zur Beurteilung der Schadstelle (Risswachstum); Angabe des Prüfdatums zur Nachvollziehbarkeit - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen - Nachweis der Sehfähigkeit des Prüfers (Nahsehfähigkeit und Farbsehfähigkeit) | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 1/5 | 1/5 | 1/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software - |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten - Endoskopische Verfahren: - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V1 Grundlagen der Sichtprüfung. [2] Kastner, Richard H. (2004): Altbauten - Beurteilen, Bewerten. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., Verfahren 5: Augenschein, S.7-15 [3] Ivanyi, György (2002): Prüfung von Betonbrücken. 2.2 Methoden. 2.2.2 Inaugenscheinnahme. Technik der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076. In: Fritz Vollrath und Heinz Tathoff (Hg.): Handbuch der Brückeninstandhaltung. 2. Aufl. Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, S. 59–72. |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30) - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100) - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. Merkblätter DGZfP - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |
| Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke) Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010) - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen): - 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2011 - 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2013 - 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2015 - 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2017 |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Optisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Endoskopie: Boreskope (starre Endoskope)</p> engl.: Endoscopy: Borescope Inspection | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung - Korrosion | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels optischer Bildübertragung durch ein spezielles Linsensystem und einen Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) - Untersuchung von Spanngliedern in Bezug auf Verpresszustand und Spannschlösser (i.d.R. über Bohrloch) - Überprüfung von Korrosionszuständen/ Lochfraßkorrosion (gezielt über Bohrlöcher) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - Feuchtigkeit (durch Schäden oder Nassbohren) sowie Bohrstaub (durch Trockenbohren) - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - keine digitale Speicherung der Bilder (bei einfachen Geräten) - <u>Verzerrungseffekte der Optiken können Deutung der Bilder erschweren</u> | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Einführung von Instrumenten durch Schaft - Verwendung von Prismenvorsätzen und Schwenkspiegeln für andere Blickrichtung - einzelne Hersteller bieten Boreskope mit Speicherfunktion sowie Foto-und Videofunktion an [6] - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs (ggf. unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) - die Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende <u>Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird</u> | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum (ggf. Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Das klassische, linsenoptische Boreskop besteht aus einem Okular an einem Ende, einem Rohr mit einem Bildübertragungssystem und einem Objektiv am anderen Ende. Das Bildübertragungssystem besteht aus einem speziellen Linsensystem, das starr angeordnet ist. Die Ausleuchtung erfolgt über Lichtleiter oder eine winzige, in den Kopf integrierte Glühlampe. Die Änderung der Betrachtungsrichtung ist je nach Ausführung: vorwärts, seitwärts, schräg voraus oder rückwärts gerichtet. Die Interpretation der kreisförmigen Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken und die ungewöhnliche Perspektive erschwert und erfordert Erfahrung bei der Deutung der Bilder. Inzwischen existieren auch weiterentwickelte Boreskope mit Glasfaserbündeln für die Bildübertragung. Neben den starren Boreskopen existieren noch flexible Fiberskope und flexible Videoskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,DGZfP B6] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + bessere optische Qualität als flexible Endoskope + höhere Auflösung wegen größerer Bauform der Kamera im Vergleich zu anderen Endoskopen - nicht biegsam | | | |

| | | | |
|---|------|--------|------------|
| Messmethode | | | |
|  | | | |
| <p>Endoskopiebilder einer betonierten Stollenauskleidung, Bohrung ca. 18 mm links: Hohlräume und Ausspülungen; rechts: kompakter Stollenbeton ohne Schäden © Dr. Gabriele Patitz</p> | | | |
| Messgeräte | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Boreoskop (bestehend aus einem Okular, einem langen Rohr mit einem Bildübertragungssystem und einem Objektiv) mit Durchmessern von 1,6 bis 8 mm und Längen von 50 bis 650 mm [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| Messgröße und Zielgröße | | | |
| <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Korrosion</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Boreoskop</p> <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec - PCE Instruments |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) (Sonderform: Gelenkarm-Endoskope, starre Endoskope mit Gelenkarmen, in denen Umlenkprismen eingebaut sind) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: Starre Endoskope https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/96191075_KSNDTec_PB1_Prodktbrosch-D_04-2018.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> <p>[5] PCE Instruments: Boroskop. Online verfügbar unter https://www.pce-instruments.com/deutsch/messtechnik/messgeraete-fuer-alle-parameter/boroskop-kat_10041.htm, zuletzt geprüft am 03.01.2019.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes



- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| Physikalische Grundlage | Optisches Messprinzip |
|---|--|
| <p>Verfahren</p> <p style="text-align: center;">Endoskopie: Fiberskope (flexible Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Fiberscope Inspection</p> | <p>Prüfungsaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung - Korrosion |
| <p>Kurzbeschreibung</p> <p>Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein Bündel von Glasfasern. [Indirekte Sichtprüfung]</p> | |
| <p>Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfungsaufgaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) - Untersuchung von Spanngliedern in Bezug auf Verpresszustand und Spannschlösser (i.d.R. über Bohrloch) - Überprüfung von Korrosionszuständen/ Lochfraßkorrosion (gezielt über Bohrlöcher) | |
| <p>Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - geringere Auflösung bei kleineren Durchmessern durch geringere Zahl an Bildpunkten | |
| <p>Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfungsaufgaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs - Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird - Einsatz von Sonderausstattung für gezielte Untersuchungen: <ul style="list-style-type: none"> - Anschluss von CCD- Kameras und Fotokameras zur Dokumentation - Ausstattung mit Greifwerkzeugen zur Probeentnahme - Anschluss von optischen Geräten wie Lupen oder Mikroskopen - Einsatz von monokularen Messlupen zur Messung von Rissbreiten | |
| <p>Bauseitige Voraussetzungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum (ggf. Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) | |
| <p>Verfahrensbeschreibung</p> | |
| <p>Langbeschreibung</p> <p>Das Fiberskop, auch Glasfaser-Endoskop genannt, besteht aus einem Bildleitsystem aus geordneten Glasfasern und einem Lichtleitsystem. Über die flexiblen Glasfasern wird das Bild vom Objektiv zum Okular übertragen. Je mehr Glasfasern vorhanden sind, desto besser ist die Bildauflösung. Das Glasfaserbündel wird auch Bildleitbündel genannt. Die Beleuchtung erfolgt über ein Lichtleiterbündel.</p> <p>Die Interpretation der kreisförmigen Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken, die ungewöhnliche Perspektive und die begrenzte Bildauflösung (Pixelanzahl) erschwert und erfordert Erfahrung bei der Deutung der Bilder.</p> <p>Neben den flexiblen Fiberskopen existieren noch starre Boreskope und flexible Videoskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,3, DGZfP B6]</p> | |
| <p>Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfungsaufgabe)</p> <ul style="list-style-type: none"> + flexibler steuerbar als starre Endoskope + geringerer Gerätedurchmesser als bei Videoskopen | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Fiberskopie an Betontestkörper</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Endoskopiebild einer betonierten Stollenauskleidung, Bohrung ca. 18 mm: Hohlräume und Ausspülungen</p> <p>© Dr. Gabriele Patitz</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fiberskop mit Durchmesser 2,5 bis 4,2mm und bis 1200mm Länge [3] - ggf. Miniatur- Fiberskop mit Durchmesser 0,35 bis 2,0,mm [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Korrosion</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Fiberskop</p> <ul style="list-style-type: none"> - Glasfaserschlauch darf nicht genknickt werden, da Bildübertragungsfasern sonst brechen <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |

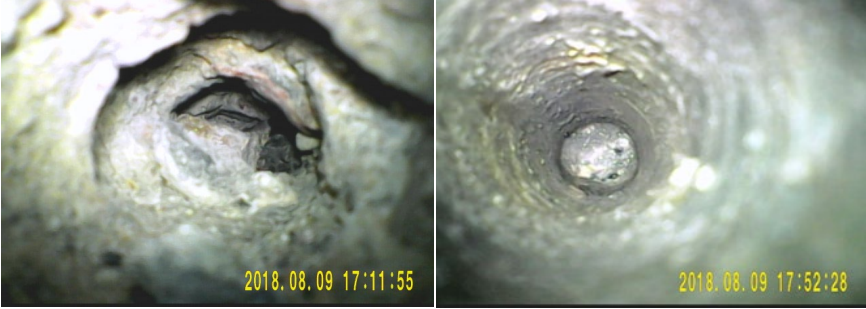
| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: Flexible Endoskope https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/KSNDTEC-Produktbrosch_PB3_06-D-2018-web.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| | |
|--|--|
| Physikalische Grundlage | Optisches Messprinzip |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Endoskopie: Videoskope (flexible Video-Endoskope)</p> engl.: Endoscopy: Videoscope Inspection | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung - Korrosion |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein elektrisches Kabel mit CCD-Bildwandlerchip für Videoaufnahmen und einem Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung] | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) - Untersuchung von Spanngliedern in Bezug auf Verpresszustand und Spannschlösser (i.d.R. über Bohrloch) - Überprüfung von Korrosionszuständen/ Lochfraßkorrosion (gezielt über Bohrlöcher) | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - "Einfrieren" von Bildern - Vermessung von Fehlstellen [4] - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs - die Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum (ggf. Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Das Videoskop besteht aus einem flexiblem Endoskop und einer Messsonde mit integriertem Video-Chip (CCD). Die Daten werden digital erzeugt und übertragen, dadurch ist eine spätere digitale Bildverarbeitung möglich. Die Interpretation der kreisförmigen Bilder erfordert auf Grund der ungewöhnlichen Perspektive ein gewisses Maß an Erfahrung bei Deutung der Bilder. Neben den flexiblen Videoskopen existieren noch starre Boreskope und flexible Fiberskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,DGZfP B6] | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + höhere Bildauflösung im Vergleich zu starren und flexiblen Endoskopen + hohe Bruchsicherheit im Vergleich zu Fiberskopen mit empfindlichen Lichtwellenleitern + Speicherung von Bildern und Videos mittels der digitalen Technik + höchste Bildübertragungslänge im Vergleich zu starren und flexiblen Endoskopen | |

| | | | |
|--|------|--------|------------|
| Messmethode | | | |
|  <p>Endoskopiebilder einer betonierten Stollenauskleidung, Bohrung ca. 18 mm links: Hohlräume und Ausspülungen; rechts: kompakter Stollenbeton ohne Schäden © Dr. Gabriele Patitz</p> | | | |
| Messgeräte | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Videoskop mit Durchmesser 4 bis 6mm und bis 8000mm Arbeitslänge [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| Messgröße und Zielgröße | | | |
| <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse, Korrosion</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Videoskop</p> <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: VTec C Kompaktsystem https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/96191074_KSNDTec-SE-3-D.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

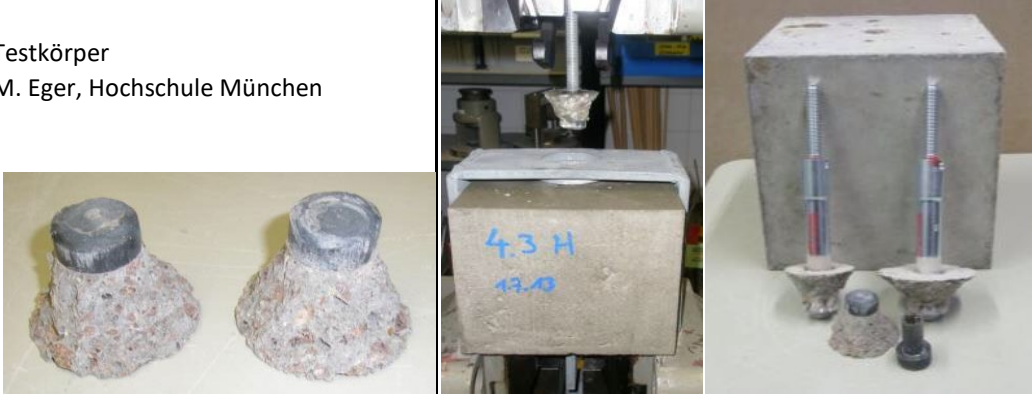
- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| | | | |
|---|--|----------------------------------|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Ausziehprüfung</p> engl.: Cut-And-Pull-Out-Test (kurz: CAPO-Test) | | Prüfaufgabe - Druckfestigkeit | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie prüfung zur Bestimmung der Druckfestigkeit durch Messung der Zugkraft, die aufgebracht werden muss, um einen Stahlstab, der mit einem flächenmäßig definiertem Metallring in ein vorgebohrtes Loch gesetzt wird, aus dem zu prüfenden Beton herauszuziehen | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Druckfestigkeit an Bestandsbauteil | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - je größer das Größtkorn, desto größer die Streuung [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - geforderte Untergrundtemperatur von mehr als 0 °C [DIN EN 12504-3:2005-07] - Mindestdicke des zu prüfenden Betons: 100 mm [DIN EN 12504-3:2005-07] - Prüfdurchführung nicht in unmittelbarer Nähe zu vorhandener Bewehrung [DIN EN 12504-3:2005-07] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Bei der Ausziehprüfung wird eine Bohrung normal zur Betonoberfläche eingebracht, und der untere Bereich des Bohrlochs durch Fräsen aufgeweitet, und ein Zugstab aus Stahl in das Loch eingesetzt. Am Ende des Stabes ist ein Spreizring aufgesteckt, der wie bei einem Dübel den Stab im Beton verankert. Dieser Ring, der das eigentliche Ausziehteil darstellt, wird von einem auf den Zugstab geschraubten Konus gehalten. Durch Schrauben des Zugstabes bis zu einer markierten Stelle wird der Spreizring durch den Distanzhalter auf den Konus geschoben und so aufgeweitet. Am Ende dieses Vorganges liegt er satt auf der Nut des Konus auf. Nun wird das Versuchsgerät mit einer mechanischen oder hydraulischen Abzugsvorrichtung und einem Gegenpressring angeschlossen. Beim Aufbringen der Ausziehkraft bilden sich Druckstreben aus, wobei eine kraterförmige Bruchfläche entsteht. Die aufzubringende Kraft wird gemessen und durch die Bruchfläche geteilt. Die so bestimmte Ausbruch-Festigkeit ist mit der gesuchten Druckfestigkeit korreliert, was anhand spezieller Kalibrierkurven abgelesen werden kann. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfach geeignet für den Einsatz auf der Baustelle + Zeit- und Kostenersparnis durch sofortiges Prüfergebnis ohne Probekörperherstellung + annehmbar genaues Ergebnis mit allgemeiner Korrelationskurve + Nachbehandlung des Betons hat auf die Güte der Ergebnisse fast keinen Einfluss [1] - nur Beurteilung der oberflächennahen Bereiche | | | |

| | | | |
|---|------|--|------------|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau Ausziehprüfung an Testkörper C. Dauberschmidt/ M. Eger, Hochschule München | |  | |
| Messgeräte Prüfgeräte nach [DIN EN 12504-3:2005-07]: <ul style="list-style-type: none"> - Bohrer - Stromanschluss für Bohrmaschine - Scheibe (Durchmesser $25 \pm 0,1$ mm) - Schaft (Durchmesser $< 0,6$ des Scheibendurchmessers; Länge gleich dem Scheibendurchmesser, gemessen von Betonoberfläche bis zur nächstgelegenen Seite der Scheibe) - Auflagerring (Innendurchmesser $55 \pm 0,1$mm; Außendurchmesser 70 ± 1mm) - Abzugsvorrichtung mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit von $0,5 \pm 0,2$ kN/s | | | |
| Messgröße und Zielgröße <ul style="list-style-type: none"> - Messung der Ausziehkraft in [N] - Berechnung der Bruchfläche A in [mm²] - Berechnung der Ausziehfestigkeit f_p in [N/ mm²] - Umrechnung der Ausziehfestigkeit in Druckfestigkeit mittels Korrelationskurven [DIN EN 12504-3:2005-07] | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik sowie Prüfhäufigkeit [DIN EN 12504-3:2005-07]: abhängig von Betonzusammensetzung, Prüfzweck und geforderter Genauigkeit - Abstand der Mittelpunkte der Prüfstellen: mindestens 200mm - Entfernung der Mittelpunkte von Betonkante: mindestens 100mm - Abstand zur Bewehrung: zu erwartender Bruchkegel + mindestens dem Abstand eines Bewehrungsdurchmessers bzw. des Größtkorns (größerer Wert maßgebend) - Beschreibung des zu prüfenden Betons: Alter, Feuchte, etc. 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Ausziehprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Bohrung: Durchmesser 18 mm bis in eine Tiefe von 5 cm - Fräsen: Bohrloch in einer Tiefe von 25 mm auf einen Durchmesser von 25 mm aufweiten - Einsetzen Zugstab mit Spreizring - Aufsetzen der Abzugsvorrichtung - Messung der aufgetragenen Höchstlast, die zum Bruch geführt hat: Angabe auf 0,05kN 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses: Korrelation der Ausziehfestigkeit mit der gesuchten Druckfestigkeit anhand spezieller Kalibrierkurven - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 4/5 | 3/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software - Germann Instruments: CAPO-Test [Link: http://germann.org/products-by-application/category-1/capo-test] |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten - Lok- Test: gleiches Verfahren wie CAPO- Test, allerdings für Neubauten, in die der Stahlstab mit Kopfplatte direkt mit einbetoniert wird/ Montage vor Betonage |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Veit, Peter Walter: LOK- und CAPO-Test; zwei Ausziehversuche zur Bestimmung der Betondruckfestigkeit. In: Der Wirtschaftsingenieur, 19 (1987) 2, S. 60–63 [2] Latte Bovio, F.; Latte Bovio, G.; Brencich, A.; Cassini, G.; Pera, D.; Riotta, G.: A New Pull-Out Technique for In-Place Estimation of Concrete Compressive Strength. In: Advances in Materials Science and Engineering 2014 (6), S. 1–8. |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. Beton. Betonfertigteile (91.100.30) -DIN EN 12504-3:2005-07: Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 3: Bestimmung der Ausziehkraft [Diese Norm beschreibt die Bestimmung der Ausziehkraft für Bauteile aus Frisch- und Festbeton.] - ASTM C 900 - 15, 2015: Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete -BS 1881 - 207: 1992: Testing concrete. Recommendations for the assessment of concrete strength by near-to-surface tests Nordtest Method - NT BUILD 211: 1984-05: Concrete, hardened Pullout strength |
| Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke) Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010) - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Abreißversuch</p> <p>engl.: Pull-off test</p> | | Prüfaufgabe - Oberflächen- und Haftzugfestigkeit | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einer Bauteiloberfläche Betonuntergrund oder Beschichtung auf Betonuntergrund) durch Messen der Zugkraft, die aufgebracht werden muss, um einen aufgeklebten, flächenmäßig definierten Prüfstempel von der Prüfoberfläche abzureißen. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit einer Betonfläche (Kohäsion innerhalb eines Materials) - Bestimmung der Haftzugfestigkeit zwischen Betonersatzsystem und einer Betonoberfläche (Adhäsion zwischen zwei Schichten) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Prüfmethode anfällig gegen Prüfeinflüsse wie Nachbehandlung, Karbonatisierung, Betonfeuchte oder Untergrundvorbereitung - bei besonderen Prüfbedingungen wie Prüfung an Decke oder Wand ist ggf. die Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit an Bohrkernen als Alternative in Betracht zu ziehen | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - geforderte Untergrundtemperatur von mindestens 5 °C - ebene Betonoberfläche (Untergrundvorbereitung mittels Fräsen und Strahlen) - trockene Betonoberfläche | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Der Abreißversuch erfolgt mit einem auf die Prüffläche aufgebrachtem Stempel und einem Zugprüfgerät, das die Kraft bis zum Abreißen des aufgeklebten Prüfstempels misst. Die Prüffläche ist entweder die Betonoberfläche oder die Oberfläche des Betonersatzsystem auf einer Betonfläche. Bevor der Prüfstempel abgezogen wird, muss der Kleber vollständig erhärtet sein, was je nach Hersteller 15 Minuten bis 19 Stunden dauern kann, sonst kann es zur Verfälschung des Messergebnisses kommen. Die Angaben zum Prüfstempel wie Material, Dicke und Abmessungen sowie das Vorbohren einer Ringnut variieren je nach Regelwerk. Das Prüfergebnis ist die Zugspannung, die aufgewendet werden muss, um einen Bruch in der Grenzfläche (Adhäsionsbruch) oder einen Bruch im Beton (Kohäsionsbruch) hervor zu rufen. Die Geschwindigkeit des Kraftanstiegs variiert in den Regelwerken je nach Anwendungsfall. Auch die Prüfhäufigkeit variiert je nach Regelwerk und Prüfobjekt; sie liegt zwischen drei und neun Prüfstellen. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfache Handhabung + einfach geeignet für den Einsatz auf der Baustelle - Prüfergebnis von zahlreichen Prüfeinflüssen beeinflusst - nur Beurteilung der oberflächennahen Bereiche | | | |

| | | | |
|--|------|--|------------|
| Messmethode | | | |
| <p>Messaufbau</p> <p>Transportables Prüfgerät</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Anzeige der Abreißfestigkeit</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte und Zubehör</p> <p>Prfzubehr nach DIN EN ISO 4624:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kleber: Kleber auf Basis von Epoxidharz (EP), Polymethylmetacrylat (PMMA) oder Polyurethan (PU) - kreisförmiger Stempel aus Stahl (Durchmesser $50 \pm 0,5$ mm; Stahl mit Dicke 20 mm) - transportables Prüfgerät mit bis zu 40 kN Zugkraft und konstanter Kraftanstiegsgeschwindigkeit - Thermometer zum Messen der Untergrundtemperatur der Prüffläche | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - zentrische Zugfestigkeit bzw. Abreißfestigkeit in $[N/mm^2]$: (Zugkraft bis zum Abreißen des Stempels in [N]/ Fläche des Prfstempels in $[mm^2]$) - geforderte Festigkeiten für Normalbeton: Kleinstwert 1,0 N/mm^2 und Mittelwert 1,5 N/mm^2 (Rili SIB) - Dokumentation der Versagensart mit Anteilen an Kohäsions- und Adhäsionsbruch, der Versagenskräfte und der daraus zu berechnenden Oberflächenzugfestigkeit (Vgl. Formblatt B1.3.2 ZTV- ING) | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung des Regelwerks, nach dem geprüft werden soll - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik Messplan, Inspektionsflchen, Mindestanzahl an Prüfung in Abhängigkeit der Größe der Inspektionsflche - Bestimmung der Kleberart; Bachtung der unterschiedlichen Festigkeitsentwicklungen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Abreißversuch (nach DIN EN ISO 4624)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messung und Aufzeichnung folgender Bedingungen während der Prüfung: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks - Vorbereiten der Prüffläche und des Prfstempels: Ebene, fettfreie und trockene Oberfläche - Vorbohren einer Ringnut: Festlegung einer definierten Lastfläche - Aufbringen des Stempels: Prüfstempel lotrecht auf Prüffläche aufbringen und vollflächig mit einer Kleberdicke von ca. 1mm aufkleben (bei Wänden und Decken Stempel bis zur Aushärtung des Klebers fixieren) - Aufstellen des Prüfgeräts für den Abreißversuch: Das Prüfgerät ist zentrisch über dem Stempel aufzustellen und in seiner Lage zu sichern, um zentrierte Zugkraft sicherzustellen - Aufbringen der Last/ Belastungsgeschwindigkeit: Die Last ist konstant vorzugsweise mit einem automatischen Prüfgerät zu steigern <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses: Bruchbildanalyse mit Annahme und Ablehnung der Prüfung (gemäß Formblatt B 1.3.2 ZTV- ING) - Bestimmen der Versagensart: Unterscheidung der Bruchformen in Adhäsionsbruch und Kohäsionsbruch | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 4/5 | 4/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proceq: Automatische Haftzugprüfgeräte DY-206, DY-216, DY-225 [Link: https://www.proceq.com/de/vergleichen/haftzugpruefung/] - Proceq Webinar: Pull-off testing according to standards with Proceq DY-2 [Link: https://www.youtube.com/watch?v=Qze6FtzIsA]; Stand 2016, Bezugnehmend auf DIN EN 1542 |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten/ Alternativ- Verfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausziehprüfung, Rückprallhammer, Zugversuch an Bohrkernen [2] |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Oliver Mann (2011): Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit von Beton. Verschiedene Regelwerke - unterschiedliche Anforderungen. In: Beton 61, Nr.1/2, S. 14–18.</p> <p>[2] Momber, Andreas; Schulz, Rolf-Rainer (2006): Handbuch der Oberflächenbearbeitung Beton. Bearbeitung, Eigenschaften, Prüfung. Basel, Boston: Birkhäuser Verlag (BauHandbuch)</p> <p>[3] Bernd Hillemeier, Claus Flohrer, Jürgen Krell, Gabriele Marquardt, Jeanette Orłowsky (2011): Bestandsaufnahme und Schadensdiagnose. In: Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann Dietrich Wörner (Hg.): Beton-Kalender. Kraftwerke, Faserbeton. Band 2. Teil 2 von 2. Berlin, Germany: Ernst & Sohn, S. 331–360. Hier: Haftzugprüfung, S. 341-343</p> <p>[4] Hajek, Peter- Michael; Gitzen, Artur: Erkannte Probleme mit Regelwerken. In: bi-UmweltBau, 2/13, S. 130–136. Online verfügbar unter https://www.nodig-bau.de/doks/pdf/bi-UmweltBau%202-13_130-136.pdf.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN SPEC 91063, 2011-07: Haftfestigkeit von Beschichtungen. - DIN EN ISO 4624, 2016-08: Beschichtungsstoffe – Abreißversuch zur Bestimmung der Haftfestigkeit. <p>Betonbau (91.080.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1542: 1999-07: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch <p>Zement. Gips. Kalk. Mörtel (91.100.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13892-8:2003-02: Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen - Teil 8: Bestimmung der Haftzugfestigkeit <p>Weitere Baustoffe (91.100.99)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13408: 2002-06: Prüfverfahren für hydraulisch erhärtende Boden-Spachtelmassen - Bestimmung der Haftzugfestigkeit <p>ZTV-ING</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV- ING, Teil 1, Abschnitt 3: 2007-12: Prüfungen während der Bauausführung - ZTV- ING, Teil 3, Abschnitt 4: 2007-12: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen <p>Deutscher Ausschuss für Stahlbeton</p> <ul style="list-style-type: none"> - DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie, Teil 1 - 4: 2001-10: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie Rili SIB) - Teil 4: Prüfverfahren <p>Bundesverband Estrich und Belag</p> |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

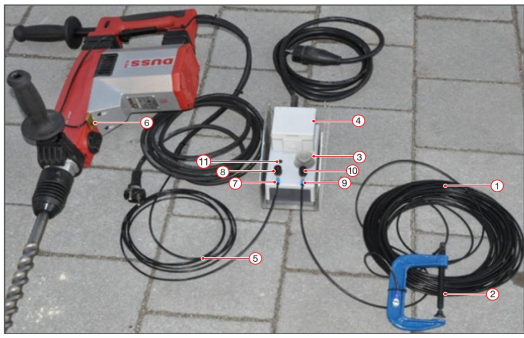

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes S 1 13

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

| | |
|---|--|
| Physikalische Grundlage | Mechanisches/ elektrisches Messprinzip |
| Verfahren Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung | Prüfaufgabe - Bewehrung (Stahlbeton) - Spannglieder/ Hüllrohre (Spannbeton) |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie prüfung zur Ortung von Bewehrung oder Hüllrohren im Beton mit Hilfe einer speziellen Bohrmaschine, die bei einem metallischen Kontakt automatisch abschaltet, um eine Beschädigung zu vermeiden | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - schadensfreie Ortung von Stahl- und Spannbetonkonstruktionen: Bewehrungslage, Spannglieder/ Hüllrohre, Korrosion - Grundlage für weiterführende endoskopische Untersuchungen durch gezieltes An-, aber nicht Durchbohren | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Verfahren zur Voruntersuchung und als Sicherheitsmaßnahme von Kernbohrungen, wenn diese in unmittelbarer Nähe von Hüllrohren/ Bewehrung durchgeführt werden sollen [2] | |
| Bauseitige Voraussetzungen Für die Abschaltung der Maschine bei gleichzeitigem Bewehrungstreffer muss ein geschlossener Kreislauf zwischen der Bewehrung, der Maschine, dem Werkzeug und der Abschaltautomatik hergestellt sein. [3] | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Dieses Verfahren wird nach dem mechanischen und dem elektrischen Prinzip unterschieden[1]: a) Mechanisches Prinzip: Die Änderung des Bohrwiderstandes beim Anbohren von Eisen löst die Abschaltung aus. b) Elektrisches Prinzip: Es wird eine elektrische Verbindung zwischen dem an einer anderen Stelle kontaktierten Spannkanaal und der Bohrmaschine hergestellt. Der eventuelle Kontakt des Bohrers mit dem Spannkanaal löst dann eine Abschaltung aus. Das Hüllrohr kann anschließend manuell geöffnet und der Verpressmörtel entfernt werden, ohne die Spannstähle zu beschädigen. In allen Fällen ist streng darauf zu achten, dass die geöffneten Stellen wieder fachgerecht verschlossen werden. | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfache Handhabung - begrenzt zerstörungsfrei durch Freilegen einer Bewehrungsstelle - Gefahr der Beschädigung von Bewehrung und Hüllrohren | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Zubehör Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung [4]</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Anschluss und Anwendung der Bohrmaschine [3]</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <p>Bohrmaschine mit Abschaltautomatik [4] (Durchmesser ab 5 mm)</p> <p>1 Kabel, bewehrungsseitig (Länge 25 m)</p> <p>2 Schraubzwinde (Spannbereich 0 - 75 mm)</p> <p>3 Rückstelltaste</p> <p>4 Stromanschluss für Maschinenanschluss (Spannung 230 V)</p> <p>5 Kabel, maschinenseitig (Länge 4 m)</p> | | <p>6 Erdekontakt, Anschluss maschinenseitig, metallischer Kontakt</p> <p>7 Kabelschuh</p> <p>8 Polklemme</p> <p>9 Kabelschuh</p> <p>10 Polklemme</p> <p>11 LED</p> | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>- automatisches Abschalten</p> | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Freilegen einer Bewehrungsstelle <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.):</p> <p><u>Inbetriebnahme:</u> Anschluss und Verbindung von Bohrmaschine, Abschaltautomatik und Bewehrungsstelle</p> <p>"Das maschinenseitige Kabel (5) muss mit dem Erdekontakt (6), der am Ende des Kabels angelötet ist, metallisch mit der Maschine verbunden werden (Metallgehäuse, o.ä.). Das andere Ende ist an die Abschaltautomatik ASA mit dem Kabelschuh (7) unter der Polklemme (8) anzuschließen.</p> <p>Das bewehrungsseitige Kabel (1) ist mit dem Kabelschuh (9) an der zweiten Polklemme (10) der Abschaltautomatik ASA anzuschließen, die Schraubzwinde (2) ist bauwerksseitig mit der bestehenden Bewehrung metallisch in Kontakt zu bringen. Vor Anbringen der Schraubzwinde (2) sind die metallischen Oberflächen blank zu machen, um sicheren Kontakt herzustellen." [4]</p> <p><u>Durchführung einer Funktionskontrolle:</u></p> <p>"Mit eingeschalteter Maschine die Schraubzwinde (2) kurz berühren. Bei richtiger Installation muss die Maschine sofort bei Berührung der Schraubzwinde abschalten. Die LED (11) der Abschaltautomatik ASA leuchtet rot. Zum wieder Freischalten der Maschine Rückstelltaste (3) betätigen. Rote LED (11) erlischt. Dabei sicherstellen, dass Schalterdrücker der Maschine nicht gedrückt ist und Schalterarretierung der Maschine (falls vorhanden) nicht festgestellt ist. Verletzungsgefahr!" [4]</p> <p><u>Durchführung der Bohrungen</u> und fachgerechtes Schließen der geöffneten Bewehrungsstellen</p> <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende endoskopische Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 2/5 |


| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>Die Firma Friedrich Duss führt die Abschaltautomatik unter der Bezeichnung ASA ; diese Funktion kann in Verbindung mit jedem Bohrhämmer der Firma Duss eingesetzt werden. (Die Firma Friedrich Duss ist nach aktuellem Kenntnisstand die einzige Firma auf dem Markt, die die Bohrmaschine mit Abschaltautomatik im Sortiment führt; Stand September 2018)</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM; ZfPBau- Kompendium: Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung, 2004</p> <p>[2] Leitfaden zur nachträglichen Ertüchtigung von Brücken mittels externer Vorspannung, 2013</p> <p>[3] Friedrich Duss Maschinenfabrik GmbH & Co. KG (Hg.) (2013): Produktblatt Abschaltautomatik ASA.</p> <p>[4] Friedrich Duss Maschinenfabrik GmbH & Co. KG (Hg.) (2013): Bedienungsanleitung Abschaltautomatik ASA.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>Der Werkzeughersteller Metabo hatte eine Bohrmaschine mit Abschaltautomatik der Bezeichnung "KHE 26 Contact" bis 2010 in seinen Hammersortiment; aktuell gibt es solche Maschinen nicht mehr im Sortiment. (Stand August 2018)</p> <p>Die Werkzeughersteller Bosch, Hilti und Makita führen in ihrem Sortiment keine Bohrmaschinen mit Abschaltautomatik. (Stand August 2018)</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Rückprallhammer (Schmidt-Hammer)</p> engl.: (Schmidt) Rebound Hammers | | Prüfaufgabe - (Änderung der) Baustoffeigenschaften: Druckfestigkeit | |
| Kurzbeschreibung Messung der Rückprallstrecke einer Masse (R-Wert) oder Messung der Energie- oder Geschwindigkeitsdifferenz vor und nach dem Aufprall einer Masse (Q-Wert) durch Aufsetzen und Auslösen des Rückprallhammers mit integriertem Schlagbolzen auf der Betonprüfoberfläche und Umwertung der gemessenen Werte in Druckfestigkeiten. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Abschätzung der Betondruckfestigkeit von Normalbetonen im oberflächennahen Bereich - Nachweis der Gleichmäßigkeit von Festigkeitseigenschaften des Betons - Ortung von Bereichen mit minderer Betonqualität | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Aussagen nur über oberflächennahe Bereiche (nicht über gesamten Bauteilquerschnitt) - Karbonatisierung führt zur Überschätzung der ermittelten Druckfestigkeit: nur bis < 5mm Karbonatisierungstiefe ohne Bohrkernproben zulässig - Anwendung des Rückprallhammers ohne Bohrkernentnahme sowie Bewertung von Würfeldruckfestigkeiten nur in Deutschland zulässig - nicht anwendbar bei Oberflächen mit Veränderungen durch korrosive Einflüsse, Feuer, Frost oder chemischen Einfluss [3] - <u>nicht anwendbar bei Waschbetonoberflächen</u> | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Bewertung der Betondruckfestigkeit mittels Rückprallhammerprüfung nach DIN EN 13791 Nationaler Anhang [3] : - < 5mm Karbonatisierungstiefe ohne Korrelation mit der Bohrkernfestigkeit - \geq 5mm Karbonatisierungstiefe entweder (1) Aufstellen einer eigenen Umwertekurve oder (2) Verschieben der Umwertekurve der Norm (Umwertekurve existiert nur für den R-Wert) - Verfahren nach DIN EN 13791/A20: 2017-02 auch für Leichtbetone und für hochfeste Betone zulässig | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Karbonatisierungstiefe: \leq 5 mm (für Abschätzung der Druckfestigkeit ohne Bohrkern in Deutschland) [1] - Bauteildicke > 100 mm [1] - Oberflächenbeschaffenheit der Messstelle: frei von Poren, Lunkern und Porositäten [1] - Messstelle: ungefähr 300 x 300 mm [1] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Der Rückprallhammer besteht im Inneren aus einer Feder, einer Masse und einem Schlagbolzen. Wenn der Rückprallhammer punktuell auf die zu prüfende Stelle aufgesetzt und ausgelöst wird, wird durch die gespannte Feder die Masse beschleunigt, dessen Impuls auf einen Schlagbolzen übertragen wird, welcher mit seinem runden Ende auf dem Prüfling aufschlägt und zurückprallt. Je härter der Werkstoff, umso weniger Energie nimmt der Werkstoff auf und desto weiter prallt die Masse zurück. Der Hammer misst entweder die Rückprallstrecke, den Rückprallwert R, also den mechanischen Weg, die Masse beim Rückprall zurücklegt, oder das Geschwindigkeitsverhältnis, den Rückprallquotienten Q, aus der Geschwindigkeit kurz nach und vor dem Aufprall der Masse. Der R- Wert wird bei den ursprünglichen Rückprallhämmern genutzt; hier muss die Schlagrichtung beachtet werden. Der Q-Wert wird bei weiterentwickelten Geräten genutzt; hier ist das Messprinzip von der Schlagrichtung unabhängig. Auf der Skala des Rückprallhammers werden die R- oder Q- Wert angezeigt, die ein Maß für die Härte darstellen. Mittels Tabellen kann mit den Werten die Druckfestigkeit abgeschätzt werden. Da Beton ein heterogener Baustoff ist, ist eine Messreihe erforderlich, um ein zuverlässiges Ergebnis zu erhalten. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - ermittelte Druckfestigkeit vom Rückprallhammer ist i.d.R. kleiner als ermittelte Druckfestigkeit am Bohrkern, d.h. dass für statische Nachrechnungen immer Bohrkern gezogen werden müssen - zu hohe R- oder Q-Werte können auf Gesteinskorntreffer hinweisen; diese Ausreißer einer Messreihe sind unkritisch, solange der "Ausreißerkriterium" eingehalten ist - bei rauen Oberflächen streuen die Messwerte sehr stark | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|---|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Rückprallhammer an Testkörper, J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Rückprallhammer an Testkörper: Q-Wert, J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rückprallhammer - Kalibrieramboss/ Prüfaboss (16 kg schwer) - Schleifstein, um bewitterte Oberfläche für die Prüfung vorzubereiten | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: R- bzw. Q- Wert als Härte [0...100 Skalenteile; einheitenlos] - Zielgröße: Umrechnung in charakteristische Betondruckfestigkeit $f_{c, is}$ oder Betondruckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Ermittlung der Karbonatisierungstiefe - Karbonatisierungstiefe: < 5 mm (für Abschätzung der Druckfestigkeit ohne Bohrkern in Deutschland) - Prüftemperatur: 0 bis 50°C - Funktionskontrolle am Kalibrieramboss <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.):</p> <ul style="list-style-type: none"> - bei Anwendung der Tabelle und des Ansatzes 2 (Verschiebung Normkurve): mind. 9 Messungen pro Messstelle und mind. 9 Messstellen, Messstellen müssen in einem Prüfbereich mit Beton aus derselben Grundgesamtheit liegen - bei Anwendung des Ansatzes 1 (eigene Kurve): 18 Messstellen - allgemein: mind. 2,5 cm Abstand zwischen den Messstellen und zum Rand - Abschließende Funktionskontrolle am Kalibrieramboss <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Messergebnis: Das Messergebnis einer Messstelle muss verworfen werden, wenn > 20% der Werte um > 30% des Medians abweichen. Der Median ist nicht mit dem arithmetischem Mittel zu verwechseln. Der Median einer Zahlenreihe ist der Wert, der an der mittleren (zentralen) Stelle steht, wenn man die Werte der Größe nach sortiert -Zentralwert. Im Gegensatz dazu ist das arithmetische Mittel die Summe der Zahlenreihe geteilt durch ihre Anzahl -Mittelwert. - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 1/5 | 2/5 | 3/5 |

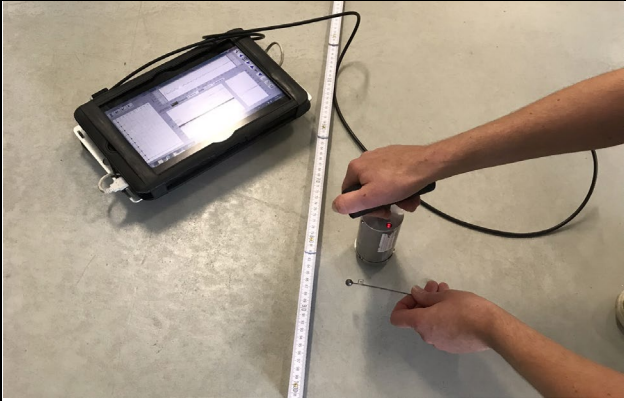
| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Proceq: Schmidt Rückprallhammer [Vgl. Proceq: SilverSchmidt oder Original Schmidt; https://www.proceq.com/de/vergleichen/schmidt-ruckprallhammer/]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe</p> <p>- Pendelhammer: zur Prüfung von weicheren Materialien wie Leichtbeton und Frischbeton [Vgl. Proceq: Schmidt OS-120; https://www.proceq.com/de/vergleichen/schmidt-ruckprallhammer/]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] DIN EN 12504-2: 2012-12: Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung - Bestimmung der Rückprallzahl</p> <p>[2] DIN EN 13791: 2008-05: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen [2.1] DIN EN 13791/A20: 2017-02: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Änderung A20.</p> <p>[3] Rückprallhammer. Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 11–12.</p> <p>[4] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 192-193.</p> <p>[5] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 256.</p> <p>[6] Wöhnl, Ulrich (2009): Bewertung der Bauwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 13791. In: Beton 04/2009, S. 130–137.</p> <p>[7] Taffe, Alexander; Feistkorn, Sascha; Ickert, Christopher: Untersuchungen zum Einfluss der Karbonatisierungstiefe auf Ergebnisse der Rückprallhammerprüfung zur verbesserten Ermittlung der Betondruckfestigkeit. Poster 9. In: DGZfP-Jahrestagung 2013, S. 1–8. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp2013/papers/poster9.pdf.</p> <p>[8] Rinder, T.; Reinhardt, H.-W. (2000): Bestimmung der Druckfestigkeit von hochfestem Beton mittels Rückprallhammer. In: Beton- und Stahlbetonbau 95 (6), S. 330–335. DOI: 10.1002/best.200000610.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <p>- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</p> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <p>- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <p>- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <p>- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</p> |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>Die Nachrechnungsrichtlinie-Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand- erlaubt die alleinige Nutzung des Rückprall-Hammers nicht; es wird zusätzlich gefordert, dass Bohrkernentnommen werden und daran die Betondruckfestigkeit bestimmt wird.</p> |

| | |
|---|---|
| Physikalische Grundlage Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren Klopfrage/ Abklopfen mit Hammer engl.: Tap Testing/ Hammer Tapping test | Prüfaufgaben - (Änderung der) Baustoffeigenschaften - Oberflächen-Inhomogenitäten |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Beurteilung der Beschaffenheit des oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche durch Abklopfen mit Finger, Knöcheln, Faust oder Hammer durch Erzeugung eines Schalls. | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von oberflächennahen Hohlstellen an Betonbauteilen - Feststellen der Änderung von Baustoffeigenschaften - Klopfrage als grundlegende Prüfung für weiterführende Untersuchungen | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Erfahrung und Beurteilungsfähigkeit der Prüfenden - Abhängigkeit des Klangs: - vom Spannungszustand, Elastizität und Schwingungsfähigkeit des Materials (Robustheit der Prüfoberfläche) - von der Bauteilgeometrie, insbesondere Bauteildicke - Beeinflussung durch Lärmquellen - Bereiche mit dichter Bewehrung beeinflussen den hörbaren Schall [2] | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vermeidung störender Einflüsse durch Lärmquellen im Prüfumfeld - Zugänglichkeit - ausreichende Robustheit der Prüfoberfläche | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Bei der Klopfrage wird die Beschaffenheit eines oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche beurteilt. Das Abklopfen erfolgt i.d.R. unter Zuhilfenahme eines Hammers. Die Intensität des Klopfens entscheidet, ob die oberflächennahen Schichten oder die tieferen Bauteilschichten zum Schwingen gebracht werden. Bei schwachem Klopfen dringen die Stoßwellen weniger tief ein, bei starkem Klopfen dringen die Stoßwellen tiefer ein. Bei der Beurteilung ist vor allem zwischen hellem und dumpfen bzw. höher- und niederfrequentem Klang zu unterscheiden. Ein heller Klang und deutlich spürbarer Rückprall des Hammers lassen auf guten Beton schließen. Zur besseren Unterscheidung des Klangs ist es ratsam, verschiedenartige Bereiche mehrmals abzuklopfen. Der Klang ist abhängig vom Luftgehalt im Inneren des Bauteil, bedingt durch Porosität des Materials oder durch Hohlräume, sowie vom Spannungszustand, Elastizität und Schwingungsfähigkeit des Materials. | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schneller erster Eindruck über mögliche Hohllagen (Verdachtsstellen) - subjektive Bewertung der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Erfahrung des Prüfers - nachfolgende Untersuchungen zur Aufklärung sind notwendig - liefert im Vergleich zu Impact-Echo keine absoluten Werte | |

| Messmethode | | | |
|--|-------------|--|-------------------|
| Messaufbau Klopfrage Hohlkasten Betonbrücke M. Friese, BAST | |  | |
| Messgeräte - leichter Stahlhammer | | | |
| Messgröße - Frequenzgehalt des hörbar reflektierten Schalls | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Klopfrage <ul style="list-style-type: none"> - Abklopfen in regelmäßigem Raster - ggf. Anzeichnen von Verdachtsstellen 4. Auswertung <ul style="list-style-type: none"> - Subjektive Bewertung des reflektierten Schalls 5. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung von Verdachtsstellen in einem Kataster - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - Weiterführende Untersuchungen, z.B. mit Ultraschall | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 1/5 | Zeit 1/5 | Kosten 1/5 | Fachwissen 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impakt-Echo - DHD-Verfahren (Digitale Hohlstellen Detektion) >> Hillemeier, B.; Walther, Andrei (2008): <i>Schnelle und großflächige Bauzustandserfassung an Spannbetonbrücken, Estrichen und Deckensystemen. 3. Erfassung von Gipsputzablösungen mit dem DHD-Verfahren (Digitale Hohlstellen Detektion). Vortrag 15. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2008: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (Fachtagung Bauwerksdiagnose).</i> - Chain Drag Test/ Chain Dragging/ Chain-Drag-Technik >> ASTM D 4580, 2012: <i>Standard Practice for Measuring Delaminations in Concrete Bridge Decks by Sounding.</i> >> Kashif Ur Rehman, Sardar; Ibrahim, Zainah; Memon, Shazim Ali; Jameel, Mohammed (2016): <i>Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. 2.1.2. Chain drag. In: Construction and Building Materials 107, S. 61–62. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011.</i> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Kastner, Richard H. (2004): <i>Altbauten - Beurteilen, Bewerten.</i> Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., Verfahren 7: Abklopfen, S. 16-22; Verfahren 8: Abhören, S. 22-23</p> <p>[2] Ivanyi, György (2002): <i>Prüfung von Betonbrücken. 2.2 Methoden. 2.2.3 Abklopfen der Oberfläche.</i> Technik der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076. In: Fritz Vollrath und Heinz Tathoff (Hg.): <i>Handbuch der Brückeninstandhaltung. 2. Aufl.</i> Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, S. 59–72.</p> <p>[3] Mertens, Martin; Gunkel, Oliver (2014): Bauwerksprüfung nach DIN 1076: Archaisches Abklopfen oder moderne Technik? Vortrag 4. In: <i>Fachtagung Bauwerksdiagnose 2014: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (Fachtagung Bauwerksdiagnose).</i></p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: <i>Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</i> - DIN EN 1330-02, 1998-12: <i>Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</i> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: <i>Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</i> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: <i>Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</i> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: <i>Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</i> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. <i>Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes.</i> In: <i>Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</i> |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Impakt-Echo</p> engl.: Impact Echo | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten - Delaminationen - Rückwand | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung mittels Anregung von elastischen Wellen durch einen kurzen mechanischen Impuls (Schlag mit Impaktor), den Impakt, und Messung der Resonanzfrequenz. [Einseitige Messung am Bauteil mit Impaktor und Sensor] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Geometrie/ Bauteildicke im Bereich von 5 bis 80 cm (besonders in dicht bewehrten Bauteilen) [1] - Nachweis lokaler oder flächiger Verbundstörungen oder Delaminationen - Ortung von Hohlstellen; - Lokalisierung von Hüllrohren/ Spanngliedern - Untersuchung der Gleichmäßigkeit des Bauteils durch Kalibrierung über Ultraschallgeschwindigkeit | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Bestimmung von <i>dünnen</i> Bauteildicken ab 5 cm und von <i>großen</i> Bauteildicken bis 80 cm [1] - Bestimmung der Bauteildicke bei mehrschichtigen Bauteilen nur bis zur obersten Lage der ersten akustischen Trennschicht - weniger geeignet für Suche nach kleinen Objekte (Fehlstellen, Spannkänäle) mit kleinem Querschnitt - keine Informationen hinter Luftschicht, dafür aber Informationen hinter Stahl | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Prüfung von Bauteildicken > 1.00 m nur im Einzelfall - Ortung von Verpressfehlern nur bei großflächig nicht verpressten Hüllrohren möglich [6] | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - für die Dickenmessung muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt sein (Ermittlung der Schallgeschwindigkeit an einem Punkt bekannter Dicke in demselben Bauteil) - Messung an Bodenplatten am besten mind. in zweifachem Abstand der Plattendicke von der Kante | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim Impakt-Echo-Verfahren erfolgt die Anregung der elastischen Wellen mit einem kurzen Schlag (Impakt) von Hand auf die Bauteiloberfläche mit einem sogenannten Impaktor, i.d.R. eine Kugel. Der Impaktor bestimmt durch seinen Durchmesser die Kontaktzeit und den eingebrachten Frequenzgehalt. Bei der erzeugten Welle handelt es sich um Lambwellen. Die Messung erfolgt in einem Raster entlang von festgelegten Linien oder einer Fläche. Zur Messung der generierten Wellen und der Resonanzfrequenzen wird ein Sensor auf die Bauteiloberfläche nahe dem Anregungspunkt gedrückt. Dazu ist kein Koppelmittel nötig. Aus den abgelesenen Frequenzen kann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit die Entfernung des Reflektors bzw. der Schichtgrenze von der Betonoberfläche ermittelt werden. An der Grenzfläche zu Luft erfolgt beim Impakt-Echo eine Totalreflexion. Hinter einer Luftschicht können also keine Informationen gewonnen werden. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - geringere Auflösung und somit ungenauer als Ultraschall Echo - keine Linienscans [7] - durch manuelle Anregung kein exakt gleichmäßiger Energieeintrag [7] | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p style="text-align: center;">Impakt-Echo an Betontestkörper J. Wiese, HTW Berlin</p> | |  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> -kugelförmiger Impaktor mit kleinem Durchmesser (hohe Frequenzanteile) : geringe Dicken und kleine Objekte im Nahbereich - Impaktor mit großem Durchmesser (für tiefe Frequenzbereiche) : größere Dicken - geeignete Auswahl der Impaktoren (3 bis 30 mm Kugeldurchmesser) für großes Tiefenspektrum | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Kenntnis: Schallgeschwindigkeit v in [m/s] für Beton $v = \sim 4000$ m/s</p> <p>Messgröße: Frequenz f in [Hz] im oberen Hör- und unteren Ultraschallbereich zwischen 2 bis 40 kHz</p> <p>Zielgröße: Bauteildicke d in [m],</p> <p>Berechnung der Zielgröße: $d = v/(2 \cdot f)$</p> | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Auswahl eines geeigneten Impaktors - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit vorzugsweise an Stelle mit bekannter Dicke <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Impakt-Echo</p> <p>4. Auswertung [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verschiebung der Resonanzfrequenz bei angrenzenden Materialien mit hohen Impedanzen wie z.B. Stahl - auch bei guter Qualität des eigentlichen Messsignals können störende Reflexion an Begrenzungsflächen oder inneren Objekten (Seitenwände, Fugen, Bewehrungsbündel, Rohre) auftreten <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung von Verdachtsstellen in einem Kataster - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weiterführende Untersuchungen, z.B. mit Ultraschall | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 3/5 | 3/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Germann Instruments: Mirador [Link: http://germann.org/products-by-application/flaw-detection/mirador]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Kontaktlose Messung durch den Einsatz von Mikrofonen [6]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2011): Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 11).</p> <p>[2] Impakt-Echo. Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 15–17.</p> <p>[3] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 260.</p> <p>[4] Wiggenhauser, Herbert (2004): Impact-Echo. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 358–365.</p> <p>[5] Bergmeister, Konrad; Santa, Ulrich (2004): Brückeninspektion und -überwachung. Zerstörungsfreie Prüfverfahren für Bauwerkselemente. In: Beton-Kalender 2004. Brücken - Parkhäuser. 1 von 2. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn (93), S. 430.</p> <p>[6] Algernon, Daniel; Feistkorn, Sascha; Scherrer, Michael (2016): Zerstörungsfreie Prüfung von Betonbauteilen mit dem Impact-Echo-Verfahren. Poster 7. In: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (Hg.): Fachtagung Bauwerksdiagnose 2016 (Fachtagung Bauwerksdiagnose).</p> <p>[7] Große, C.; Beutel, R.; Wiggenhauser, Herbert; Algernon, Daniel; Schubert, F. (2006): Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen. Impact-Echo. In: Konrad Bergmeister und Johann-Dietrich Wörner (Hg.): Beton-Kalender 2007. D-69451 Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, S. 479-596.</p> <p>[8] RI-ZFP-TU: Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen. Teil 5: Tunnelbau, Abschnitt 1: Geschlossene Bauweise, Anhang A. In: ZTV-ING, Ausgabe 2007-12.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>- In Deutschland wird das Impakt-Echo-Verfahren zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Tunnelinnenschalen angewendet und ist mit der RI-ZFP_TU Teil der ZTV-ING. Dazu ist eine Personalqualifikation an der BAST erforderlich. [8]</p> <p>- In den USA wird das Verfahren Impakt-Echo primär zur Ortung von Delaminationen auf Betonfahrbahnen angewendet.</p> |

| | |
|---|---|
| Physikalische Grundlage | Mechanisch angeregtes Messprinzip |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Ultraschall Echo/ Reflexionsschall-Verfahren</p> engl.: Ultrasonic Echo | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Rückwand - Bewehrung (Stahlbeton) - Spannglieder (Spannbeton) |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Inhomogenitäten durch Erzeugung von mechanisch angeregten Impulsen im Prüfkopf und deren Ausbreitung sowie Beeinflussung (z.B. Reflexion am Riss) nach den Gesetzmäßigkeiten von elastischen Wellen im zu prüfenden Bauteil [Aktive Aussendung von Signalen] [Einseitige Messung am Bauteil mit Sender und Empfänger = Reflexion; auch: Sende-Empfangs-Verfahren] | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Bauteildicke - Ortung von Hohlstellen und Verdichtungsmängeln (nur bei Sichtbarkeit der Rückwand) - Lage von einzelnen Spanngliedern in dicht bewehrten Bereichen und Lokalisierung tiefliegender Bewehrung [3] | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Messung bei Bauteilen ab 4 cm und bis 50 cm Dicke - keine Festlegung von Bewehrungsdurchmessern oder geometrischen Formen - keine Informationen hinter Luftschicht (gilt breits für Luftschichten im Submillimeter-Bereich), dafür aber hinter - keine Aussage zum Verbund von zwei Schichten - ungeeignet bei Beschichtungen und rauen Oberflächen | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Ortung von Verpressfehlern in Spanngliedern nur in Verbindung mit Phasenauswertung [2] - Prüfung von (dicht bewehrten) Bauteildicken von bis zu 5 m mit besonderer Anordnung von Prüfköpfen (LAUS-System - Large Aperture UltraSound) [10] - mit weiterentwickelten Geräten ist eine Messung der Betondeckung möglich [9] | |
| Bauseitige Voraussetzungen - für Dickenmessung muss Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt sein (Ermittlung der Schallgeschwindigkeit an einem Punkt bekannter Dicke in demselben Bauteil an einer intakten Stelle) - Oberflächenbeschichtungen und Abdichtungen müssen entfernt werden - starke Streueffekte durch Gesteinskörnung mit $d_{Gr} > 16$ mm | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Beim Ultraschall-Echo-Verfahren an Beton werden mittels Punkt-Kontakt-Prüfköpfen Ultraschallimpulse im Frequenzbereich zwischen 30 und 100 kHz erzeugt. Im Prüfgerät sind mehrere Sender und Empfänger mit festen Abständen nebeneinander angeordnet -sogenannte Array-Prüfköpfe. Bei den erzeugten Impulsen handelt es sich um Transversalwellen . Für die Messung muss das Prüfgerät auf die Betonoberfläche gedrückt und in einem Raster versetzt werden. Das Raster wird durch die Größe der zu detektierenden Objekte bestimmt. Die elastischen Wellen werden an Schichtgrenzen reflektiert oder an Reflektoren wie Bewehrungsstäben und Hüllrohren rückgestreut. An der Grenzfläche zu Luft erfolgt bei Ultraschall nahezu eine Totalreflexion. Hinter einer Luftschicht können also keine Informationen gewonnen werden. Aus der Laufzeit von den reflektierten Impulsen kann dann die Entfernung und das Ausmaß der detektierten Objekte bestimmt werden. Eine Rekonstruktion der Rohdaten mit SAFT-Auswertung liefert eine verbesserte bildgebende Darstellung der Ergebnisse. [8] | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Untersuchung von jungen Betonen möglich (im Gegensatz zum Radar-Verfahren) - im oberflächennahen Bereich blind + zerstörungsfrei, nicht berührungslos - keine Erkundung von Bereichen hinter Hohlräumen im Gegensatz zu Radar | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Ultraschall an Betontestkörper</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Ultraschall an Betontestkörper: Auswertung</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ultraschallprüfgerät mit anregendem Frequenzbereich zwischen 20 bis 100 kHz (Vgl. Stahl: 1 bis 10 MHz) <ul style="list-style-type: none"> - hohe Frequenz: geringere Eindringtiefe, höhere Auflösung - niedrige Frequenz: höhere Eindringtiefe, geringere Auflösung - Steuereinheit | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Kenntnis oder Berechnung: Schallgeschwindigkeit v in [m/s] für Beton $v_{Trans} \approx 2500$ m/s</p> <p>Messgröße: Laufzeit t in [μs]</p> <p>Zielgröße: Bauteildicke d in [m]</p> <p>Berechnung der Zielgröße: $d = v \cdot t/2$ (ggf.: $v = \lambda \cdot f$)</p> <p>Reflexionskoeffizienten: $R = -1$ Grenzschicht Beton/ Luft (Totalreflexion), $R = +0,5 \dots 0,6$ Grenzschicht Beton/ Stahl</p> | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Ultraschallprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Messung durch Versetzen des Ultraschall-Prüfsensors in einem bestimmten Raster 4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung: z.B. Rekonstruktion der Rohdaten mit SAFT-Auswertung - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Darstellung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 3/5 | 3/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| Gerätehersteller, Software - Proceq (Produktreihe: Pundit) |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten <u>Varianten Ultraschall:</u> - Ultraschall Reflexion/ Sende-Empfangs-Verfahren/ Impuls-Echo-Technik: einseitige Messung mit einem einzelnen, kombiniertem Sende- und Empfängerprüfkopf - Ultraschall Transmission/ Durchschallungstechnik nach DIN EN ISO 16823: zweiseitige Laufzeitmessung am Bauteil = Durchschallung des Bauteils mit Sende- und Empfängerprüfkopf auf gegenüberliegenden oder versetzten Flächen des Prüfkörpers; Prüfaufgaben: (Änderung der) Betondruckfestigkeit, Erstarrungsverlauf von Frischbeton oder Homogenitätskontrolle |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (in Fertigstellung): Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen . überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 04). [2] Ultraschall . Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen . Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 12–15. [3] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung . Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 257-260. [4] Taffe, Alexander (2008): Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung . Zugl.: Aachen, Tech. Univ., Diss., 2008. 1. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH (DAfStB Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 574), S. 83-95; Anhang [5] Krause, M. (2004): Ultraschallechoverfahren an Betonbauteilen. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004 . Berlin: Ernst & Sohn, S. 341–352. [6] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012 , Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 193-199. [7] Bergmeister, Konrad; Santa, Ulrich (2004): Brückeninspektion und -überwachung. Zerstörungsfreie Prüfverfahren für Bauwerkslemente. In: Beton-Kalender 2004 . Brücken - Parkhäuser. 1 von 2. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn (93), S. 430. [8] Reinhardt, Hans-Wolf (2006): Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen . In: Konrad Bergmeister und Johann-Dietrich Wörner (Hg.): Beton-Kalender 2007 . D-69451 Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, S. 479–596. [9] Vonk, Sarah (2018): Bildgebende Darstellung oberflächennaher Bewehrung mit Ultraschall an Beton und Ermittlung der Genauigkeit der Betondeckung . Masterarbeit HTW Berlin. Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin. Fachgebiet für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen. [10] Niederleithinger, Ernst; Wiggenhauser, Herbert; Milmann, Boris: LAUS - Erste praktische Erfahrungen mit einem neuartigen Ultraschallsystem großer Eindringtiefe In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2018 S 1 8 Online verfügbar |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN ISO 5577: 2017-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Terminologie. |
| Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30) - Die Ultraschallprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "UT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Ultraschallprüfung durchzuführen. |

Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)

- DIN EN 12668, 2010-05: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 1: Prüfgeräte
- DIN EN 12668, 2010-06: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 2: Prüfköpfe
- DIN EN 12668, 2014-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 3: Komplette Prüfausrüstung
- DIN EN ISO 2400: 2013-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr. 1
- DIN EN ISO 7963: 2010-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr 2
- DIN EN ISO 16809, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Dickenmessung mit Ultraschall. [Entwurf]
- DIN EN ISO 16810, 2014-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Allgemeine Grundsätze.
- DIN EN ISO 16811, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Empfindlichkeits- und Entfernungsjustierung.
- DIN EN ISO 16823, 2014-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Durchschallungstechnik
- DIN EN ISO 16826, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Prüfung auf Inhomogenitäten senkrecht zur Oberfläche.
- DIN EN ISO 16827, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Beschreibung und Größenbestimmung von Inhomogenitäten.
- DIN EN ISO 16828: 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beugungslaufzeittechnik, eine Technik zum Auffinden und Ausmessen von Inhomogenitäten
- DIN EN ISO 16946: 2017-07: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Stufenkeil-Kalibrierkörpers
- DIN EN ISO 18563: Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays

Merkblätter DGZfP

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (in Fertigstellung): Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 04).

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

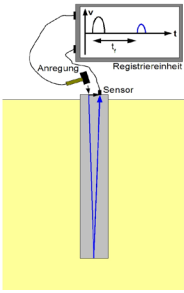

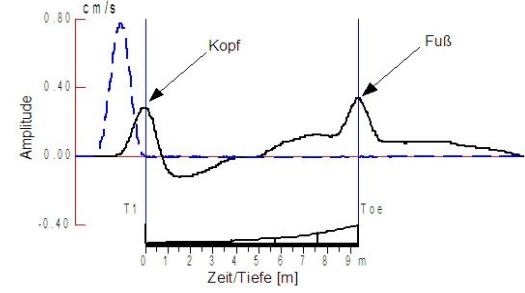
Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes S 1 13

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

- Hinweis zum Nachweis der Mindestbetondeckung: DBV-Merkblatt: **Betondeckung und Bewehrung. Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2 (2015)**. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter).
- weitere Literaturhinweise zur **Betondeckung**:
 - Brameshuber, Wolfgang; Schmidt, Hubert; Schröder, Petra; Fingerloos, Frank (2004): **Messung der Betondeckung — Auswertung und Abnahme**. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (3), S. 169–175. DOI: 10.1002/best.200490112.
 - Schmidt, Hubert: **Auswertung rechtsschief verteilter Messwerte. Näherungsverfahren zur Parameterschätzung der Neville-Verteilung**. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2/2006 131. Jg., S. 72–80.

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Low-Strain-Verfahren/ Hammerschlag-Methode</p> engl.: Low Strain Integrity Test/ Pile Integrity Test (PIT) | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten - Rückwand | |
| Kurzbeschreibung Laufzeitmessung nach mechanischer Anregung von elastischen Wellen auf den Pfahlkopf durch einen mechanischen Impuls (Hammerschlag) und der Reflexion verursacht durch Impedanzsprünge im Pfahl bzw. der Grenzfläche Pfahl/Baugrund. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Integrität (Unversertheit/ Intaktheit) des Pfahls - Pfahllänge: 5 bis 20 m; Pfahllänge/ Durchmesser < 30:1 | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Schäden dicht unter dem Pfahlkopf werden übersehen [1] - kleine Fehlstellen werden wegen der großen Wellenlängen nicht erkannt [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - zugänglicher Pfahlkopf; Alternative bei unzugänglichem Pfahlkopf: Einkerbungen des Pfahls; weitere Alternative: Aufbringen des Sensors seitlich am Pfahlschaft nach vorherigem Freilegen [3] - Entfernung loser Partikel sowie zementreicher oberflächennaher Schichten, ggf. Abspritzen der Pfahlkopfoberfläche [1,3] - trockene und vorzugsweise am Koppelpunkt des Sensors angeschliffene Betonoberfläche [1,3] - Kalibrierung der Wellengeschwindigkeit v [1,3] - Randinformationen wie Baugrunduntersuchung, Kenntnis Pfahlherstellungsverfahren und besondere Vorkommnisse <u>bei Pfahlherstellung für Zuordnung der Fehlerursache [1,3]</u> | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim Low-Strain-Verfahren wird ein Sensor (Geophon oder Piezo-Accelerometer) am Pfahlkopf mit Knetmasse, Kleber o. ä. angekoppelt. Durch einen Hammerschlag, den Impakt, auf den Pfahlkopf in der Nähe des Sensors erfolgt ein mechanischer Impuls, der eine elastische Welle auslöst. Bei diesen Wellen handelt es sich um Dehnwellen . Diese Welle durchläuft den Pfahl, wird am Pfahlfuß reflektiert und am Pfahlkopf mit Hilfe des Sensors erfasst. Die so ermittelte Laufzeit wird dann über eine Gleichung in die Pfahllänge umgerechnet. Impedanzsprünge im Pfahl, z.B. durch Querschnittseinschnürungen oder -ausbauchungen, verursachen zusätzlich zum Fußsignal Reflexionen, mit deren Hilfe diese Querschnittsänderung rekonstruiert und die Integrität des Pfahls bestimmt werden können. Weist die Reflexion in die gleiche Richtung wie das Signal am Pfahlkopf, handelt es sich um eine Einschnürung. Weist es in die andere Richtung, um eine Zunahme des Querschnitts. Dementsprechend kann beim Fußsignal unterschieden werden, ob der Pfahl in normalen Baugrund oder in Fels einbindet. [1,3] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schnelle Einschätzung zur Unterscheidung guter Pfähle und Verdachtsfälle +/- große Tiefereichweite jedoch geringere Auflösung des Verfahrens - Verfahren zur Längenmessung unterliegt großen Streuungen, da weder eine tatsächliche Pfahllänge noch die Wellengeschwindigkeit bekannt sind - Verfahren ist nicht analytisch: d.h. einem Signal kann i.d.R. keine eindeutige Ursache zugeordnet werden (keine eindeutige Unterscheidung zwischen Querschnittsänderungen, Änderung der Betonqualität/ Rohdichte und der Lagerungsbedingungen des Baugrunds) | | | |

| Messmethode | | | |
|--|--|--------|------------|
| <p>Messaufbau Pfahlprüfung © A. Taffe, HTW Berlin [2]</p>   | <p>Messergebnisse Ergebnis-Graphik: Pfahlprüfung © A. Taffe, HTW Berlin [2]</p>  | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Hammer mit Stahl- oder Plastikkappe [6] - Piezo-Accelerometer/ Beschleunigungssensor/ Geophon [6] - Computersteuerung/ Messgerät zur Laufzeitmessung und Aufzeichnung der Zeitsignale (Laufzeitkurven) [6] | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Annahme: Schallgeschwindigkeit v in [m/s] für Betonpfähle $v_{Dehn} \approx 3500..4200$ m/s (häufig als Schätzung, da die wirkliche Länge von Pfählen bzw. eines Referenzpfahles nicht bekannt ist) [2] - Messgröße: Laufzeit t in [μs] - Zielgrößen: Pfahlänge/ Tiefenlage eines Impedanzsprungs L in [m] und Pfahlintegrität (Rückschluss erf.) [2] - Berechnung der Zielgrößen: <ul style="list-style-type: none"> - $L = v * t / 2$ - $v = 2 * L / t$ | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): <ul style="list-style-type: none"> - Pfahlkopf vorbereiten und den Sensor kraftschlüssig am Pfahlkopf bzw. seitlich am Pfahlschaft befestigen - Hammerschlag auf Pfahlkopf - Messung der Laufzeit 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Pfahlgüte nach [5] - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |


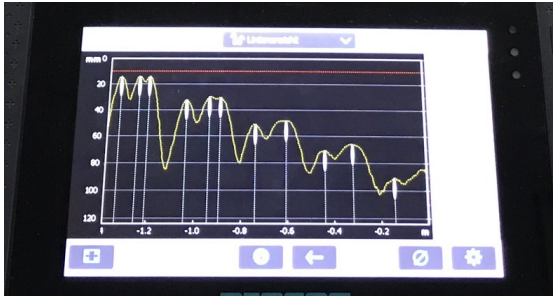
| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Pile Dynamics Inc.: Hersteller für Messtechnik, Hard- und Software für Pfahlprüfungen; in Deutschland repräsentiert von GSP Gesellschaft für Schwingungsuntersuchungen und dynamische Prüfmethode mbH</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Alternative zur Längenmessung: Parallel-Seismic-Verfahren [3]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Low-Strain-Verfahren ("Hammerschlag-Methode"). Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 17–19.</p> <p>[2] Taffe, Alexander (2008): Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung. Zugl.: Aachen, Tech. Univ., Diss., 2008. 1. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH (DAfStB Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 574), S. 72-82; Anhang A.1.2</p> <p>[3] Taffe, Alexander; Katzenbach, Rolf; Klingmüller, Oswald; Niederleithinger, Ernst (2005): Untersuchungen an Fundamentplatten und Pfahlgründungen im Hinblick einer Wiedernutzung. In: Beton- und Stahlbetonbau 100 (9), S. 757–770. DOI: 10.1002/best.200590207.</p> <p>[4] Kirsch, F.; Klingmüller, O. (2003): Erfahrungen aus 25 Jahren Pfahl-Integritätsprüfung in Deutschland. In: Bautechnik 80 (9), S. 640–650. DOI: 10.1002/bate.200304700.</p> <p>[5] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hg.) (2012): EA-Pfähle. Empfehlungen des Arbeitskreises "Pfähle". 2. Aufl. Berlin: Ernst.</p> <p>[6] Pile Dynamics Inc. vertreten durch GSP mbH (Hg.): Specifications. Pile Integrity Tester. Online verfügbar unter http://www.gsp-mannheim.de/pdfs/PIT%204S%20X%20GSP_klein.pdf.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <p>- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</p> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <p>- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <p>- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <p>- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</p> |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>- Weiterführende Informationen zu Pfählen sind auf der Internetseite der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.v. DGGT in der Fachsektion Erd- und Grundbau im Arbeitskreis AK 2.1 zu finden. [https://www.dggt.de/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=59]</p> <p>- Weitere Bezeichnungen für das Verfahren sind: Sonic Echo / Impulse Response/ Pulse Echo Testing</p> |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Magnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Magnetisches Gleichfeld engl.: Direct Current Field Measurement (DC) | | Prüfaufgabe - Bewehrung (Stahlbeton) | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch Magnetisierung der elektrisch leitfähigen Bewehrung durch ein äußeres permanentes Magnetfeld mittels einem Permanentmagneten = Gleichfeldmagnetisierung. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von oberflächennaher, ferromagnetischer Bewehrung [5] - Magnt. Anziehungskraft: Aussage der Einhaltung oder Unterschreitung einer vorgegebenen Betondeckung [5] - Magnt. Streufusseffekt: Angabe der Betondeckung und Angabe des Durchmessers, wenn die Betondeckung bekannt ist [5] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - gegenseitige Beeinflussung benachbarter Bewehrungsstäbe - Polstärke der eingesetzten Magneten muss ausreichend groß sein, um die Bewehrung in entsprechender Tiefe zu magnetisieren - Magnt. Streufusseffekt: für die genaue Angabe der Betondeckung ist die Kenntnis des Bewehrungsdurchmesser notwendig, der im Messgerät angegeben werden muss | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Die magnetischen Verfahren beruhen auf den physikalischen Prinzipien der Magnetisierbarkeit und der elektrischen Leitfähigkeit der Bewehrung. Bei den magnetischen Gleichfeldverfahren wird in zwei Messprinzipien unterschieden: Magnetische Anziehungskraft und Magnetischer Streufusseffekt. Beim Prinzip der magnetischen Anziehungskraft führt der Prüfer mit der Hand einen Permanentmagneten über die Betonoberfläche, um die Bewehrung zu magnetisieren, und misst subjektiv die Anziehungskraft zwischen Magnet und Bewehrung zur Ortung der Bewehrung. Das Verfahren findet heute kaum noch Anwendung auf Grund der Subjektivität. Beim Prinzip des magnetischen Streufusseffektes wird die Bewehrung ebenfalls mit einem Permanentmagneten magnetisiert, das Magnetfeld wird durch die Bewehrung gestreut und die Messung erfolgt mit einer Hallsonde. Allerdings wird lediglich der Ort mit maximaler Anzeige registriert. Für eine quantitative Aussage zur Betondeckung oder zum Bewehrungsdurchmesser müssen zuvor an einem Kalibrierkörper mit bekannter Betondeckung und bekanntem Bewehrungsdurchmesser Vergleichsmessungen durchgeführt werden. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfache Handhabbarkeit + im Gegensatz vom Wechselfeldverfahren nur gering von der chemischen Zusammensetzung und dem Gefügestand des untersuchten Betonstahls abhängig - keine Anwendung von konventionellen, magnetischen Verfahren bei Bewehrung aus Kohlefasern oder Aramid [1] | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| <p>Magnetisches Gleichfeld: Prinzipskizze © A. Taffe, HTW Berlin [5]</p> | | | |
| Messgeräte | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Magnt. Anziehungskraft: Satz von Prüfmagneten - Magnt. Streufluss: Permanentmagnet/ Hallsonde | | | |
| Messgröße | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Magnt. Anziehungskraft: Magnetische Anziehungskraft - Magnt. Streufluss: Spannungsänderung einer Hallsonde | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <p><u>Vorgehensweise Magnetische Anziehungskraft: [5]</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Auffinden einer Stablage am Ort maximal spürbarer Kraft (subjektiv) 2. Durchprobieren verschieden starker Magnete A, B, C, ... 3. Magnet B („haftet gerade noch“) + Kenntnis \emptyset -> Kalibriertabelle 4. Betondeckung d_c (oder mehr) <p><u>Vorgehensweise Magnetischer Streuflusseffekt:</u></p> <p>Prüfen der Oberfläche mit einem Permanentmagneten und integrierter Hallsonde, die die Änderung des Magnetfeldes registriert und so die Betondeckung misst</p> <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 1/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2014): Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen. überarb. Ausg. April 2014. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 02).</p> <p>[2] Magnetisches Gleichfeld. Magnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 24–26.</p> <p>[3] Flohrer, C. (2004): Verfahren zur Messung der Betondeckung. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 370–371.</p> <p>[4] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 157–202.</p> <p>[5] Mertens, Martin (Hg.) (2015): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis zum Nachweis der Mindestbetondeckung: DBV-Merkblatt: Betondeckung und Bewehrung. Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2 (2015). Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter). - weitere Literaturhinweise zur Betondeckung: <ul style="list-style-type: none"> - Brameshuber, Wolfgang; Schmidt, Hubert; Schröder, Petra; Fingerloos, Frank (2004): Messung der Betondeckung – Auswertung und Abnahme. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (3), S. 169–175. DOI: 10.1002/best.200490112. - Schmidt, Hubert: Auswertung rechtsschief verteilter Messwerte. Näherungsverfahren zur Parameterschätzung der Neville-Verteilung. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2/2006 131, Jg., S. 72–80. |

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Magnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Magnetisches Wechselfeld engl.: Alternating Current Field Measurement (AC) | | Prüfaufgabe - Bewehrung (Stahlbeton) | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch Magnetisierung der elektrisch leitfähigen Bewehrung durch ständige Umpolung eines extern angelegten Magnetfeldes mittels Spulen = Wechselfeldmagnetisierung. (Induktives Verfahren) | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von oberflächennaher Bewehrung - Bestimmung des Bewehrungsdurchmessers üblicherweise bis 28 mm Durchmesser - Bestimmung der Betondeckung unter üblichen Randbedingungen zwischen 60 - 70 mm Deckung bei genauer Kenntnis des Bewehrungsdurchmessers (Genauigkeit +/- 1..2 mm) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - durch den Abschattungseffekt werden tiefer und hinter einem anderen Objekt liegende Objekte nicht detektiert - Messergebnis der Betondeckung abhängig vom eingestellten Durchmesser des Bewehrungsstabes - nicht genormte und ältere Stähle haben u.U. abweichende magnetische Permeabilität, die die Messung beeinflussen kann; neue und genormte Stähle haben annähernd konstante Permeabilität - gegenseitige Beeinflussung benachbarter Bewehrungsstäbe - Wechselfeldstreuluss-Verfahren: ferritische Bestandteile im Beton können Messergebnis stark beeinflussen bzw. unmöglich machen - Wirbelstrom-Verfahren: leitfähige Bestandteile im Beton können Messergebnis stark beeinflussen bzw. unmöglich machen | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Wechselfeldstreuluss-Verfahren: Prüfobjekt (Betonstahl, Spannstahl) muss ferromagnetisch sein - Wirbelstrom-Verfahren: Prüfobjekt (Kupfer, Edelstahl, Betonstahl) muss leitfähig sein - genaue Kenntnis des Bewehrungsdurchmessers für eine Betondeckungsmessung mit einer Genauigkeit von +/- 1..2 mm | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Die magnetischen Verfahren beruhen auf den physikalischen Prinzipien der Magnetisierbarkeit und der elektrischen Leitfähigkeit der Bewehrung. [2] Beim magnetischen Wechselfeldverfahren wird in Abhängigkeit der Frequenz in das Ferromagnetisches Verfahren (Wechselfeldstreuluss-Verfahren, niederfrequent) und das Wirbelstromverfahren (hochfrequent) unterschieden: Beim Ferromagnetischen Verfahren (engl.: AC Field Leakage Test) wird durch eine Primärspule ein niederfrequentes Magnetfeld mit zwischen 1 kHz bis zu wenigen Kilohertz erzeugt. Wenn ein ferromagnetisches Material, wie Bewehrungseisen, vorhanden sind, verzerrt sich das Magnetfeld. Diese Verzerrung, die einer Konzentration von Magnetfeldlinien entspricht, wird mit einem Magnetfeldsensor in Form einer Sekundärspule erfasst und ausgewertet. Das Primär- und das Sekundärfeld verlaufen in gleicher Richtung, weswegen das Magnetfeld insgesamt größer wird. Mit dem Wechselfeldstreuluss-Verfahren können nur ferromagnetische Metalle detektiert werden. Beim Wirbelstrom-Verfahren (engl.: Eddy Current Test) wird durch eine Primärspule ein hochfrequentes Magnetfeld mit Frequenzen ab etwa 10 kHz erzeugt. Wenn elektrisch leitfähige Metalle im Bereich dieses Feldes vorhanden sind, bewirkt (induziert) das Magnetfeld in diesem einen geschlossenen Stromfluss (Wirbelstrom, Kreisstrom). Diese Wirbelströme generieren ein sekundäres Magnetfeld, das entgegengesetzt dem Magnetfeld der Spule gerichtet ist. Im Unterschied zum niederfrequenten Magnetfeld, wirken die angeregte und die induzierte Größe gegeneinander. Daraus resultiert eine Schwächung des Magnetfeldes der Spule, die als Änderung des Wechselstromwiderstandes (Impedanz) gemessen wird. Mit dem Wirbelstrom-Verfahren können auch leitfähige, nicht-ferromagnetische Metalle wie Kupfer, Messing und nicht magnetische Edelstähle detektiert werden. Die Betondeckung kann jedoch nur für Stabstahl genau gemessen werden. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + keine Oberflächenvor- oder Nachbereitung + berührungslos + unabhängig von Baufeuchte + sehr präzise - Magnetisierungszustand umfasst nur oberflächennahe Bereiche - gegenseitige Beeinflussung benachbarter Stäbe - keine Anwendung von konventionellen, magnetischen Verfahren bei Bewehrung aus Kohlefasern oder Aramid [1] | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|---|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Magnetisch induktive Messung an Betontestkörper, J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Magnetisch induktive Messung an Betontestkörper: Auswertung, J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgeräte mit und ohne Aufzeichnung der Daten entlang der Messstrecke mit eingebauter <ul style="list-style-type: none"> - Sendespule, die Primärfeld mit angelegter Wechselspannung generiert, und - Empfangsspule, die die Summe der Spannungen aus Primär- und Sekundärfeld empfängt | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spannungsänderung durch Induktivität der Spule (Elektrische Größen des resultierenden Magnetfeldes werden je nach Prüfaufgabe ermittelt: Lage der Bewehrung, Betondeckung oder Bewehrungsdurchmesser) | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Geräteeinstellungen [5]: <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl Messmodi: Ortung, Linienscan Mehrfachlinienscan, Flächenscan, Kreuzlinienscan - Voreinstellung Stabdurchmesser - ggf. Nachbarstabskorrektur - Korrektes Anzeichnen der Stablage: <ul style="list-style-type: none"> - Überprüfen, an welcher Stelle sich der Messmittelpunkt im Gerät - Empfehlung: mindestens drei Messpunkten zur Festlegung der Stabachse <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abfahren der Prüfoberfläche mit dem Prüfgerät (senkrecht zur Stabachse) - ggf. Speichern der Messdaten <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Ergebnis: z.B. Nachweis der Mindestbetondeckung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 2/5 | 3/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hilti: Ferrosan PS200/250 (Prinzip: Ferromagnetisches-Verfahren) und PS35 (Prinzip: Wirbelstrom-Verfahren; nicht mehr online verfügbar) [Stand Oktober 2018] - Proceq: Profometer und Profoscope (Prinzip Wirbelstrom-Verfahren) [Stand Oktober 2018] - Würth: BDM 1 - auch genannt: „Lithoscope“ [Stand Dezember 2012] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - alternatives Verfahren: Radiographie/ Durchstrahlungsprüfung |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2014): Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsart an Stahl- und Spannbetonbauteilen. überarb. Ausg. April 2014. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 02).</p> <p>[2] Magnetisches Wechselfeldverfahren. Magnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 26–28.</p> <p>[3] Flohrer, C. (2004): Verfahren zur Messung der Betondeckung. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 370–371.</p> <p>[4] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 157–202.</p> <p>[5] Proceq SA (Hg.) (2017): Profometer Bedienungsanleitung. Online verfügbar unter https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Profometer_Operating%20Instructions_German_high.pdf.</p> <p>[6] Taffe, Alexander; Jungen, Barbara (2016): Untersuchungen zur Genauigkeit von magnetisch induktiven Betondeckungsmessungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 111 (8), S. 484–495. DOI: 10.1002/best.201600028.</p> <p>[7] Kapphahn, G. (2005): Vergleich verschiedener ZfP - Verfahren zur Bewehrungsart. In: 3. Symposium "Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen". Dresden, S. 1–11.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-2, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN ISO 12718, 2018-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Wirbelstromprüfung – Terminologie. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Wirbelstromprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "ET" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Wirbelstromprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 54140-3, 1989-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Induktive Verfahren - Darstellung und allgemeine Eigenschaften von Spulensystemen. <i>[Teil 1 und 2 sind zurückgezogen]</i> - DIN EN ISO 15548-1:2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 1: Kenngrößen von Prüfgeräten und deren Verifizierung - DIN EN ISO 15548-2:2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 2: Kenngrößen von Sensoren und deren Verifizierung - DIN EN ISO 15548-3:2009-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 3: Kenngrößen des Systems und deren Verifizierung - DIN EN ISO 15549, 2018-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Wirbelstromprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN ISO 20339, 2017-08: Zerstörungsfreie Prüfung – Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung – Kenngrößen von Sensorarrays und deren Verifizierung |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar


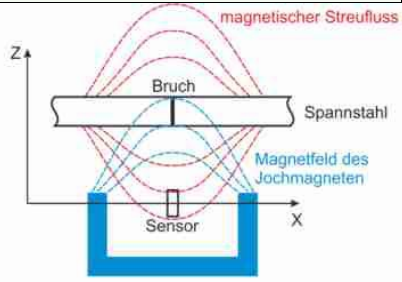
- Hinweis zum Nachweis der Mindestbetondeckung: DBV-Merkblatt: **Betondeckung und Bewehrung. Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2 (2015)**. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter).

Weitere Literaturhinweise zur **Betondeckung**:

- Brameshuber, Wolfgang; Schmidt, Hubert; Schröder, Petra; Fingerloos, Frank (2004): **Messung der Betondeckung — Auswertung und Abnahme**. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (3), S. 169–175. DOI: 10.1002/best.200490112.

- Schmidt, Hubert: **Auswertung rechtsschief verteilter Messwerte. Näherungsverfahren zur Parameterschätzung der Neville-Verteilung**. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2/2006 131. Jg., S. 72–80.

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Magnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Magnetische Streufeldmessung (aktiv)/ Remanenzmagnetismus (passiv) engl.: Magnetic Leakage Field Method/ Remanent Magnetism | | Prüfaufgabe - Spannglieder/ Hüllrohre - Spannstahlbruch | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung mittels Messung des durch einen Spanndrahtbruch im Spannglied hervorgerufenen magnetischen Streufeldes an der Betonoberfläche mittels eines Magnetfeldsensors nach Aufmagnetisierung des Spannstahls | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von Spanndrahtbrüchen in Spannbeton mit sofortigem und nachträglichem Verbund - auch Detektion einzelner gebrochener Spanndrähte im Bündel von intakten Spanndrähten | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Grenzen des Verfahrens abhängig von: Stababständen der Bügelbewehrung sowie dem Anteil gebrochener Drähte - keine Aussage über Korrosionsprozess, der zum Bruch führte - das zu prüfende Spannglied darf von der zu prüfenden Bauteiloberfläche aus gesehen nicht hinter einem anderen Spannglied liegen - Spannglieder aus einem Draht mit großer Querschnittsfläche $A > 50 \text{ mm}^2$, Abstände Stahlbetonbewehrung konstant, Bruchortung bis 30 cm Betondeckung möglich [2] - Spannglieder aus mehreren Drähten mit kleiner Querschnittsfläche $A = 20 \text{ mm}^2$, dichte Stahlbetonbewehrung, Bruchortung nur bis maximal 10 cm Betondeckung möglich [2] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Zugänglichkeit zur Betonoberfläche | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim Remanenzmagnetismus-Verfahren werden die Spannglieder mit Elektromagneten von der Betonoberfläche aus definiert aufmagnetisiert. Wenn der Elektromagnet entfernt wird, verbleibt das magnetische Feld = Remanenzmagnetismus (remanent = verbleibend). Das magnetisierte Spannglied verhält sich dann wie ein Stabmagnet, das heißt, der Spannstahl bildet ein eigenes Magnetfeld mit einem magnetischem Nord- und einem Südpol. An Bruchstellen entstehen so neue Dipole, da sich Nord- und Südpol dann direkt gegenüberliegen. Dadurch entsteht ein magnetisches Streufeld, was mit Magnetfeldsonden an der Betonoberfläche gemessen werden kann. An der Bruchstelle kann ein charakteristisches Bruchsignal aufgenommen werden. Die Amplitude dieses Signals gibt Auskunft über das Maß der Querschnittsschwächung. Ortung des Spannstahlbruchs und Bewertung der Messergebnisse abhängig von: Betondeckung, Querschnittsfläche der Spanndrähte, Anzahl der Drähte im Spannglied, Anzahl der gebrochenen Drähte in einem Querschnittsbereich, Verbund zwischen Spannstahldrähten und dem Verpressmörtel (Bruchweite), erzeugte Störsignale durch ferromagnetische Bestandteile wie Stahlbetonbewehrung und magnetischer und magnetoelastische Materialeigenschaften der Spannstahlart. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) +/- einziges Verfahren zur Spannbruchortung + Spannstahl und schlaaffe Bewehrung können in der Signalauswertung unterschieden werden - zusätzliche Untersuchungen mit Radar und Ultraschall sind i.d.R. notwendig | | | |

| Messmethode | | | |
|---|---|--|---------------------------|
| <p>Messaufbau</p>  | <p>Messergebnisse</p>  | | |
| <p>Untersuchung von Querspanngliedern in der Fahrbahnplatte [Ingenieure für Bauwesen - Prof. Hillemeier & Knapp GmbH, Berlin/DGZfP-VNB 89/28.08.17]</p> | | <p>Typische Bruchsignale bei Messung der axialen bzw. transversalen Komponente der magnetischen Feldstärke [Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart/DGZfP-VNB 88/28.08.17]</p> | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magnetisierungseinheit (Jochmagnet) [4] - Magnetfeldsensor (Hallsonde oder Squids) [4] - Stromanschluss - für großflächige Messungen von Querspanngliedern: selbstfahrender Magnetwagen mit Sensoreinheit [4] | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgrößen: <ul style="list-style-type: none"> - Weg in [cm] - Transversale Komponente der magnetischen Flussdichte in [-] - Zielgröße: Identifikation eines charakteristischen Bruchsignals der transversalen Komponente/ Peak-Peak-Amplitude A_{pp} bzw. Bruch-Signal-Anstieg (BSA) [2] | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Einmessen des Spanngliedverlaufs (z.B. mittels Radar-Verfahren) 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) [4] <ul style="list-style-type: none"> - Magnetisierung des Spannglieds von der Betonoberfläche aus - Wegabhängige Messung der magnetischen Flussdichte an der Bauteiloberfläche entlang des Spannglieds - Fortsetzung von Magnetisierungs- und Messprozess bis ausreichende Anzahl verschiedener magnetischer Zustände des Spannglieds und seiner Umgebung für eine Aussage zu Spanndrahtbrüchen vorliegt 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| <p>Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)</p> | | | |
| <p>Technik 5/5</p> | <p>Zeit 2/5</p> | <p>Kosten 4/5</p> | <p>Fachwissen 5/5</p> |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- MobiRem-Messeinheiten (entwickelt an der TU Berlin) für großflächige Messungen [Link: https://zerstoerungsfreie-pruefungen.de/messtechnik.html]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>In [8] sind folgende Alternativen zum Remanenzmagnetismus angegeben:</p> <p>- Stufenweises Magnetisieren des Spannstahls [9] - Messung im aktiven Magnetfeld [10]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Remanenzmagnetismusverfahren oder magnetische Streufeldmessung. Magnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 29–31.</p> <p>[2] Scheel, H.; Hillemeier, B. (2004): Remanenzmagnetismus-Verfahren zur Ortung von Spannstahlbrüchen. In: Erich Czienski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 365–370.</p> <p>[3] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 157–202.</p> <p>[4] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 271-274.</p> <p>[5] Taffe, Alexander; Hillemeier, B.; Walther, Andrei (2010): Verifizierung moderner zerstörungsfreier Prüfverfahren an einem Abbruchbauwerk. Zustandsermittlung, Untersuchung und Verifizierung von Messergebnissen an einem 45 Jahre alten Spannbetonbauwerk. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (12), S. 813–820. DOI: 10.1002/best.201000067.</p> <p>[6] Hillemeier, B.; Walther, Andrei (2011): Die Überprüfung von Spannbetonkonstruktionen auf Unversehrtheit der Spanglieder. In: Bautechnik 88 (11), S. 805–810. DOI: 10.1002/bate.201101520.</p> <p>[7] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau (Hg.) (2011): Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden. (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion). Unter Mitarbeit von Gero Marzahn. Online verfügbar unter https://mobil.hessen.de/sites/mobil.hessen.de/files/content-downloads/ANHANG_C_XV_Handlungsanweisung_SpRK_Juni_2011.pdf.</p> <p>[8] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2017): Positionspapier. Magnetische Verfahren zur Spannstahlbruchortung. Unter Mitarbeit von DGzFP Fachausschuss für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen.</p> <p>[9] Sawade, Gottfried; Krause, Hans-Joachim (2010): Prüfung von Spannbetonbauteilen mit magnetischen Methoden. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (3), S. 154–164. DOI: 10.1002/best.200900075.</p> <p>[10] Walther, Andrei (2012): Vergleichende Signalinterpretation von Spannstahlbrüchen im remanenten und aktiven magnetischen Streufeld. Dissertation.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Wenn spannungsrissskorrosionsgefährdete Spannstähle nicht auszuschließen sind, dann muss [7] beachtet werden. Als besonders gefährdet eingestufte Spannstähle nach der Richtlinie „Empfehlung zur Überprüfung und Beurteilung von Brückenbauwerken, die mit vergütetem Spannstahl St 145/160 Neptun N40 bis 1965 erstellt wurden“ vom BMV im Jahr 1993 sowie weiteren Ergänzungen im Jahr 2012:

- vergüteter Spannstahl St 145/160 Neptun N40 bis 1965
- Sigma-Oval-Spannstähle der Produktion bis 1978
- vergütete Spannstähle aus dem Werk Hennigsdorf.

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Radar</p> | | Prüfaufgabe - Feuchteverteilung - Rückwand, - Bewehrung - Spannglieder | |
| engl.: RA dio D etection A nd R anging | | | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch Laufzeitmessung nach Erzeugung von elektromagnetischen Impulsen im Prüfkopf und deren Ausbreitung nach den Gesetzmäßigkeiten von elastischen Wellen im Bauteil. [Einseitige Messung am Bauteil mit Sender und Empfänger = Reflexionsanordnung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - schnelle Ortung von oberflächennaher Bewehrung zuverlässig bis zur zweiten Bewehrungslage [1] - Ortung von metallischen Hüllrohren auch hinter Bewehrung [1] - Feststellung des Aufbaus von mehreren Schichten [1] - Ortung von Objekten und Fehlstellen (Unterscheidung in metallische Reflektoren, luft- bzw. wassergefüllte Kunststoffrohre und größere Lufteinschlüsse) [1] - qualitative Bestimmung der Feuchteverteilung über Kalibrierung [1] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - eine hohe Betonfeuchte (bei jungem Beton) bewirkt geringere Eindringtiefen - keine Sicht hinter Stahl/ dicht bewehrte Bauteile mit Stababständen < 7 cm (durch Totalreflexion an Stahl) - für bessere Rückwandinformationen Stahlplatte anhalten - keine Information über Verpresszustand in Hüllrohren - keine eindeutige Detektion von Luftschichten, die nur wenige cm dick sind - Detektionsreichweite von Radarwellen in bewehrtem und unbewehrtem Beton: 1 bis 4 m [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Ortung von Objekten durch gezielte Abschattung oder direkte Reflexion (Verschieben oder Ausbleiben von Signalen liefern Hinweise auf Objekte) - Spannglieder hinter der zweiten Bewehrungslage, die in größerer Tiefe nicht parallel zur oberflächennahen Bewehrung verlaufen, können detektiert werden - Anpassung der Polarisationsrichtung der Antennen um oberflächennahe Bewehrung zu unterdrücken [4] - Alternative zur Betondeckungsmessung > 7 cm, allerdings mit geringerer Genauigkeit [5] Radar in Transmissionsanordnung mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des zu prüfenden Objekts wird für Spezialmessungen wie die Bestimmung materialbezogener Wellengeschwindigkeiten genutzt. - <u>Unterscheidung korrodierter und nicht korrodierter oberflächennaher Bewehrung (in USA publiziert)</u> | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Bauteiloberfläche muss trocken sein - es dürfen keine metallischen Gewebe in der Abdichtung vorhanden sein - Material und entsprechende Ausbreitungsgeschwindigkeit müssen bekannt sein - Kalibrierung der Laufzeit an Bauteil bekannter Dicke | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim RADAR- Verfahren werden elektromagnetische Impulse erzeugt und ausgesendet. "Die Wellenausbreitung im Bauteil hängt von der Verteilung der dielektrischen Eigenschaften ab. Auf ihrem Weg wird die Welle an Grenzflächen von Materialien mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften gestreut und reflektiert." [1] An metallischen Objekten wird die Welle vollständig reflektiert, es findet eine Totalreflexion statt. An den Grenzflächen zwischen Luft (Fehlstelle oder Rückwand) und Beton kommt es ebenfalls zu Reflexionen. Der Unterschied zwischen den Grenzschichten Beton/Luft und Beton/ Metall wird durch unterschiedliche Wellenauslenkungen/ Phasensprünge des Signals sichtbar. RADAR wird primär in der Reflexionsanordnung verwendet, das heißt, sowohl Sende- als auch Empfänger befinden sich in einer Messeinheit. Die Messungen werden in einem dichten Abstand von wenigen Millimetern weg- oder zeitgesteuert automatisch durch ein Messrad ausgelöst. An jedem Messpunkt wird die Amplitude der empfangenen Reflexionen über die Zeit aufgetragen (A-Bild), die Messung vieler Punkte nacheinander entlang einer Linie nennt sich Radargramm (B-Bild), die flächige Messung nennt sich Zeitscheibe (C-Bild). Eine Datenverarbeitung der Ergebnisse mit einer SAFT-Rekonstruktion durch Migration erzielt eine bessere bildgebende Darstellung der Ergebnisse. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + bessere Unterscheidbarkeit benachbarter Bewehrungsstäbe im Vergleich zu magnetisch induktiven Verfahren - keine Informationen hinter dicht verlegter Bewehrung im Vergleich zu Ultraschall +/- bei Ultraschall muss Material und entsprechende Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt sein, bei magnetisch induktiven Verfahren hingegen muss Bewehrungsdurchmesser bekannt sein | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Radar an Betontestkörper</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Radar an Betontestkörper: Auswertung</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <p>Radarmessgerät mit Antennenfrequenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $f_{\text{Radar}} > 1$ bis 2,5 GHz von 7,5 bis 30 cm Detektionstiefe für gute Auflösung (höhere Frequenz = geringere Eindringtiefe, höhere Auflösung) - $f_{\text{Radar}} < 1$ GHz bis 50 cm Detektionstiefe bei geringerer Auflösung (niedrige Frequenz = höhere Eindringtiefe, geringere Auflösung) - ggf. Hilfskonstruktion zur Führung des Radargerätes - ggf. Software zur digitalen Datenverarbeitung und Auswertung | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Laufzeit in [ns] - Zielgröße: Bauteildicke in [cm] - $d = v \times t/2$, $v = \lambda \times f$, $R = (v_2 - v_1) / (v_2 + v_1)$ - $v_{\text{Luft}} = 30 \text{ cm/ns}$, $v_{\text{Beton, trocken}} = 11-17 \text{ cm/ns}$, $v_{\text{Beton, feucht}} = 8 \text{ bis } 11 \text{ cm/ns}$ - Reflexionskoeffizienten: $R = +0,5$ Grenzschicht Beton/Luft, $R = -0,5$ Grenzschicht Beton/ Wasser, $R = -1$ Grenzschicht Beton/ Stahl (Totalreflexion) | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Festlegung der Frequenz bezüglich Eindringtiefe und Auflösungsvermögen - Festlegung der Messrichtung bezüglich der zu detektierenden Objekte 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Radar <ul style="list-style-type: none"> - Messung durch Abfahren der Oberfläche mit dem Radar-Prüfgerät - Plausibilitätskontrolle vor Ort 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Auswertung der Messergebnisse: Datenrekonstruktion (Migration/ SAFT) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weitere Verfahrenskombinationen mit Ultraschall, Thermographie etc. [1] | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 1/5 | 3/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>Hilti: PS 1000 X-Scan-System [Link: https://www.hilti.de/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r6436760?itemCode=2154110]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Radar in Transmissionsanordnung mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des zu prüfenden Objekts wird für Spezialmessungen wie die Bestimmung materialbezogener Wellengeschwindigkeiten genutzt.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2008): Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Merkblatt B 10. Aug. Februar 2008, überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 10).</p> <p>[2] Radar. Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 19–21.</p> <p>[3] Kurz, Jochen H. (2011): Bauwerkscanner zur automatisierten und kombinierten Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. In: Beton- und Stahlbetonbau 106 (4), S. 267–276. DOI: 10.1002/best.201100004.</p> <p>[4] Diersch, Norman; Kind, Thomas; Taffe, Alexander; Kurz, Jochen (2014): Untersuchung vorgespannter Brückenplatten unter Verkehr mit zerstörungsfreien Prüfverfahren. In: Beton- und Stahlbetonbau 109 (7), S. 444–452. DOI: 10.1002/best.201400010.</p> <p>[5] Vonk, Sarah; Taffe, Alexander (2019): Möglichkeiten und Grenzen der zukünftigen Anwendung von ZfP-Verfahren an Brücken- und Tunnelbauwerken (Radar_praxisnah). Auftragsforschung. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen.</p> <p>[6] Kind, Thomas; Maierhofer, Christiane (2004): Das Impulsradarverfahren - ein Verfahren zur zerstörungsfreien Strukturaufklärung. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 333–341.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>- Internationale Normen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM D6087 - 97e1, 2008: Test Method for Evaluating Asphalt-Covered Concrete Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar. - ASTM D4748 - 98, 2010: Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar. - ASTM D6429, 1999: Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. - ASTM D6432 - 11, 2011: Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

- **Internationale Veranstaltungen zum Radar-Verfahren:**

- International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR) seit 1986 (2018: 17th International Conference on Ground Penetrating Radar)


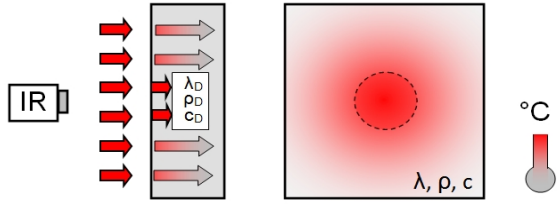
- Hinweis zum Nachweis der Mindestbetondeckung: DBV-Merkblatt: **Betondeckung und Bewehrung. Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2 (2015)**. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter).

Weitere Literaturhinweise zur **Betondeckung:**

- Brameshuber, Wolfgang; Schmidt, Hubert; Schröder, Petra; Fingerloos, Frank (2004): **Messung der Betondeckung – Auswertung und Abnahme**. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (3), S. 169–175. DOI: 10.1002/best.200490112.

- Schmidt, Hubert: **Auswertung rechtsschief verteilter Messwerte. Näherungsverfahren zur Parameterschätzung der Neville-Verteilung**. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2/2006 131. Jg., S. 72–80.

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Aktive/ Instationäre Thermographie</p> engl.: Active/ Transient Thermography | | Prüfaufgabe - Inhomogenitäten - Feuchteverteilung - Delaminationen | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch bildgebende Erfassung von Inhomogenitäten im oberflächennahen Bereich eines Bauteils durch einen gezielt veränderlichen Wärmefluss und lokale Temperaturunterschiede im Bauteil. - Oberflächenverfahren | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung und Lagebestimmung von Unregelmäßigkeiten und verdeckter Baustrukturen wie Hohlräumen, Fehlstellen, Risse, Einschlüsse und Schichtablösungen im oberflächennahen Bereich (bis 10 cm Tiefe) - Ortung von Verdichtungsmängeln (an Stahlbetonunterzügen) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Detektionskriterium: Verhältnis von Defektgröße zu Defekttiefe > 1 [10] - Prüfung bei Umgebungsbedingungen wie Regen, hohe Luftfeuchte und starker Wind sowie Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit, Feuchte und Verunreinigungen können das Prüfergebnis verfälschen - komplexe Geometrien mit starker Inhomogenität erschweren die Prüfung | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Verpressfehler in Hüllrohren [10] - Ortung von Rissen in Spanngliedern mit elektrischer Widerstandserwärmung [1] - selektive Erwärmung von Bewehrungsstäben mit Induktionsanregung (Induktionsthermographie) - großflächige Anwendung an Industriefußböden [11] | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Zugänglichkeit der Bauteiloberfläche für Erwärmungsprozess - trockene und windstille Umgebung | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung In der Thermographie wird zwischen aktiver und passiver Thermographie unterschieden. Die passive Thermografie wird in der Bauphysik angewandt und nutzt die Eigenwärme des Objektes für thermografische Messungen zur Ortung von Kälte- bzw. Wärmebrücken. Bei der aktiven Thermografie hingegen wird das Objekt gezielt mit entsprechenden thermischen Anregungstechniken erwärmt. So entsteht ein künstlich erzeugter , zeitlich und/ oder räumlich veränderlicher Wärmefluss (instationärer Wärmedurchgang durch Aufheiz- oder Abkühlvorgänge), der einen Temperaturgradient zur Oberfläche und/ oder Umgebung erzeugt. Der Temperaturgradient wird dadurch hervorgerufen, dass sich "bei einer äußeren Erwärmung die Wärme vor Fehlstellen im Bauteil anstaut, wenn die Fehlstellen einen geringeren Wärmeeindringkoeffizienten b [auch: Effusivität] als das umgebende Material haben." [10] Diese gezielten Erwärmungs- oder anschließenden Abkühlprozesse werden thermografisch analysiert. Die aktive Thermographie unterscheidet sich nach der zeitlichen Anregung in: [10] - Lock-in-Thermografie (LT): Anregung durch kontinuierliche sinusförmige Signale einer definierten Frequenz (periodische thermische Schwingungen) und Auswertung durch Messung der Zeitverzögerung (Phase) und der Amplitude des Antwortsignals für die entsprechende Frequenz (nicht praxistauglich für das Bauwesen, weil die Aufnahmezeit um die 24 Stunden andauert) - Impuls-Thermografie (IT): Anregung durch einen thermischen Impuls mit einer großen Anzahl an unterschiedlichen Frequenzen und Auswertung im Zeitbereich über die Temperaturdifferenz - Puls-Phase-Thermographie (PPT): eine Weiterentwicklung der Impuls-Thermographie, Anregung wie bei der IT durch einen thermischen Impuls, Auswertung durch Thermogrammserie, um mittels einer Fouriertransformation die Phasenversögerung der lokalen Wärmeausbreitung im Bild festzuhalten | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + vollständig zerstörungs- und berührungsfrei + Einführung der instationären und aktiven Verfahren in die Bauthermografie macht alte Einschränkung auf Heizsaison und gleichzeitig kühle Klimazonen überflüssig + durch PPT erzielte Thermogramme liefern ein sehr gutes Signal-Rausch-Verhältnis und somit eine höhere Nachweisempfindlichkeit der Defektgeometrie und bessere Tiefenauflösung als die IT - je tiefer die Objekte liegen, desto länger die Aufwärm- und Beobachtungszeiten (bis zu 1 Stunde), dadurch thermische Belastung des Untersuchungsobjekts | | | |

| Messmethode | | | |
|--|---|---|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Aktive Thermographie an Betontestkörper</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p> |  | <p>Messergebnisse</p> <p>Aktive Thermografie: Schema</p> <p>© A. Taffe, HTW Berlin</p> <p>[7]</p> <div style="text-align: center;">  </div> | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Infrarotkamera (IR-Kamera) mit Zubehör wie Speicherkarte und Stativ - Computer zur digitalen Aufzeichnung - Temperatur- und Luftfeuchtemesser - ggf. Stromanschluss und Kabeltrommel - Thermische Anregungsquelle: <ul style="list-style-type: none"> - Wärmestrahlung (Sonneneinstrahlung, Infrarotstrahler, Halogenlampe, Blitzlampe) - Konvektion (Heizlüfter, Heißluftpistole, Bautrockner, Blower Door) - Wärmeleitung (Heizmatten, Kühlkissen) - elektromagnetische Induktion/ elektrischer Strom | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatur-Zeit-Kurve: Verlauf der Temperatur T in [°C] über die Zeit t in [s] - Temperaturkontraste in den aufgenommenen Thermogrammen als qualitative Auswertung - Auswertung von Temperatur-Zeit-Kurven/ Transienten als quantitative Informationen | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl des Prüfsystems: Festlegung der thermischen Anregungsquelle und einer geeigneten IR-Kamera - Festlegung der Prüfbereiche, der Prüfsystematik und der Positionierung des Prüfsystems - Festlegung der geforderten Genauigkeit der Ergebnisse (die aufwändigere PPT für sehr subtile Signale oder hohe Ergebnisqualität; die weniger aufwändige IT für den Normalfall) - Festlegung der Art der zeitlichen Anregung (Impulsdauer) und der räumlichen Anregung <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Thermographieprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme der Thermogramme <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und Beschreibung der Umgebungsbedingungen - Erfassung von einer Sequenz von Thermogrammen - Auswertung von vollständigen thermischen Sequenzen, einzelnen Thermogrammen oder Transienten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 2/5 | 4/5 | 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - InfraTec GmbH [https://www.infratec.de/thermografie/anwendungsgebiete/aktive-thermografie/] - edevis GmbH [https://www.edevis.com/content/de/active_thermography.php] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Induktions-Thermographie: Aufheizen der Bewehrungsstäbe zur Bewehrungsortung |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (2013): Merkblatt über das aktive Thermographieverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Merkblatt B 05. Ausgabe April 2013. Berlin: DGZfP.</p> <p>[2] Infrarot-Thermografie. Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 21–23.</p> <p>[3] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2014): Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen. überarb. Ausg. April 2014. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 02).</p> <p>[4] Dittiè, Georg (23. und 2006): Vortrag 10 - Thermografie in Tunnelbauwerken. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Berichtsbände, 100).</p> <p>[5] Thiemann, Christian; Zäh, Michael (2011): Vortrag 12 - Zerstörungsfreie Prüfung durch aktive Thermografie im kontinuierlichen Bauteildurchlauf. In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): Thermographie-Kolloquium.</p> <p>[6] Dittiè, Georg (2016): Vortrag 17 - Neue Anwendungen der aktiven Bauthermografie. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Berichtsbände, 157-Stick).</p> <p>[7] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 255–280.</p> <p>[8] Dittiè, Georg (2015): Infrarot & Thermografie. Online verfügbar unter http://www.thermografie.de/.</p> <p>[9] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 157–202.</p> <p>[10] Arndt, Ralf; Hillemeier, Bernd; Maierhofer, Christiane; Rieck, Carsten; Röllig, Mathias; Scheel, Horst; Walther, Andrei (2004): Zerstörungsfreie Ortung von Fehlstellen und Inhomogenitäten in Bauteilen mit der Impuls-Thermografie. In: Bautechnik 81 (10), S. 786–793. DOI: 10.1002/bate.200490185.</p> <p>[11] Hillemeier, B.; Walther, Andrei: Poster 49 - Impuls-Thermografie zur Ortung von Hohlräumen in Estrichen. In: DGZfP-Jahrestagung 2007, S. 1–2. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp07/Inhalt/p49.pdf.</p> <p>[12] Vogdt, Frank; Walsdorf-Maul, Manuela; Maierhofer, Christiane; Röllig, Mathias; Walther, Andrei (2009): Die aktive Thermografie ein Beitrag zur Qualitätssicherung im Bauwesen. In: Thermographie-Kolloquium 2009, Stuttgart.</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM D4788, 2013: Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography. |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Infrarotthermographieprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "TT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Infrarotthermographieprüfung durchzuführen. |

Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)

- DIN EN 16714-1, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 1: Allgemeine Grundlagen.
- DIN EN 16714-2, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 2: Geräte.
- DIN EN 16714-3, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 3: Begriffe
- DIN EN 17119, 2018-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Aktive Thermografie.
- DIN 54183, 2018-02: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Induktiv angeregte Thermografie.
- DIN 54184, 2017-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Impulsthermografie mit optischer Anregung.
- DIN 54185, 2018-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Lock-in-Thermografie mit optischer Anregung [Entwurf]

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Durchstrahlungsprüfung / Radiographie engl.: Radiographic Testing/ Radiography | | Prüfaufgabe - Inhomogenitäten - Bewehrung (Stahlbeton) - Spannglieder | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils durch unterschiedliche Schwächung (Absorption) von ionisierender Primärstrahlung durch Dichte-, Dicken- und Materialunterschiede im Bauteil. - Volumenverfahren | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung der Lage der Bewehrung, des Verlaufs von Spanngliedern und Verpresszustand von Hüllrohren [6] - Bestimmung Bewehrungsdurchmesser und Detektion von Bewehrungs mit Querschnittsverlusten [6] - Nachweis von Fehlstellen und Verdichtungsmängeln im Beton [6] - Einsatz an Bauteilen mit hoher Standsicherheits-Relevanz, die eine detaillierte Darstellung des Untersuchungsbereichs erfordern [4] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Röntgenröhre bis Bauteildicke $d < 30$ cm (Belichtungszeit ca. 30 Min.) [6] - Gammastrahler mit Radionukliden Iridium bis $d < 40$ cm oder Kobalt bis $d < 60$ cm (Belichtungszeit ca. 5 Min.) [6] - Betatrone oder Linearbeschleuniger bis Bauteildicke $d < 100$ cm (Belichtungszeit < 1 Min.) [6] - Verpresszustand von Hüllrohren bis ca. 20 cm Betondicke [6] - Entfernen des Fußbodenaufbaus beim Nachweis von Stützbewehrung bei großer Bauteildicke [6] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Ermittlung der Tiefenlage von Bewehrung (durch mind. 2 Aufnahmen mit unterschiedlicher Bestrahlungsrichtung) [1] - Vermessung der inneren Konstruktion (durch Aufnahmen aus mehreren Winkeln durch Mehrwinkeltechnik oder Laminografie) [1] - Verifizierung von Verpressfehlern bei einer Dicke < 60 cm [1] - <i>Feststellung von Korrosion an kleinen Proben (eher als wissenschaftliche Anwendung)</i> | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - beidseitige Zugänglichkeit des zu untersuchenden Bauteils - Gefahrgutverordnung für Transport der Radionuklide erforderlich - Absperrung des Prüfbereichs | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Bei der Durchstrahlungsprüfung wird auf der einen Seite des zu untersuchenden Bauteils eine Strahlenquelle, Röntgenröhre oder radioaktive Strahlenquelle im Gammabereich, gemäß der zu untersuchenden Bauteildicke aufgestellt. Die ausgehende ionisierende Strahlung wird durch Dichte-, Dicke- und Materialunterschiede unterschiedlich geschwächt. Die innere Struktur des Bauteils wird in einer bildgebenden Aufnahme in verschiedenen Graustufen dargestellt. Beton wird auf Grund der geringeren Dichte i.d.R. schwarz dargestellt, die Bewehrung auf Grund der höheren Dichte und größeren Absorption in Grautönen. Auf der gegenüberliegenden Bauteilseite wird diese abgeschwächte Primärstrahlung mittels Röntgenfilmen, Speicherfolien, Fluoroskopen, Bildverstärkern oder Flachdetektoren detektiert und aufgenommen. [2] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + berührungslos und komplett zerstörungsfrei + auch bei engmaschiger und mehrlagiger Bewehrungsanordnung genaueste Ergebnisse [6] + Erkennen von nicht ordnungsgemäß verlegter Bewehrung [6] - Verkehrseinschränkung während der Prüfung durch Strahlenschutz - Transport von Gefahrgut | | | |

| | | | |
|--|-------------|---------------|-------------------|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau Radiographie: Prinzipskizze © A. Taffe, HTW Berlin [3] | | | |
| Messgeräte - Strahlenquelle (in Abhängigkeit von Bauteildicke): [2,6] - Röntgenröhre - Gammastrahler mit dem Radionukliden Iridium oder Kobalt - Betatrone oder Linearbeschleuniger - Bildaufnahmesystem: Röntgenfilm, Speicherfolie, Fluoroskop, Bildverstärker, Flachdetektor [2] - Steuergerät zur Regelung der Spannung und Stromstärke für die Strahlungsintensität und –energie [6] - Stromanschluss | | | |
| Messgröße und Zielgröße - Rekonstruktion und Darstellung der verschiedenen Strahlungsintensitäten in bildgebender Form - Festgelegte(s) Merkmal(e): z.B. Risse, innenliegende Fehler - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen und Lage einer Schadstelle usw. | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung [1, DGZfP B02] - Wahl der Strahlungsenergie und Strahlenquelle sowie Aufnahmetechnik (z.B. Röntgenfilm, digitale Speicherfolien) - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Aufnahmeanordnung - Ermittlung der Belichtungszeit - Festlegung des abzusperrenden Bereichs auf Grund der Strahlenschutzverordnung 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Durchstrahlungsprüfung - Analoge Filmtechnik: Filmverarbeitung (Entwicklung, Zwischenwässerung, Fixierung, Schlusswässerung, Netzmittelbad, Trocknung) - Anbringen des Bildgütetests 4. Auswertung und Dokumentation - Protokollierung der Durchführung - ggf. Bildbearbeitung der eingescannten Durchstrahlungsfilm mit Hilfe von speziellen Bildverarbeitungssystemen verbessert die Aussagekraft - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 5/5 | Zeit 3/5 | Kosten 5/5 | Fachwissen 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Yxlon International GmbH: Evo-Reihe [https://www.yxlon-portables.com/products] - X-RAY WorX GmbH [https://www.x-ray-worx.com/x-ray-worx/index.php] - Graetz Strahlungsmeßtechnik GmbH: Messgeräte für den persönlichen Strahlenschutz, z.B. ED150 [http://www.graetz.com/produkte.html] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - alternative Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - magnetisch induktive Verfahren (Magnetisches Wechselfeld) oder - Radar (elektromagnetisches Verfahren) - Koplanare Translations-Laminografie [2] - Neutronen-Computer-Tomographie [7] |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Durchstrahlungsprüfung (RT) (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht.</p> <p>[2] Radiographie (Durchstrahlungsprüfung). Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV)(DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 23–24.</p> <p>[3] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 255–280.</p> <p>[4] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 157–202.</p> <p>[5] Kaschmierzeck, K.-D.; Kappahn, G.; Liesaus, R. (1999): Plakat 11 - Durchstrahlungsprüfung im Bauwesen-Erfahrungen aus der Praxis. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V - Berichtsbände, 66-CD).</p> <p>[6] Kappahn, G. (2005): Vergleich verschiedener ZfP - Verfahren zur Bewehrungsortung. In: 3. Symposium "Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen". Dresden, S. 1–11.</p> <p>[7] Bergmeister, Konrad; Santa, Ulrich (2004): Brückeninspektion und -überwachung. Zerstörungsfreie Prüfverfahren für Bauwerkselemente. In: Konrad Bergmeister und Johann Dietrich Wörner (Hg.): Beton-Kalender. Brücken - Parkhäuser. Band 1. 1 von 2. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn (93), S. 428–433.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-3, 1997-10: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 3: Begriffe der industriellen Durchstrahlungsprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Durchstrahlungsprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "RT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Durchstrahlungsprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 14784-1, 2005-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien – Teil 1: Klassifizierung der Systeme. [Teil 2: zurückgezogen] - DIN EN 16016-01, 2011-12: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 1: Terminologie - DIN EN 16016-2, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben - DIN EN 16016-03, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 3: Durchführung und Auswertung - DIN EN 16016-04, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 4: Qualifizierung - DIN EN 13068-1, 2000-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 1: Quantitative Messung der bildgebenden Eigenschaften - DIN EN 13068-2, 2000-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 2: Prüfung der Langzeitstabilität von bildgebenden Systemen |

- EN 13068-3, 2001-12: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen
- DIN EN 25580, Zerstörungsfreie Prüfung — Betrachtungsgeräte für die industrielle Radiographie — Minimale Anforderungen
- DIN EN ISO 15708-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 1: Terminologie [Entwurf]
- DIN EN ISO 15708-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben
- DIN EN ISO 15708-3, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 3: Durchführung und Auswertung
- DIN EN ISO 15708-4, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 4: Qualifizierung
- DIN EN ISO 10675-1, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen für die Durchstrahlungsprüfung – Teil 1: Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen. [Teil 2: Aluminium]
- DIN EN ISO 19232-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 1: Bildgüteprüfkörper (Drahtsteg) — Ermittlung der Bildgütezahl
- DIN EN ISO 19232-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 2: Bildgüteprüfkörper (Stufe/Loch Typ) — Ermittlung der Bildgütezahl
- DIN EN ISO 19232-4, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 4: Experimentelle Ermittlung von Bildgütezahlen und Bildgütetabellen
- DIN EN ISO 20769-1, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Durchstrahlungsprüfung auf Korrosion und Ablagerungen in Rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen – Teil 1: Tangentiale Durchstrahlungsprüfung.
- DIN EN ISO 20769-2, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Durchstrahlungsprüfung auf Korrosion und Ablagerungen in Rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen – Teil 2: Doppelwand-Durchstrahlungsprüfung.

Röntgenfilme (37.040.25)

- DIN EN ISO 11699-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Klassifizierung von Filmsystemen für die industrielle Durchstrahlungsprüfung [Ersatz für DIN EN 584-1:1994-10]
- DIN EN ISO 11699-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Kontrolle der Filmverarbeitung mit Hilfe von Referenzwerten
- DIN EN 14096-1, 2003-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung von Röntgenfilm-Digitalisierungssystemen - Teil 1: Definitionen; quantitative Messung von Bildqualitätsparametern; Standard-Referenzfilm und Qualitätssicherung
- DIN EN 14096-2, 2003-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung von Röntgenfilm-Digitalisierungssystemen - Teil 2: Mindestanforderungen

Merkblätter DGZfP

- DGZfP - B02, 2014: Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsart an Stahl- und Spannbetonbauteilen.

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes S 1 13

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung)

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Röntgendiffraktometrie engl.: X-Ray Diffraction XRD | | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Chemische Elementanalytik | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Feinstrukturuntersuchung von Kristallen in mineralischen Baustoffen mit Hilfe der Beugung von Röntgenstrahlung. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Standard-Analyse im Labor zur Identifikation und Lokalisierung von mineralischen, kristallinen Phasen (wie z.B. Ettringit und Thaumasit, die zu Treiberscheinungen in der Betonmatrix führen) [1] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Ettringit und Thaumasit bilden Mischkristalle, was eine ausreichende Identifizierung mittels alleiniger Röntgendiffraktometrie schwierig macht (wegen unüberschaubarer Kombination an Verbindungen und überlagernder Röntgenreflexe) und ein optimal justiertes Messsystem voraussetzt [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - Materialprobe des zu untersuchenden Bauteils ist notwendig | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Bei der Röntgendiffraktometrie wird eine Materialprobe mittels monochromatischer Röntgenstrahlung untersucht. "Die Strahlung wird an den dreidimensional regelmäßig angeordneten Atomen eines kristallinen Festkörpers gestreut, so dass sich die von jedem Atom ausgehenden Elementarwellen in definierten Richtungen zu konstruktiver Interferenz überlagern. Die so entstehenden gebeugten Wellen können vereinfacht als Reflexion an 'Netzebenen' innerhalb des Kristalls interpretiert werden. [...] Dieser „Netzebenenabstand d“ ist bestimmend für den Gangunterschied [...] der interferierenden Röntgenstrahlung. Nur wenn der Gangunterschied ein Vielfaches der Wellenlänge der verwendeten Röntgenstrahlung ist, kommt es zu konstruktiver Interferenz und damit zu abgebeugter Strahlung. [...] Aus den Beugungswinkeln eines Röntgendiagramms können dann die vorliegenden kristallinen Phasen identifiziert werden." [1] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - nur bedingt zerstörungsfrei durch Probeentnahme - Labormethode | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| Messgeräte - Röntgendiffraktometer bestehend aus: - Röntgenröhre - Goniometer - Detektor - ggf. automatischer Probenwechsler - Stromanschluss für Röntgendiffraktometer | | | |
| Messgröße und Zielgröße - Darstellung der Mineralphasen in einem Röntgendiffraktogramm [2] | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen - Festlegung einer repräsentativen Probeentnahmestelle 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) - Probeentnahme durch Bohren (Bohrmehl) oder direkt von sichtbaren Ausblühungen [2] - Probenpräparation: Herstellen der für das Messgerät notwendigen Geometrie - Vorbereitung der Prüfung: Ausrichten und Fokussieren des Röntgenstrahls auf die Probe - Durchführung der Analyse: Bestrahlung der Probe 4. Dokumentation - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 5/5 | 5/5 | 4/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Malvern Panalytical GmbH: Aeris Cement Edition [https://www.malvernpanalytical.com/de/products/product-range/aeris-range/aeris-cement-edition/]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Göske, Jürgen; Pöllmann, Herbert; Wenda, Richard (2007): Ettringit- und Thumasitreiben in Betonwerkstoffen: Analytische Betrachtung und Ursachenermittlung mittels Röntgendiffraktometrie und Rasterelektronenmikroskopie. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (5), S. 321–329. DOI: 10.1002/best.200708200.</p> <p>[2] Platts, Thomas (2012): Feuchtediagnostik in Bauwerken. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 401–418.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <p>- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</p> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <p>- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <p>- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <p>- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</p> |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>Das Verfahren "Röntgendiffraktometrie" ist nicht als Verfahren bei den für ZfP-Bau bekannten Literaturquellen wie den DBV- oder DGZfP- Merkblättern aufgeführt. Auch in den weiteren Standardwerken wie dem Handbuch Bauwerksprüfung findet das Verfahren keine Erwähnung.</p> <p>- Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung)</p> |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren Neutronenrückstreuverfahren mit Neutronensonde/ Isotopensonde/ Troxler-Sonde engl.: Nuclear Gauge/ Troxler-Gauge | | Prüfaufgabe - Feuchteverteilung: Feuchtegehalt | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Feuchtebestimmung für die qualitative Einschätzung des Feuchtegehalts eines Bauteils mittels Aussendung von schnellen Neutronen, die an Wasserstoffkernen gebremst werden, und Messung der langsamen Neutronen, die ein Maß für den Wassergehalts des Mediums darstellen [Indirektes Feuchtemessverfahren: Radiometrisches Verfahren] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Feuchtegehalt im Baustoff [3] - Regelanwendung im Grundbau zur Bestimmung des Feuchtegehalts in Böden [3] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Eindringtiefe liegt bei ca. 20 - 30 cm [1,2] - eingelagerte Salze, Bewehrungsstäbe oder andere leitende Materialien beeinflussen Messung nicht [1,2] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Verwendung von Gammastrahlen für Dichtemessungen (auch für Hohlraumortung und Verdichtungsmängel) - Kalibrierung des Messverfahrens mit der Darr-Methode ist unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Neutronensonde möglich.[2] | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - Gefahrgutverordnung für Transport der Neutronensonde erforderlich - Erstellung von Kalibrierkurven [2] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung "Bei dem Neutronenrückstreu-Verfahren zur Feuchtebestimmung von Baustoffen [bzw. Bauteilen] werden schnelle Neutronen, also Neutronen mit hoher kinetischer Energie, in den Baustoff eingestrahlt. Diese Neutronen treten mit den Atomen des Baustoffs in Wechselwirkung. Dabei kommt es zu Streuungen, Diffusion und vor allem zu einer Abbremsung der schnellen Neutronen, wobei Wasserstoffkerne die schnellen Neutronen am wirksamsten abbremsen. [...] Damit ist auch der Energieverlust, den ein Neutron beim Stoß mit einem Wasserstoffatom erfährt, am größten. [...] Wenn also ein feuchter Stoff mit schnellen Neutronen bestrahlt wird, so lässt die Intensität der sich ergebenden langsamen Neutronenrückstrahlung Rückschlüsse auf die Menge der vorhandenen Wasserstoffatome und damit auf die Feuchte des Bauteils zu. [...] Gemessen wird der Wasserstoffanteil der im Messvolumen befindlichen Bauteile. Dies hat zur Folge, dass bei dem Neutronenrückstreuverfahren neben dem freien und physikalisch gebundenen Wasser auch das chemisch gebundene Wasser mitgemessen wird. Bei Kalibrierungen des Messgerätes ist daher der Grundpegel, der aus dem Wasserstoffanteil des trockenen Baustoffs resultiert, jeweils zu berücksichtigen. [...] Der Zerfall radioaktiver Stoffe, der für die Erzeugung der benutzten Strahlung erforderlich ist, geht nicht kontinuierlich vonstatten. Für die Neutronenfeuchtemessung bedarf es daher einer Mehrfachmessung und Mittelwertbildung." [2] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + große Eindringtiefe/ großes Messvolumen für tatsächliche Feuchtigkeitsaussagen über das Bauteil [2] - großes Messvolumen als integraler Wert über das Porenvolumen, deswegen keine Ortsauflösung [2] + Möglichkeit der Langzeitbeobachtung von Abtrocknungs- oder Befeuchtungsprozessen [2] + unabhängig von elektrischer Leitfähigkeit des Baustoffs [2] - Verfahren ist mit großem Aufwand (Strahlenschutzbestimmung) verbunden -> Einsatz nur im Sonderfall [2] | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| Messgeräte - Neutronensonde/ Isotopsonde/ Troxler-Sonde mit Strahlenquelle (Neutronen- oder Gammastrahler) und integriertem Zählrohr | | | |
| Messgröße und Zielgröße - Messgröße: pro Zeit erzeugte Anzahl an langsamen Neutronen - Zielgröße: Volumenfeuchte u_v , der Wasserstoffanteil der im Messvolumen befindlichen Bauteile (wird vollautomatisch im Gerät ausgewertet) | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen - ggf. Organisation eines Gefahrguttransporters 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) <ul style="list-style-type: none"> - systematisches Abfahren mit der Sonde 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 5/5 | 5/5 | 5/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Troxler Electronic Laboratories, Inc.: RoadReader 3450 Thin-layer & Full Depth Density</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Kernspinnresonanz/ NMR-Verfahren: NMR-MOUSE® - Nuclear Magnetic Resonance Mobile Universal Surface Explorer (entwickelt am Institut für Technische und Makromolekulare Chemie der RWTH Aachen Universität) [5,6]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Kruschwitz, Sabine (2014): Vortrag 5 - Feuchtemessung im Bauwesen - ein Überblick. Fachtagung Bauwerksdiagnose. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. Berlin, 2014.</p> <p>[2] Rieche, Günter (Hg.) (2004): Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.</p> <p>[3] Moschig, Guido F. (2014): Bausanierung. Grundlagen - Planung - Durchführung. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.</p> <p>[4] Platts, Thomas (2012): Feuchtediagnostik in Bauwerken. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 401–418.</p> <p>[5] Keil, Alessandra; Orłowsky, Jeanette; Raupach, Michael (2011): Einsatz eines mobilen NMR-Sensors als zerstörungsfreies Messsystem in der Bauwerkserhaltung. In: Bautechnik 88 (11), S. 741–748. DOI: 10.1002/bate.201101499.</p> <p>[6] Schulte Holthausen, Robert; Raupach, Michael (2018): Neue Einsatzmöglichkeiten einseitiger Kernspinnresonanzmesstechnik in der Baustoffforschung. In: Bautechnik 95 (4), S. 308–315. DOI: 10.1002/bate.201700114.</p> <p>[7] ASTM D6938 - 17a Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <p>- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</p> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <p>- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <p>- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <p>- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</p> |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>- Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung)</p> <p>- Feuchtemessverfahren unterscheiden sich in direkte und indirekte Verfahren:</p> <p>Die direkten Verfahren liefern einen quantitativen Wert über den Feuchtegehalt; sie benötigen keine weiteren Eichmessungen, werden aber baustoffzerstörend durchgeführt. Die indirekten Verfahren liefern ohne weitere Eichmessungen nur qualitative Werte über den Feuchtegehalt bzw. die Feuchteverteilung; sie können allerdings zerstörungsfrei durchgeführt werden. Nach [1] lassen sich die direkten und indirekten Verfahren weiter unterteilen:</p> |

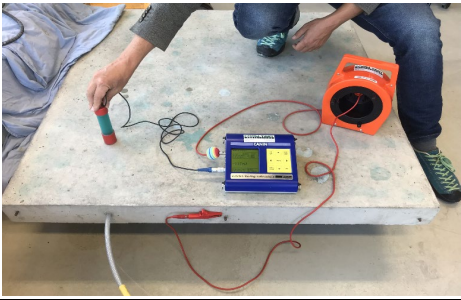
Direkte Verfahren

- Darr-Wäge-Verfahren
- Calcium-Carbid-Methode CM

Indirekte Verfahren

- 1 Elektrische Verfahren
 - Widerstandsverfahren/ Geoelektrik
 - Kapazitive Verfahren:
 - Impuls-Radar
 - Mikrowellenverfahren
 - Mikrowellen-Bohrlochverfahren
 - Time Domain Reflectometry TDR)
- 2 Radiometrische Verfahren
 - **Neutronenrückstreuung**
 - Nuklearmagnetische Resonanz NMR
- 3 Thermische Verfahren
 - Infrarot-Thermographie
- 4 Hygrometrische Verfahren
 - Ausgleichsfeuchtesonde

| | |
|--|--|
| Physikalische Grundlage | Elektrochemisches Messprinzip |
| Verfahren Potentialfeldmessung/ Potentialmessung engl.: Potential Mapping | Prüfaufgabe - Korrosionsaktive Bereiche |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch ortsaufgelöste (Spannungs-) Messung der Potentialdifferenz zwischen einer auf der Betonoberfläche aufgesetzten Bezugslektrode (mit einem definiertem Referenzpotential) und dem Bewehrungskorb des Betons über eine freigelegte Anschlussstelle (schadfreie Bewehrung) und anschließende Bewertung der Spannungsgradienten zwischen benachbarten Messstellen. | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von Bereichen mit erhöhter Korrosionswahrscheinlichkeit (korrosionsaktive Bereiche) im Fall von chloridinduzierter Bewehrungskorrosion (Lochfraßkorrosion) als Momentaufnahme der Korrosionsaktivität zum Messzeitpunkt | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - keine Rückschlüsse auf Korrosionsgeschwindigkeit und auf korrosionsbedingten Querschnittsverlust - nicht für Spanndrahtbrüche geeignet (maximal die Ortung von Bereichen erhöhter Korrosionswahrscheinlichkeiten des metallischen Hüllrohrs möglich) - keine Ortung von Schäden ohne laufenden Korrosionsprozess (z.B. eingeschlafene Korrosionsaktivität oder wegkorrodierte Bewehrung) - keine Anwendung bei elektrolytisch isolierenden Beschichtungen (z.B. Bitumen oder Kunststoff) auf der Betonoberfläche oder der Bewehrung | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - bei Messungen mit einer Betondeckung > 10 cm und/ oder Messungen an der der Bewehrungsseite abgewandten Bauteiloberfläche sind Probemessungen mit anschließender Verifizierung der Ergebnisse notwendig (maximale Wirkungstiefe: ca. 20 cm, in Einzelfällen u.U. auch mehr) - indirekte Information über die Feuchteverteilung, weil Feuchte die Potentialwerte beeinflusst | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Freilegen von mind. einer Kontaktstelle zur Bewehrung/ Nutzung einer vorhandenen Erdung bei sichergestellten Durchführungen - Entfernen von nicht leitenden Beschichtungen / Abdichtungen - ggf. Anfeuchten der Betonoberfläche zur Verbesserung der elektrolytische Leitfähigkeit des Betons (vorteilhaft: durch bauseitigen Wasseranschluss) | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Die Potentialfeldmessung erfolgt zwischen einer Bezugslektrode mit festem, bekannten Potential als ortsveränderlicher Referenzpunkt für die Messungen und einem direkten Anschluss an die elektrisch leitende Bewehrung mit unbekanntem Potential am Referenzpunkt. Durch gezieltes Versetzen der Bezugslektrode wird ein beliebiges Raster an Messpunkten (Potentialfeld) aufgenommen. Die an der Betonoberfläche mit einem hochohmigen Spannungsmessgerät aufgenommenen Potentialwerte ermöglichen Rückschlüsse auf die Korrosionsaktivität der Bewehrung. Starke örtliche Änderungen des Potentials (Gradienten), sogenannte Potentialrichter, in negativer bzw. positiver Richtung auf einer Messstrecke von 10 -50 cm liefern Hinweise auf aktive Bewehrungskorrosion. Weiterführende Untersuchungen wie Bestimmung von Chloridprofilen, Betondeckungsmessungen, Erstellung von Sondierungsöffnungen sind zwingend zur Bewertung der Messergebnisse erforderlich. Die Bewertung der Messung erfolgt durch einen Spezialisten mit Kenntnissen der elektrochemischen Prozesse bei Bewehrungskorrosion in Beton. | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - viele Einflussparameter (Chloridgehalt, Betondeckung, Feuchtegehalt, Zementart, Risse, Beschichtungen und Betontemperatur) beeinflussen die Messung - zur Bewertung der Messergebnisse sind zusätzliche Untersuchungen wie z.B. Bohrmehlanalyse, Betondeckung und Sondierung der Bewehrung erforderlich | |

| Messmethode | | | |
|--|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Potentialfeldmessung an Betontestkörper</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Potentialfeldmessung an Betontestkörper: Auswertung</p> <p>S. Vonk/ J. Wiese, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bezugs-/ Referenzelektroden aus Metall-/ Metallionenelektroden (üblich: Kupfer-/ Kupfersulfat-Elektrode, möglich auch Quecksilber-/ Quecksilberchlorid-Elektrode, Silber-/ Silberchlorid-Elektrode) als <ul style="list-style-type: none"> - Punkt- und Stabelektroden für Einzelmessungen oder - (Mehr-) Radelektrodensysteme für flächige oder linienförmige Messungen - hochohmiges Spannungsmessgerät (Voltmeter) bzw. herstellerspezifisches Gerät sowie Kabel und Zange | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Negative Potentiale in [- mV] (üblicherweise zwischen - 100 bis - 600 mV) bei potentialrichtigem Anschluss (Minus-Pol des Voltmeters an der Bewehrung) - korrosionsaktive Bereiche werden i.d.R. durch ortsabhängige Potentialgradienten / Potentialtrichter, in denen das Potential 200 bis 400mV negativer ist als in den umliegenden Bereichen, sichtbar | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Festlegung Messraster: 25 x 25cm sinnvoll für flächige Bauteile - Messfeldeinteilung: Messfeldgröße bis mehrere Hundert Quadratmeter, einfache geometrische Form, Messfeldursprung und Messrichtung eindeutig am Bauwerk festlegen - Vorbereitung der Betonoberfläche: Reinigung und ggf. gleichmäßige Befeuchtung der Betonoberfläche <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung der Messeinrichtung und der Bezugslektrode: Kalibrierung der Bezugslektroden und Funktionsprüfung der gesamten Messeinrichtung - Kontaktierung der Bewehrung: Punktuelle Freilegung der Bewehrung an mind. zwei Stellen und Messen des elektrischen Widerstands, um Durchkontaktierung der Bewehrung zu verifizieren <p>4. Dokumentation [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Einflüsse und Fehlerquellen: Betondeckung, Feuchtgehalt Beton, Schichten mit hohem elektrischen Widerstand (z.B. Reparaturmörtel), freiliegende Bewehrung und Einbauteile sowie tieferegehende Risse können Verschiebung der Potentiale ins Positive/ Negative bewirken - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis: Flüssigkeit aus Bezugslektrode läuft mitunter aus und hinterlässt Flecken auf der Betonoberfläche. Zum Schutz kann ein angefeuchtetes Baumwolltuch als Elektrolytbrücke verwendet werden. | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Proceq: Profometer Corrosion (als direkter Nachfolger des Canin+) [2]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Differenzpotentialfeldmessung: Direkte Messung der Spannungsdifferenz zwischen mehreren extern auf die Betonoberfläche aufgesetzten Elektroden bzw. den Messstellen [6]</p> <p>- Galvanostatische Pulsmessung/ Polarisationsmessung: Messung der Potentialänderung nach Aufbringen eines kurzzeitigen anodischen Gleichstromimpuls über eine Gegenelektrode an einer Messstelle; bei geringer Potentialänderung lässt sich auf aktive Korrosion schließen; Verifizierungsprüfung für die klassische Potentialfeldmessung [7], [8]</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (2014): Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion. 3. überarbeitete Ausgabe. Berlin (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 03).</p> <p>[2] Proceq SA (Hg.) (2016): Die Komplettlösung für die Bewehrungs- und Korrosionsanalyse. Online verfügbar unter https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Profometer%20Sales%20Flyer_German_high.pdf.</p> <p>[3] Walther, Andrei; Hasenstab, Andreas (2012): Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012, Bd. 18. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Kapitel 7, S. 186-188.</p> <p>[4] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 267-269</p> <p>[5] Chemische bzw. elektrochemische Verfahren (Potentialfeldmessung) (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 29–31.</p> <p>[6] Stoppel, Markus (2011): Differenzpotentialfeldmessung in der automatisierten Prüfung von Stahlbetonbauteilen. Berlin (BAM-Dissertationsreihe, 75). Online verfügbar unter https://d-nb.info/1122647948/34.</p> <p>[7] Mietz, J.; Burkert, A. (2004): Elektrochemische Verfahren zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion. Grundlagen und Bewertung der galvanostatischen Pulsmessung. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 379–385.</p> <p>[8] Kosalla, Marc; Raupach, Michael (2018): Untersuchungen zum Einfluss einer anodischen Polarisation auf das Depassivierungsverhalten von Bewehrungsstahl in Beton. In: Beton 12/2018, 2018, S. 422–425.</p> <p>[9] Sodeikat, Christian (2010): Merkblatt B3 - Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (8). S. 529–538. DOI: 10.1002/best.201000043.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> <p>Merkblätter DGZfP</p> <p>- DGZfP- B03, 2014: Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion.</p> <p>Internationale Normen</p> <p>- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2013): Planung, Durchführung und Interpretation der Potenzialmessung an Stahlbetonbauten. Merkblatt 2006. Zürich.</p> <p>- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2016): Planung, Durchführung und Interpretation der Potenzialmessung an Stahlbetonbauten - Korrigenda C1 zum Merkblatt SIA 2006:2013. Zürich.</p> <p>- ASTM C876, 2015: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.</p> |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

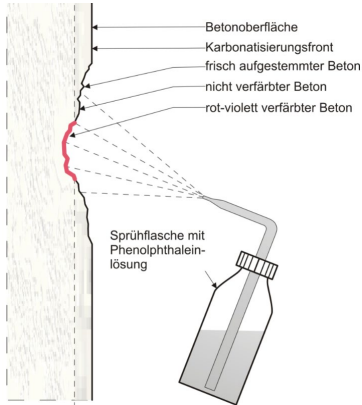
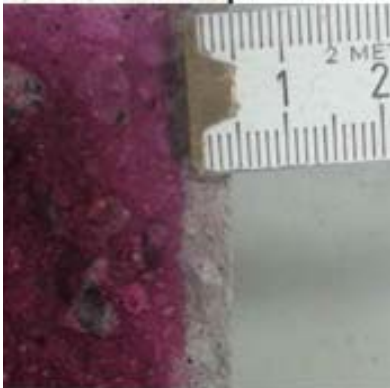
- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

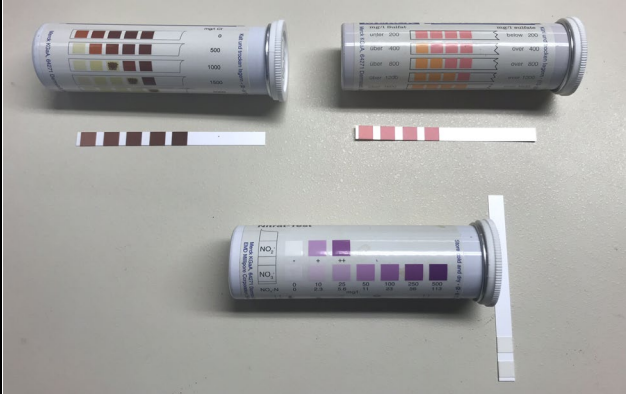
Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Chemisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Indikatorverfahren: Phenolphthalein-Prüfung</p> engl.: Indicator Method: Phenolphthalein Test | | Prüfaufgabe - Karbonatisierung: Karbonisierungstiefe | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch punktweise Bestimmung der Karbonatisierungstiefe nahe der Oberfläche des Festbetons zur Beurteilung des Korrosionsschutzes für oberflächennahe Bewehrung (sinnvoll: in Kombination mit der Prüfaufgabe Betondeckungsmessung) | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe am Einsatzort, im Labor an Probekörpern oder an aus dem Festbeton entnommenen Bohrkernproben oder frischen Bruchstücken (zur Beurteilung, ob der Beton im Bereich des Bewehrungsstahls eine ausreichende Alkalität aufweist, um die schützende Passivschicht, die sich bei hohem pH-Wert auf dem Bewehrungsstahl bildet, sicherzustellen) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Prüfung nur an frisch erzeugten Bruchflächen - Prüfung nicht geeignet für Betone, die aus Tonerdezement hergestellt sind - keine Unterscheidung zwischen Alkalitätsverlust durch Karbonatisierung und einem Verlust auf Grund anderer Ursachen, wie zum Beispiel Einwirkung von Säure oder säurehaltigen Gasen [DIN EN 14630: 2006-10] - Prüfung nicht geeignet für Anwendung an Mantelfläche in Bohrloch (nicht karbonatisierter Zement wird im Bohrloch verteilt und täuscht evt. eine basische Oberfläche im Bohrloch vor) [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Herstellen von frisch erzeugten Bruchflächen in ebenen Flächen durch zwei gebohrte, benachbarte Löcher und nach anschließendem Entfernen des Steges dazwischen - Beachtung von Arbeitsschutz | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Der Phenolphthalein- Prüfung ist ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe von Festbeton und besteht darin, die pH-Wert-Änderung mit Hilfe einer geeigneten Indikatorlösung nachzuweisen. Dabei handelt es sich um eine alkoholische Phenolphthaleinlösung, deren Farbe im Bereich von pH > 9 innerhalb von 30 Sekunden nach Besprühen von farblos auf rot-violett umschlägt. Der nichtkarbonatisierte Bereich färbt sich rot-violett, der nicht-karbonatisierte Bereich bleibt unverändert. Nur Beton mit einer Färbung zeigt also die basischen, nicht karbonatisierten Bereiche, die eine ausreichende Alkalität besitzen, um die Passivität des Stahl sicherzustellen. Die Karbonatisierungstiefe dk wird als Abstand der Farbumschlaggrenze zur jeweiligen Betonoberfläche bestimmt. Die Karbonatisierungstiefe verläuft unregelmäßig, weswegen sowohl der Mittelwert als auch der Maximalwert der Karbonatisierungstiefe senkrecht zur Betonoberfläche zu messen ist. Zu beachten ist, dass auch die Gesteinskörnung neutral bzw. unverfärbt bleibt. [DIN EN 14630: 2006-10] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - Erzeugung von Bruchflächen, deswegen nur begrenzt zerstörungsarm - gesundheitsschädlich: Phenolphthalein ist krebserregend, deswegen ist besondere Vorsicht beim Umgang mit der Chemikalie geboten | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Indikator-Verfahren: Phenolphthalein, Schaurich, BAM</p>  | | <p>Messergebnisse</p> <p>Karbonatisierungstiefe A. Taffe, HTW Berlin</p>  | |
| <p>Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel)</p> <p>Prüfgeräte nach [DIN EN 14630: 2006-10]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Phenolphthalein-Indikatorlösung, üblicherweise 1 g Phenolphthalein - Ethylalkohol, 70 ml (oder andere geeignete Alkohole, wie zum Beispiel Isopropylalkohol) - destilliertes oder entionisiertes Wasser, 30 ml verdünnt - beschrifteter Behälter mit einer Düse zum Zerstäuben der Indikatorlösung (darf nicht tropfen) - Messgerät zur Ermittlung des Abstandes von der Oberfläche des Betons bis zur Karbonatisierungsgrenze, wie z.B. Lehre oder Lineal mit Millimeter-Einteilung | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abstand von der Oberfläche des Betons bis zur Karbonatisierungsgrenze in [mm] | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellung eines Probenahmeplans <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) [DIN EN 14630: 2006-10]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Probenahme: <ul style="list-style-type: none"> - Kennzeichnung der Bruchstücke/Bohrkernproben - Trockene Lagerung bis zur Prüfung - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe: <ul style="list-style-type: none"> - Herstellen der Prüffläche: Aufbrechen der Bohrkerne/Bruchstücke entlang der Längsachse/senkrecht zur Betonoberfläche - Entfernen von Staub und losen Partikeln - Aufbringen der Indikatorlösung durch Benetzen: Prüfung unmittelbar nach Aufbrechen der Probestücke - Messung der Karbonatisierungstiefe (Aufzeichnen des Ergebnisses innerhalb von 30 s) <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - kein Farbumschlag = karbonatisierter Bereich; Farbumschlag = nicht karbonatisierter Bereich - Beurteilung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von: Betonalter, Betonzusammensetzung, Nachbehandlung und Lagerungsklima - Beurteilung der Karbonatisierungsgrenze unter Beachtung von: dichten sowie porösen Zuschlägen und Poren - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 1/5 | 1/5 | 1/5 | 2/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten - Verwendung des alternativen Indikators: Thymolphthalein (nach DAfStb-Heft 422) - LASER-induzierte Plasma-Spektroskopie LIPS in Sonderfällen über den Nachweis des erhöhten Kohlenstoffgehalts in karbonatisiertem Beton |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Peter Lieblang (2015): Baustoffspezifische Schadensursachen . 3.1.3.1 Karbonatisierung. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 217–218. [2] Bernd Hillemeier, Claus Flohrer, Jürgen Krell, Gabriele Marquardt, Jeanette Orłowsky (2011): Bestandsaufnahme und Schadensdiagnose . In: Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann Dietrich Wörner (Hg.): Beton Kalender 2011. Kraftwerke, Faserbeton. Band 2. Berlin, Germany: Ernst & Sohn, S. 343/344 |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. Betonbau (ICS 91.080.40) - DIN EN 14630: 2006-10: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung |
| Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke) Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010) - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentare |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Chemisches Messprinzip | |
| Verfahren Salzanalyseverfahren | | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Elementgehalt - Bauschädliche Salze: Salzgehalt | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung des Vorhandenseins und Bestimmung der Art von bauschädlichen Salzen mit der qualitativen Salzanalyse und anschließende Bestimmung der Verteilung und der Menge der Salze (Salzkonzentration) mit der halbquantitativen oder der quantitativen Salzanalyse. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Nachweis von wasserlöslichen Salzen wie Chlorid, Nitrat, Karbonat, Sulfat (Anionen) <i>[Salze sind zusammengesetzt aus Anionen und Kationen; Nachweis von Kationen (Eisen, Blei, Calcium, Magnesium, Kalium, Kupfer) ist i.d.R. irrelevant, weil unschädlich für Baustoffe]</i> | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Zugänglichkeit der Bauteiloberfläche für geeignete Entnahmegерäte (Kernbohrgerät, Bohrmehlentnahmegерät) - Entnahme einer repräsentativen Probe - Qualifiziertes Personal für Laboranalysen: Arbeiten im chemischen Labor erfordern große Sorgfalt und Vorsicht sowie Fachkenntnisse | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Unterscheidung in qualitative Salzanalyse, halbquantitative Salzanalyse und quantitative Salzanalyse. Die qualitative Salzanalyse liefert nur die Aussage, ob Salze vorhanden sind; man unterscheidet in trocken-chemische und nass-chemische Analysemethoden. Die trocken-chemischen Methoden eignen sich als Vorprüfung für einfache Nachweise. Die nass-chemischen Methoden liefern mit ihren Prüfungen den vollständigen Nachweis. <i>[Die qualitative Salzanalyse] "beruht auf dem Nachweis von Chloriden mittels Aufsprühen von Silbernitrat- und Kaliumchromatlösung als Indikatoren. Beim Sprühtest wird eine schwach salpetersaure Silbernitratlösung pH = 5 auf die Bruchfläche gesprüht. Nach Antrocknen erfolgt eine Besprühung mit Kaliumchromatlösung. Wenn keine Chloride vorhanden sind, färbt sich der Beton braun. Auf chloridhaltigem Beton hingegen entsteht wasserunlösliches Silberchlorid." [1]</i> Die halbquantitative Salzanalyse kann als Prüfung im Labor oder vor Ort mit einem Teststreifen an einem Probenstück durchgeführt werden und dient dann als Grundlage für weiterführende Prüfungen wie Probenahme für Labor, Entscheidung über weitere Proben, Anzahl der Proben und Stellen der Proben; Probenahme an der Oberfläche des Objekts durch Abschaben oder Abbürsten. <i>[Zur Bestimmung des Chloridgehalts] "wird schwach konzentrierte Salpetersäure über ein Bruchstück aus der Oberfläche gegossen und die Suspension mit Natriumhydrogenkarbonat versetzt. Nach Abfiltern der Suspension wird ein Teststreifen eingetaucht und ein Skalenwert abgelesen. Der Chloridgehalt resultiert aus der Umrechnung des Skalenwertes auf der Eichentabelle der Teststreifen-Packung." [1]</i> Die quantitative Salzanalyse wird zur genauen Bestimmung des Chloridgehaltes und der Chlorideindringtiefe mit tiefengestaffelten Analysen an Bohrmehlproben verwendet. Die quantitative Salzanalyse lässt sich mit der Gravimetrie/ Gewichtsanalyse oder der Volumetrie (Titration)/ Maßanalyse sowie der Photometrie durchführen. <i>[Bei der photometrischen Ermittlung des Chloridgehalts] "wird das Bohrmehl mit Kaltaufschlusslösung versetzt und die Lösung filtriert. [...] Die nachträgliche Zementgehaltsbestimmung erfolgt nach DIN 52170." [1]</i> | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + qualitative Salzanalyse: keine zerstörende Probenahme +/- halbquantitative Salzanalyse: Salzgehalt in Gruppeneinteilung, handelsüblich zu kaufen - quantitative Salzanalyse: zerstörende Probenahme, dafür exakter Salzgehalt - Bestimmung jeweils nur eines chemischen Elementes in einem Analysengang an demselben Präparat (d.h. Probe muss geteilt werden) - quantitative Verfahren sind durch aufwändigen Aufschluss der Probe und einen Geräteeinsatz zeitaufwändig | | | |

| | | | |
|--|------|--|------------|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau Teststreifen: Chlorid-Test (oben links), Sulfat-Test (oben rechts), Nitrat-Test (unten) J. Wiese, HTW Berlin | |  | |
| Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel) - chemische Lösung bzw. Teststreifen - Kernbohrgerät, Bohrmehlentnahmeggerät für Probeentnahme | | | |
| Messgröße und Zielgröße - Salzgehalt als Masseanteil der Probe in Prozent [M- %] - ggf. Umrechnung auf M-% bezogen auf Zement - Chlorid-Profil | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellung eines Probenahmeplans 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) - Probeentnahme vor Ort - entweder Entnahme von Bohrmehl (tiefengestaffelt) oder Entnahme von Bohrkernproben - Durchführung der chemischen Analyse im Labor nach [4] 4. Dokumentation - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>-Halbquantitative Salzanalyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Macherey-Nagel GmbH & Co. KG: QUANTOFIX Teststäbchen [http://www.mn-net.com/tabid/4770/Default.aspx] - Hach: QuanTab Test Strips [https://de.hach.com/quick.search-quick.search.jsa?keywords=quantab] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- alternative Labormethoden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Energiedispersive Röntgenspektroskopie EDS/ Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy EDX - Röntgendiffraktometrie/ X-Ray Diffraction XRD <p>- alternative Labor- und Baustellenmethode:</p> <ul style="list-style-type: none"> - LASER-induzierte Plasmaspektroskopie LIPS/ LACER-Induced Breakdown Spectroscopy LIBS - Röntgenfluoreszenzanalyse RFA/ X-Ray Fluorescence Spectroscopy XRF |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Weber, Silvia (2013): Betoninstandsetzung. Baustoff - Schadensfeststellung - Instandsetzung. 5 Bestandsaufnahme und Schadensanalyse. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.</p> <p>[2] Moschig, Guido F. (2014): Bausanierung. Grundlagen - Planung - Durchführung. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden</p> <p>[3] Breit, Wolfgang; Dauberschmidt, Christoph; Gehlen, Christoph; Sodeikat, Christian; Taffe, Alexander; Wiens, Udo (2011): Zum Ansatz eines kritischen Chloridgehaltes bei Stahlbetonbauwerken. In: Beton- und Stahlbetonbau 106 (5), S. 290–298. DOI: 10.1002/best.201100007.</p> <p>[4] Dorner, Horst; Kleiner, Günter (1989): Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton.</p> <p>Schnellbestimmung des Chloridgehaltes von Beton / von Horst Dorner ; Günter Kleiner [u.a.]. Hg. v. Rupert Springenschmid. Berlin: Beuth (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 401).</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Betonbau (ICS 91.080.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 14629:2007-06: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung des Chloridgehaltes in Festbeton; Deutsche Fassung EN 14629:2007 <p>Zement. Gips. Kalk. Mörel (ICS 91.100.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 196-2:2013-10: Prüfverfahren für Zement - Teil 2: Chemische Analyse von Zement; Deutsche Fassung EN 196-2:2013 - Kapitel 4: Nasschemische Analyse <p>Mineralische Materialien und Produkte (ICS 91.100.15)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1744-1:2013-03: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Chemische Analyse; Deutsche Fassung EN 1744 1:2009+A1:2012 |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentare</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Chemisches Messprinzip | |
| Verfahren LASER-induzierte Plasmaspektroskopie LIPS [LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation] engl.: LASER-Induced Breakdown Spectroscopy LIBS | | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Elementgehalt - Bauschädliche Salze: Salzgehalt | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Angabe der Elementverteilung durch Anregung der Bauteiloberfläche mit einem kurzen und energiereichem Laserpuls, wodurch es zur Verdampfung (Laser Ablation) und Ionisierung (Plasma Erzeugung) der Oberfläche kommt; die emittierte Strahlung wird mittels optischer Spektroskopie analysiert. (<i>Verfahren der Atom-Absorptions-Spektroskopie</i>) | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Nachweis bestimmter Elemente in Beton - Ermittlung Zementart (Einordnung im Dreistoff- Diagramm: Kalzium, Silizium und Aluminium) - Punktuelle Ermittlung Chloridgehalt oder Sulfatgehalt und Darstellung in einem Eindringprofil - Tiefenprofile der Elementverteilung für Eindringverhalten der bauschädlichen Salze: Bohrkernentnahme und Spalten in radialer Richtung - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Bestimmung Betonzusammensetzung: Starke Streuung der Einzelergebnisse durch Heterogenität des Betons. Daher sind entsprechende Auswertungsalgorithmen zur Unterscheidung von Beton und Gesteinskörnung erforderlich. - keine Aussagen über Bindungszustand der Elemente, z.B. keine Unterscheidung zwischen Sulfaten und Sulfiten [1] - Einsatz nur im oberflächennahen Bereich; für Tiefenprofile sind Bohrkernentnahmen notwendig - Nachweis der Elemente von Wasserstoff (Z=1) bis Uran (Z=92) [1], [10] - Nachweisgrenze der Hauptbestandteile und Spurenelemente der Probe im ppm- Bereich [1] - Fehler im Bereich von 2-10 % [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Nachweis von Chloriden in Rissspitzen [2] - Nachweis der Applikation von Hydrophobierungsmitteln an Bauteiloberfläche [1] - Detektion von Kontaminationen, z.B. durch Blei [1] - sofortige Ermittlung des ausreichenden Betonabtrags bei Instandsetzung durch portables LIBS [10] | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - entweder optisch zugängliche Untersuchungsoberfläche mit portablem Gerät insitu oder Probeentnahme des zu untersuchenden Bauteils für das Labor [10] - geeigneter Satz an Referenzproben mit bekannten Elementgehalten zur Kalibrierung des Verfahrens bei quantitativer Messung (Angabe von Elementgehalten in [M-%]) | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Bei der Laser-induzierten Plasmaspektroskopie bzw. Breakdown-Spektroskopie wird die zu untersuchende Bauteiloberfläche durch einen kurzen (einige ns) und hochenergetischen (einige mJ) Laserpuls angestrahlt und somit die zu untersuchenden Atome angeregt. Die anregende Strahlung hat eine so hohe Intensität, dass es zur Erhitzung, Verdampfung (Laser Ablation) und Ionisierung (Aufbrechen von Molekularverbindungen = Plasma Erzeugung = "Breakdown") der Oberfläche kommt. Das Plasma emittiert charakteristische Fluoreszenzstrahlung (Plasmaemission), die über Glasfaserkabel zu einer Detektionseinheit, z.B. Gitter- Spektrometer in Czerny- Turner- Konfiguration oder Echelle-Spektrometer mit CCD- oder ICCD- Zeilen oder Flächensensoren, geleitet wird. Mittels optischer Spektroskopie, der Darstellung der verschiedenen Spektrallinien der einzelnen Elemente in einem Spektrum, wird die Probe analysiert. Die Analyse liefert Rückschlüsse nur auf die in der Probe enthaltenen Elemente: Die Position der Spektrallinien enthält Aussagen über das detektierte Element; die Intensität der Linie ist ein Maß für den Gehalt des Elements im verdampften Material. Quantitative Angaben in [M-%] sind nur durch Kalibrierkurven von Referenzmaterial möglich. [6] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + mit portablem Gerät muss nur optische Zugänglichkeit zur untersuchenden Oberfläche gewährleistet sein + durch Anwendung vor Ort keine Probenveränderung + im Labor: bei Vorliegen der Probe erfolgt keine weitere Probenpräparation + Ergebnisse unmittelbar verfügbar (Messung und Auswertung innerhalb weniger Minuten) [10] + bauartbedingt keine Gefährdung für Bediener und ohne umweltgefährdende Chemikalien + Chloridgehalt: punktuelle Bestimmung besser als Mittelwert der nasschemischen Analyse von Bohrmehl - Bohrkernentnahme und dessen Spaltung bei Erstellung eines Tiefenprofils erforderlich | | | |

| | | | |
|---|------|--------|------------|
| Messmethode | | | |
| <p>Messaufbau LIBS-Laborgerät (links), Portables LIBS im Einsatz (rechts) © T. Günther, BAM</p>  | | | |
| <p>Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Labor: - Laser (i.d.R. ND:YAG- Laser) mit Optiken zur Fokussierung der Strahlung (Anregung im Spektrumbereich von Infrarot-Strahlung) [1] - Detektionseinheit: i.d.R. Echelle- Spektrometer mit Optiken zur Erfassung der Strahlung und Glasfaserkabel mit Filter zur Übertragung der Strahlung an den Computer [1] - Computer als Steuergerät zur Messdatenerfassung und Auswertung - Probenhalterung bei Prüfung im Labor und Verschiebeeinrichtung zur Bewegung der Probe - Stromanschluss für Laborgeräte | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissionsspektrum mit Wellenlängen in [nm] im Bereich Ultraviolett-Strahlung und Intensität in [w.E.] - Darstellung des Gesamtspektrums mit Spektrallinien der verschiedenen Elemente in Diagramm: Wellenlänge auf x-Achse; Intensität auf y-Achse | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellung eines Probenahmeplans - geeigneter Algorithmus zur Unterscheidung der Messpunkte in Gesteinskörnung und der Zementstein (bei Angaben in [M.-%/ Zement]) - geeignete Referenzproben zur Kalibrierung der Messung bei qualitativer Angabe der Elementanteile in [M.-%] 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) <ul style="list-style-type: none"> - Probenahme aus dem zu prüfenden Bauteil - Probenpräparation: Herstellen der für das Messgerät notwendigen Geometrie - Vorbereitung der Prüfung: Ausrichten und Fokussieren des Lasers auf die Probe - Messdurchführung: Laserbeschuss und Verfahren der Probe 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Auswertung der Spektren - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 5/5 | 2/5 | 5/5 | 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| Gerätehersteller, Software - SECOPTA analytics GmbH [https://www.secopta.de/] |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten <i>LASER-induzierte Plasmaspektroskopie (= Anregung mit Laserstrahl, Emission von charakteristischer Fluoreszenzstrahlung des abgelösten Plasmas) funktioniert nach ähnlichem physikalischen Prinzip wie:</i> - Röntgen- Fluoreszenzanalyse = Anregung mit Röntgenstrahlen, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung - Röntgenanalyse = Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Wilsch, Gerd; Weritz, Friederike (2004): Anwendung der Laser-induzierten Breakdown Spektroskopie (LIBS) im Bauwesen. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender. 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 386–392. [2] Wilsch, Gerd; Weritz, Friederike (2004): Einsatz der Laser-induzierten Breakdown Spektroskopie (LIBS) zur Bestimmung des Chloridgehaltes in Beton. In: Erich Cziesielski (Hg.): Bauphysik-Kalender. 2004. Berlin: Ernst & Sohn, S. 393–396. [3] Taffe, Alexander; Wilsch, Gerd; Schaurich, Dieter; Weritz, Friederike (2004): Einsatz der Laser-Induzierten Breakdown Spektroskopie (LIBS) im Bauwesen. Teil 1: Verfahrensbeschreibung und Durchführung von Zementanalysen. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (8), S. 693–694. [4] Weritz, Friederike (2004): Einsatz der Laser-Induzierten Breakdown Spektroskopie (LIBS) im Bauwesen. Teil 2: Ermittlung von bauschädlichen Salzen. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (9), S. 761–762. [5] Wilsch, Gerd; Bohling, Christian; Molkenthin, André (2018): Mobiles LIBS-Gerät (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) zur On-Site-Analyse von Schäden an der Beton-Infrastruktur – BauLIBS. In: ZfP-Zeitung 160, S. 46–50. [6] Bohling, Christian; John, Andreas; Cordts, Lothar (2010): Sensoren auf Basis der Laserinduzierten Breakdown-Spektroskopie (LIBS) für industrielle Anwendungen. Hg. v. SECOPTA GmbH. Berlin. Online verfügbar unter https://www.secopta.com/content/documents/content/1140811175025.pdf . [7] Wiggerhauser, Herbert; Wilsch, Gerd; Wöstmann, Jens (1999): Plakat 4 - Betonanalyse mit Laserinduzierter Breakdown Spektroskopie (LIBS). In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V - Berichtsbände, 66-CD). [8] Wilsch, Gerd; Molkenthin, André; Schaurich, Dieter; Taffe, Alexander; Weritz, Friederike (2008): Vortrag 12 - Chlorid- und Sulfatanalyse mit LIBS. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V - Berichtsbände, 112-CD). [9] Millar, Steven; Eichler, Thorsten; Wilsch, Gerd; Gottlieb, Cassian; Bohling, Christian; Molkenthin, André (2016): Poster 12 - Mobiles LIBS-System zur Cl-Analyse an einer Stahlbeton-Hohlkastenbrücke. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V - Berichtsbände, 157-Stick). [10] Molkenthin, André (Hg.): bauLIBS. Spektroskopische Laseranalyse von Baustoffen. Unter Mitarbeit von Gerd Wilsch André Molkenthin und Dirk Dalichow Online verfügbar unter http://www.baulibs.de/ |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten


- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentare

| | |
|---|--|
| Physikalische Grundlage | Chemisches Messprinzip |
| Verfahren Röntgenfluoreszenzanalyse RFA/ Röntgenfluoreszenzspektroskopie RFS engl.: X-Ray Fluorescence Spectroscopy XRF | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Elementgehalt - Bauschädliche Salze: Salzgehalt |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Elemente durch Anregung einer Probe mit primärer Röntgenstrahlung aus einer Röntgenröhre, wodurch die Probe selbst eine sekundäre, fluoreszierende Röntgenstrahlung emittiert, deren Spektrum in einem Röntgenspektrometer untersucht wird. (<i>Röntgenemissionsspektroskopie</i>) | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - "Identifizierung der in einer Substanz enthaltenen chemischen Elemente und zur Bestimmung von deren Menge bzw. zur Bestimmung der Dicke von Schichten" [DIN 51418-1:2008-08] - Nachweis bestimmter Elemente im Beton - Tiefenprofile der Elementverteilung: Bohrkernentnahme und Spalten in radialer Richtung | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Einsatz nur im oberflächennahen Bereich; für Tiefenprofile sind Bohrkernentnahmen notwendig - Nachweis von Elementen leichter als Bor (Ordnungszahl Z=5) nicht möglich [DIN 51418-2:2015-03] ; Nachweis mit zuverlässigen Analysenwerten ab Fluor (Z = 9) [DIN 51418-1:2008-08], gute Werte ab Natrium (Z=11) , möglich bis Uran (Z=92) | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | |
| Bauseitige Voraussetzungen - entweder optisch zugängliche Untersuchungsoberfläche mit portalem Gerät (Handspektrometer) in situ oder Probeentnahme des zu untersuchenden Bauteils für das Labor - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - Probe muss mindestens eine ebene Fläche haben, von der die Röntgenstrahlen reflektiert werden können (ggf. Pressen von Probetabletten) | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Die Röntgenfluoreszenz beruht auf dem photoelektrischen Effekt. Eine Materialprobe wird durch polychromatische Röntgenstrahlung angeregt. Dabei werden kernnahe Elektronen von inneren Schalen des Atoms auf weiter außen gelegene gehoben. Dadurch können Elektronen aus höheren, kernferneren Energieniveaus zurückfallen und die kernnahe Leerstelle im Atom wieder füllen. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form von elementspezifischer, charakteristischer Röntgen-Fluoreszenzstrahlung (Fluoreszenz = spontane Emission von Licht kurz nach Anregung eines Materials durch elektronische Übergänge) abgegeben. Das Spektrum dieser Fluoreszenzstrahlung kann von einem Strahlungsdetektor ausgewertet werden. Das gemessene Signal dieser bestimmten Energie lässt auf die Ordnungszahl Z der nachgewiesenen Elemente schließen. Zwei verschiedene Bauarten werden bezüglich der Auswertung unterschieden: - Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse EDRFA/ Energy Dispersive XRF - EDXRF: "Spektrometer, bei dem die Zerlegung der Probenstrahlung nach ihrer Energie durch den Detektor auf elektronischem Wege erfolgt" [DIN 51418-1:2008-08] - Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse WDRFA/ wavelength dispersive XRF - WDXRF: "Röntgenspektrometer, bei dem die Dispersion der Probenstrahlung durch Beugung an einem Kristall erfolgt" [DIN 51418-1:2008-08] Die energiedispersive Messung kann mit einem Handspektrometer durchgeführt werden, was eine in situ-Analyse ermöglicht. [DIN 51418-2:2015-03] | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + mit portalem Gerät muss nur optische Zugänglichkeit zur untersuchenden Oberfläche gewährleistet sein + durch Anwendung vor Ort keine Probenveränderung - Labor: Präparieren der Probe für das Analysegerät, wie Herstellen der notwendigen Geometrie und einer ebenen Messfläche [DIN 51418-2:2015-03] + Ergebnisse unmittelbar verfügbar (ca. 1 Minute reine Messzeit) + bauartbedingt keine Gefährdung für Bediener und ohne umweltgefährdende Chemikalien + arm an Interferenzen (Auftreten und Überlagerung von Fluoreszenzlinien verschiedener Elemente sind selten, Linien können eindeutig zugeordnet werden) + Bestimmung mehrerer chemischer Elemente in einem Analysengang an demselben Präparat (im Unterschied zur nasschemischen Analyse) - Nachweis von Elementen erst ab Ordnungszahl Z=5 (Bor); im Gegensatz dazu bei LIBS Nachweis ab Z=1 (Wasserstoff) - Bohrkernentnahme und dessen Spaltung bei Erstellung eines Tiefenprofils erforderlich | |

| | | | |
|---|-------------|--|-------------------|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau RFA Laborgerät T. Schwarze, HTW Berlin/ KIWA Berlin | |  | |
| Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel) - Labor: Röntgenfluoreszenzspektrometer bestehend aus: - primäre Strahlungsquelle: Röntgenröhre (alt. radioaktive Nuklide, Synchrotronstrahlungsquelle) - Detektionseinheit - zu untersuchende Probe (ggf. präpariert) - Stromanschluss für Laborgeräte - In situ: Handspektrometer (Handheld-Spektrometer) | | | |
| Messgröße und Zielgröße - EDRFA: Energie in [keV] und Intensität in [w.E.], Messung sämtlicher Energien in energieproportionalen Spannungsimpulsen -WDRFA: Wellenlänge in [nm] und Intensität in [w.E.], Aufspaltung der Strahlung in Wellenlängen - Darstellung des Gesamtspektrums mit Spektrallinien der verschiedenen Elemente in Diagramm: Energie bzw. Wellenlänge auf x-Achse; Intensität auf y-Achse | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) 2. Prüfplanung - Festlegung der Prüfbereiche (bzw. Probeentnahmestelle für Laboruntersuchungen) - Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) - <u>In situ:</u> - Aufsetzen des Handspektrometers und automatische Messung binnen Sekunden - <u>Labor:</u> - Probenahme aus dem zu prüfenden Bauteil - Probenpräparation: Herstellen der für das Messgerät notwendigen Geometrie und Herstellen einer ebenen Messfläche - Vorbereitung der Prüfung: Ausrichten und Fokussieren des Röntgenstrahls auf die Probe - Durchführung der Analyse: Beschuss und Verfahren der Probe 4. Dokumentation und Auswertung - Auswertung der Spektren - Ausgabe der identifizierten Metalle und deren Menge - Dokumentation der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 5/5 | Zeit 4/5 | Kosten 5/5 | Fachwissen 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Helmut Fischer GmbH [Link: http://www.helmut-fischer.de/fileadmin/documents/broc/DE/BROC_X-RAY_Produktlinie_951-008_de.pdf] - Spectro Analytical Instruments GmbH [https://www.spectro.de/produkte/rfa-spektrometer] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Röntgen- Fluoreszenzanalyse (= Anregung mit Röntgenstrahlen, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung) funktioniert nach ähnlichem physikalischen Prinzip wie: <ul style="list-style-type: none"> - Röntgenanalyse = Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung - <i>LASER-induzierte Plasmaspektroskopie = Anregung mit Laserstrahl, Emission von charakteristischer Fluoreszenzstrahlung des abgelösten Plasmas</i> - Spezialanwendungen: Mikro-RFA, Totalreflexions-RFA [11] <p>Übersicht der atomspektrometrischen Verfahren [2]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Atomabsorptionsspektrometrie AAS 2. Atomemissionsspektrometrie AES unterschieden nach Art der Anregung in: <ul style="list-style-type: none"> - Flammen-Atomemissionsspektrometrie (F-AES) - Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) 3. Röntgenfluoreszenzspektrometrie RFA; XRF/XRFS (engl. X-ray fluorescence spectroscopy) |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] Försterling, G. (1980): 3. Röntgenfluoreszenzanalyse. In: Handbuch Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.</p> <p>[2] Schwedt, Georg (2007): Taschenatlas der Analytik. 3., überarb. und erw. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verl., Kapitel 7 Atomspektrometrische Methoden, S.98-103</p> <p>[3] Skoog, Douglas A.; Holler, F. James; Crouch, Stanley R. (2014): Instrumentelle Analytik. Grundlagen - Geräte - Anwendungen. 6., vollst. überarb. erw. Aufl. 2014. Berlin: Springer (Lehrbuch).</p> <p>[4] Alfeld, Matthias (2011): Was verrät die Röntgenfluoreszenzanalyse? Hg. v. Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Online verfügbar unter https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/licht/synchrotronstrahlung/roentgenfluoreszenzanalyse/roentgenfluoreszenzanalyse/.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Physikochemische Analysemethoden. Instrumentelle Analytik (ICS 71.040.50)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 51418-1:2008-08 - Röntgenspektralanalyse - Röntgenemissions- und Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) - Teil 1: Allgemeine Begriffe und Grundlagen - DIN 51418-2:2015-03 - Röntgenspektralanalyse - Röntgenemissions- und Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) - Teil 2: Begriffe und Grundlagen zur Messung, Kalibrierung und Auswertung - DIN IEC 62495, VDE 0412-20: Strahlungsmessgeräte - Tragbare Röntgenfluoreszenz-Analysegeräte mit Kleinströntgenröhre (IEC 62495:2011) Ausgabedatum: 2011-12-00 <p>Oxide (ICS 71.060.20)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 51001:2003-08 - Prüfung oxidischer Roh- und Werkstoffe - Allgemeine Arbeitsgrundlagen zur Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) - DIN 51001 Beiblatt 1:2010-05 - Prüfung oxidischer Roh- und Werkstoffe - Allgemeine Arbeitsgrundlagen zur Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) - Übersicht stoffgruppenbezogener Aufschlussverfahren zur Herstellung von Proben für die RFA <p>Keramikkrohstoffe (ICS 81.060.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 51081:2002-12 - Prüfung oxidischer Roh- und Werkstoffe - Bestimmung der Massenänderung beim Glühen |

Zement. Gips. kalk. Mörtel. (ICS 91.100.10)

- DIN EN 196-2:2013-10: Prüfverfahren für Zement - Teil 2: Chemische Analyse von Zement; Deutsche Fassung EN 196-2:2013 - Kapitel 5: Chemische Röntgenfluoreszenzanalyse
- ISO 29581-2:2010-03 - Zement - Prüfverfahren - Teil 2: Chemische Analyse mit dem Röntgen-Fluoreszenz-Prüfverfahren

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.


Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentare

| | |
|---|--|
| Physikalische Grundlage | Chemisches Messprinzip |
| Verfahren Energiedispersive Röntgenspektroskopie EDS/ Energiedispersive Röntgenanalyse EDA engl.: Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy EDX | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Elementgehalt - Bauschädliche Salze: Salzgehalt |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie prüfung zur Bestimmung der Elemente durch Anregung einer Probe mit einem Elektronenstrahl, wodurch die Probe selbst eine charakteristische Röntgenstrahlung emittiert, deren Spektrum in einem Rasterelektronenmikroskop untersucht wird. (Röntgenemissionsspektroskopie, Verfahren der Atom-Absorptions-Spektroskopie) | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - qualitative und quantitative Analyse der Elemente ab Bor mit Bestimmung von Elementverteilungen durch spektrale Mappings und Linescans [3] - semiquantitative chemische Analyse von Betonen und Zementen, die Rückschlüsse auf die Phasenzusammensetzung und auf die chemische Reaktion der Phasenbildung, Phasenumbildung und Phasenerstörung erlaubt [2] - Nachweis sulfathaltiger Mineralphasen (Ettringit-Typ) neben CSH-Phasen [2] - Nachweis von bauschädlichen Salzen | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Nachweis von Elementen ab Bor (Ordnungszahl Z=5) [3] - Informationstiefe bis zu mehreren µm [3] | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Gefügeuntersuchungen von hydratisierenden Zementen bereits ab der ersten Reaktionsminute [2] | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - Materialprobe vom zu prüfenden Bauteil ist notwendig - Probe muss homogen und glatt sein [3] - Probe muss vakuumtauglich sein [1] | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Bei der energiedispersiven Röntgenspektroskopie wird eine Materialprobe durch Beschuss mit einem Elektronenstrahl einer bestimmten Energie angeregt. Dabei werden kernnahe Elektronen von inneren Schalen des Atoms auf weiter außen gelegene gehoben. Dadurch können Elektronen aus höheren, kernferneren Energieniveaus zurückfallen und die kernnahe Leerstelle im Atom wieder füllen. Die dabei freiwerdende Energie wird als charakteristische Röntgenstrahlung ausgesendet. Mit einem Rasterelektronenmikroskop REM zur Elemtanalyse werden Elementverteilungsbilder aufgenommen. [1] Eine Alternative bezüglich der Auswertung ist ist die wellenlängendispersive Röntgenspektroskopie WDS; die Zerlegung (Dispersion) der Probenstrahlung erfolgt durch Beugung an einem Kristall. | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) +/- primär für wissenschaftliche Fragestellungen einsetzbar +/- Verfahren ist Gegenstand der Forschung für weitere Anwendungen [4,5,6] - bedingt zerstörungsfrei durch Probeentnahme - Labormethode | |

| Messmethode | | | |
|---|-------------|--|-------------------|
| Messaufbau Laborgerät Röntgenanalyse T. Schwarze, HTW Berlin/ KIWA Berlin | |  | |
| Messgeräte - Rasterelektronenmikroskop mit Primärelektronenstrahl: Glühkathode - Detektionseinheit: Si(Li)-Detektor oder Siliziumdriftdetektor (SDD) - zu untersuchende Probe (ggf. präpariert) - Stromanschluss | | | |
| Messgröße und Zielgröße - EDS: Energie in [keV] und Intensität in [w.E.], Messung sämtlicher Energien in energieproportionalen Spannungsimpulsen (-WDS: Wellenlänge in [nm] und Intensität in [w.E.], Aufspaltung der Strahlung in Wellenlängen) - Darstellung des Gesamtspektrums mit Spektrallinien der verschiedenen Elemente in Diagramm: Energie bzw. Wellenlänge auf x-Achse; Intensität auf y-Achse | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgabe - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) 2. Prüfplanung - Festlegung der Prüfbereiche (bzw. Probeentnahmestelle für Laboruntersuchungen) - Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) - Probenahme aus dem zu prüfenden Bauteil - Probenpräparation: Herstellen der für das Messgerät notwendigen Geometrie - Vorbereitung der Prüfung: Ausrichten und Fokussieren des Elektronenstrahls auf die Probe - Durchführung der Analyse: Beschuss der Probe 4. Dokumentation und Auswertung - Auswertung der Spektren - Dokumentation der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 5/5 | Zeit 5/5 | Kosten 4/5 | Fachwissen 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>EDAX Inc. [https://www.edax.com/products/eds]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Röntgenanalyse (= Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung) funktioniert nach ähnlichem physikalischen Prinzip wie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Röntgen- Fluoreszenzanalyse (= Anregung mit Röntgenstrahlen, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung) - <i>LASER-induzierte Plasmaspektroskopie = Anregung mit Laserstrahl, Emission von charakteristischer Fluoreszenzstrahlung des abgelösten Plasmas</i> |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] Pölt, Peter; Reichmann, Angelika; Hofer, Ferdinand (2007): Charakterisierung und Schadensanalyse von Baustoffen mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie. In: Zement + Beton 1/07, S. 34–37.</p> <p>[2] Göske, Jürgen; Pöllmann, Herbert; Wenda, Richard (2007): Ettringit- und Thumasitreiben in Betonwerkstoffen: Analytische Betrachtung und Ursachenermittlung mittels Röntgendiffraktometrie und Rasterelektronenmikroskopie. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (5), S. 321–329. DOI: 10.1002/best.200708200.</p> <p>[3] Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (Hg.) (2017): Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX). Unter Mitarbeit von Heike Angermann. Online verfügbar unter https://www.helmholtz-berlin.de/forschung/oe/ee/si-pv/analytik/rem/edx_de.html.</p> <p>[4] Pacheco, José; Çopuroğlu, Oğuzhan (2016): Quantitative Energy-Dispersive X-Ray Microanalysis of Chlorine in Cement Paste. In: J. Mater. Civ. Eng. 28 (1), S. 4015065. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001336.</p> <p>[5] Pacheco, José; Çopuroğlu, Oğuzhan; Šavija, B.; Schlangen, E.; Polder, R. B. (2012): Assessment of critical chloride content in reinforced concrete by Energy Dispersive Spectrometry (EDS) revisited. In: International Conference for Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III.</p> <p>[6] Mendonça Filho, F. F.; Pacheco, José; Çopuroğlu, Oğuzhan (2015): Semi- and full quantitative EDS microanalysis of chlorine in reinforced mortars subjected to chloride ingress and carbonation. In: 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Beton und Betonfertigteile (ICS 91.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM C1723 - 16: Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscopy |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>Das Verfahren "Energiedispersive Röntgenspektroskopie" ist nicht als Verfahren bei den für ZfP-Bau bekannten Literaturquellen wie den DBV- oder DGZfP- Merkblättern aufgeführt. Auch in den weiteren Standardwerken wie dem Handbuch Bauwerksprüfung und der Bauphysik-Kalender-Reihe findet das Verfahren keine Erwähnung.</p> |

| Physikalische Grundlage | | Optisches Messprinzip | |
|---|--|---|--|
| Verfahren <p style="text-align: center;">Sichtprüfung</p> engl.: Visual Testing | | Prüfaufgabe - Erhaltungszustand - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Schäden, Mängeln und Fehlern und zur Beurteilung der Beschaffenheit der Prüffläche durch Inaugenscheinnahme einer Prüffläche mit oder ohne Hilfsmittel. - Oberflächenverfahren | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Orten und Bewerten von oberflächlichen Qualitätsmerkmalen durch Wahrnehmen, Vergleichen, Schätzen, Zählen und Messen [DGZfP B6, 1] - Sichtprüfung als grundlegende Prüfung für weiterführende Untersuchungen - Kontrolle der Steine des Mauerwerks an sich und Kontrolle der Ausführung des Mauerwerks: - Steine des Mauerwerks: Maßgenauigkeit, Brennfehler, Kalkeinschlüsse - Ausführung des Mauerwerks: Verband des Mauerwerks und vollständige Vermörtelung - Verwitterungsschäden (Verformungen, Absandungen, Abbröckelungen, Absprengungen, Krustenbildungen) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Zugänglichkeit - Lichtverhältnisse - Erkennbarkeit an der Oberfläche - Betrachtungsabstand bzw. Raster der Sichtprüfung - Größe und Form des zu ortenden Objekts | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - die Sichtprüfung ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn Rückstände von Salzen an der Betonoberfläche erkennbar sind - Erkennen von Putzschäden und insbesondere Risse, die auf Schäden und Mängel des Mauerwerk hindeuten können | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - zugängliche Prüffläche (ggf. durch Aufstellen von Gerüsten und Bühnen; Entfernungen zum Prüfobjekt kleiner als 600 mm und unter einem Winkel von nicht weniger als 30° zur Prüffläche bei der lokalen Sichtprüfung, Entfernungen größer als 600 mm bei der Übersichtsprüfung nach DIN EN 13018) - ausreichende Lichtverhältnisse (ggf. Hinzunahme von Beleuchtungsquellen mit mindestens 160 lx bei der Übersichtsprüfung und mit mindestens 500 lx bei der lokalen Sichtprüfung nach DIN EN 13018) - Vorbereiten der Oberfläche: ggf. Reinigung der Oberfläche für geringen Verschmutzungsgrad der Oberfläche | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Unterscheidung in direkte und indirekte Sichtprüfung nach [DIN EN 13018, 2016-06]: - direkte Sichtprüfung: "Sichtprüfung mit nicht unterbrochenem Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche. Diese Prüfung wird ohne oder mit Hilfsmittel(n), z. B. mit Spiegel, mit Linse, mit Endoskop oder mit faseroptischem Gerät, durchgeführt" - indirekte Sichtprüfung: "Sichtprüfung mit unterbrochenem Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche. Die indirekte Sichtprüfung umfasst die Anwendung von Foto- und Videotechnik, von automatisierten Systemen und Robotern" Mit der Sichtprüfung können folgende Schäden, Mängeln und Fehler festgestellt werden: [2] - Risse infolge von Formänderungen des betreffenden Bauteils - Ausblühungen infolge Versalzung - Krustenbildung (Gipskrusten und Kalkkrusten) - Bröckelzerfall infolge von Frosteinwirkung - Abschalen: scheibenförmiges Ablösen an der Oberfläche - Absanden und Abmehlen infolge von Frosteinwirkung, Wind oder Versalzung - Aussprengungen (Rostsprengungen, Wurzelsprengungen) - Zerstörung des Mauerwerksgefüges -ausgehend von Rissen- durch Wurzelsprengungen von Gräsern, Farnen, Sträuchern und Bäumen - Verfärbungen bei Naturstein - Abschiefern und Abblättern bei Naturstein | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Sichtprüfung ohne Hilfsmittel ist je nach Zugänglichkeit schnell, - Sichtprüfung ohne Hilfsmittel detektiert u.U. nicht die Merkmale, die mit Hilfsmitteln detektiert werden können | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p style="text-align: right;">Visuelle Erkundung des Mauerwerks © Dr. Gabriele Patitz</p> | |  | |
| <p>Messgeräte</p> <p>- ggf. Hilfsmittel wie Spiegel, Linsen, Endoskope oder Foto- und Videotechnik oder Taschenlampe</p> | | | |
| <p>Messgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): z.B. Oberflächenrisse</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche ggf. unter Hinzunahme von Hilfsmittel wie Spiegel, Lupen und Endoskope - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Direkte Sichtprüfung [DIN EN 13018: 2016-06]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abstand zur Prüffläche < 600 mm - Blickwinkel von $\geq 30^\circ$ zur Prüffläche - bei Übersichtsprüfungen: Abstand von > 600 mm zulässig - ggf. zusätzliche Beleuchtung: mind. 500 lx für lokale Sichtprüfung und mind. 160 lx für Übersichtsprüfung <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kennzeichnen (z.B. mit Kreide) des festgelegten Merkmals (Inhomogenität) auf dem Bauwerk zur Beurteilung der Schadstelle (Risswachstum); Angabe des Prüfdatums zur Nachvollziehbarkeit - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen - Nachweis der Sehfähigkeit des Prüfers (Nahsehfähigkeit und Farbsehfähigkeit) | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 1/5 | 1/5 | 1/5 | 3/5 |

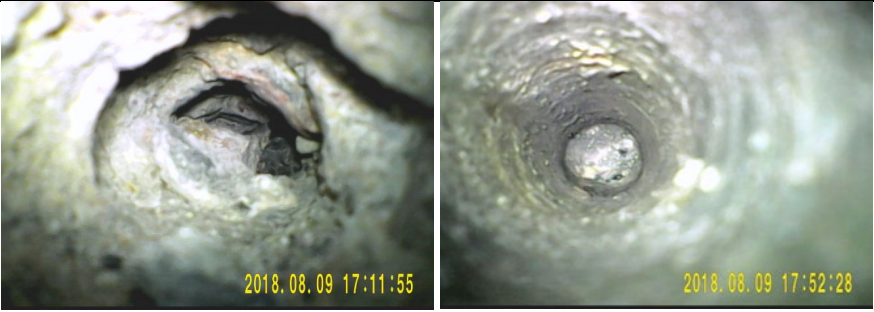
| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software - |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten Endoskopische Verfahren: - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V1 Grundlagen der Sichtprüfung. [2] Kastner, Richard H. (2004): Altbauten - Beurteilen, Bewerten. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., Verfahren 5: Augenschein, S.7-15 [3] Ivanyi, György (2002): Prüfung von Betonbrücken. 2.2 Methoden. 2.2.2 Inaugenscheinnahme. Technik der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076. In: Fritz Vollrath und Heinz Tathoff (Hg.): Handbuch der Brückeninstandhaltung. 2. Aufl. Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, S. 59–72. [4] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht Sichtprüfung (VT) |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30) - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100) - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. Merkblätter DGZfP - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |
| Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke) Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010) - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2011
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2013
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2015
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren 2017

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Optisches Messprinzip | |
| Verfahren Endoskopie: Borekope (starre Endoskope) engl.: Endoscopy: Borescope Inspection | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels optischer Bildübertragung durch ein spezielles Linsensystem und einen Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - keine digitale Speicherung der Bilder (bei einfachen Geräten) - Verzerrungseffekte der Optiken können Deutung der Bilder erschweren | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Einführung von Instrumenten durch Schaft - Verwendung von Prismenvorsätzen und Schwenkspiegeln für andere Blickrichtung - PCE Instruments bietet Borekope mit Speicherfunktion sowie Foto-und Videofunktion an [6] - die Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum (ggf. Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Das klassische, linsenoptische Boreoskop besteht aus einem Okular an einem Ende, einem Rohr mit einem Bildübertragungssystem und einem Objektiv am anderen Ende. Das Bildübertragungssystem besteht aus einem speziellen Linsensystem, das starr angeordnet ist. Die Ausleuchtung erfolgt über Lichtleiter oder eine winzige, in den Kopf integrierte Glühlampe. Die Änderung der Betrachtungsrichtung ist je nach Ausführung: vorwärts, seitwärts, schräg voraus oder rückwärts gerichtet. Die Interpretation der kreisförmigen Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken und die ungewöhnliche Perspektive erschwert und erfordert Erfahrung bei der Deutung der Bilder. Inzwischen existieren auch weiterentwickelte Borekope mit Glasfaserbündeln für die Bildübertragung. Neben den starren Borekopen existieren noch flexible Fiberskope und flexible Videoskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,DGzFP B6] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + bessere optische Qualität als flexible Endoskope + höhere Auflösung wegen größerer Bauform der Kamera im Vergleich zu anderen Endoskopen - nicht biegsam | | | |

| | | | |
|---|------|--------|------------|
| Messmethode | | | |
|  | | | |
| <p>Endoskopiebilder einer betonierten Stollenauskleidung, Bohrung ca. 18 mm links: Hohlräume und Ausspülungen; rechts: kompakter Stollenbeton ohne Schäden © Dr. Gabriele Patitz</p> | | | |
| Messgeräte | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Boreskop (bestehend aus einem Okular, einem langen Rohr mit einem Bildübertragungssystem und einem Objektiv) mit Durchmessern von 1,6 bis 8 mm und Längen von 50 bis 650 mm [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| Messgröße | | | |
| <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Risse</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Boreskop</p> <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec - PCE Instruments |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) (Sonderform: Gelenkarm-Endoskope, starre Endoskope mit Gelenkarmen, in denen Umlenkprismen eingebaut sind) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: Starre Endoskope https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/96191075_KSNDTec_PB1_Prodktbrosch-D_04-2018.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> <p>[5] PCE Instruments: Boroskop. Online verfügbar unter https://www.pce-instruments.com/deutsch/messtechnik/messgeraete-fuer-alle-parameter/boroskop-kat_10041.htm, zuletzt geprüft am 03.01.2019.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| | |
|--|---|
| Physikalische Grundlage | Optisches Messprinzip |
| Verfahren Endoskopie: Fiberskope (flexible Endoskope) engl.: Endoscopy: Fiberscope Inspection | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein Bündel von Glasfasern. [Indirekte Sichtprüfung] | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - geringere Auflösung bei kleineren Durchmessern durch geringere Zahl an Bildpunkten | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird - Einsatz von Sonderausstattung für gezielte Untersuchungen: - Anschluss von CCD- Kameras und Fotokameras zur Dokumentation - Ausstattung mit Greifwerkzeugen zur Probeentnahme - Anschluss von optischen Geräten wie Lupen oder Mikroskopen | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum (ggf. Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Das Fiberskop, auch Glasfaser-Endoskop genannt, besteht aus einem Bildleitsystem aus geordneten Glasfasern und einem Lichtleitsystem. Über die flexiblen Glasfasern wird das Bild vom Objektiv zum Okular übertragen. Je mehr Glasfasern vorhanden sind, desto besser ist die Bildauflösung. Das Glasfaserbündel wird auch Bildleitbündel genannt. Die Beleuchtung erfolgt über ein Lichtleiterbündel. Die Interpretation der kreisförmigen Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken, die ungewöhnliche Perspektive und die begrenzte Bildauflösung (Pixelanzahl) erschwert und erfordert Erfahrung bei der Deutung der Bilder. Neben den flexiblen Fiberskopen existieren noch starre Boreoskope und flexible Videoskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,3,DGZfP B6] | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + flexibler steuerbar als starre Endoskope + geringerer Gerätedurchmesser als bei Videoskopen | |

| | | | |
|--|------|--------|------------|
| Messmethode | | | |
|  | | | |
| <p>Endoskopiebilder einer betonierten Stollenauskleidung, Bohrung ca. 18 mm links: Hohlräume und Ausspülungen; rechts: kompakter Stollenbeton ohne Schäden © Dr. Gabriele Patitz</p> | | | |
| Messgeräte | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Fiberskop mit Durchmesser 2,5 bis 4,2mm und bis 1200mm Länge [3] - ggf. Miniatur- Fiberskop mit Durchmesser 0,35 bis 2,0,mm [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| Messgröße | | | |
| <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Risse</p> <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Fiberskop</p> <ul style="list-style-type: none"> - Glasfaserschlauch darf nicht genknickt werden, da Bildübertragungsfasern sonst brechen <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 2/5 | 2/5 | 2/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: Flexible Endoskope https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/KSNDTec-Produktbrosch_PB3_06-D-2018-web.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Optisches Messprinzip | |
| Verfahren Endoskopie: Videoskope (flexible Video-Endoskope) engl.: Endoscopy: Videoscope Inspection | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Feuchteverteilung | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein elektrisches Kabel mit CCD-Bildwandlerchip für Videoaufnahmen und einem Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - "Einfrieren" von Bildern - Vermessung von Fehlstellen [4] - die Endoskopie ist physikalisch möglich zur Beurteilung der Feuchteverteilung, wenn durch entsprechende Bohrtiefe intensiver Feuchtedurchtritt durch Risse sichtbar wird | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25mm als Zugang zum Hohlraum, ggf. Verwendung einer Bohrmaschine (mit Abschaltautomatik) | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Das Videoskop besteht aus einem flexiblem Endoskop und einer Messsonde mit integriertem Video-Chip (CCD). Die Daten werden digital erzeugt und übertragen, dadurch ist eine spätere digitale Bildverarbeitung möglich. Die Interpretation der kreisförmigen Bilder erfordert auf Grund der ungewöhnlichen Perspektive ein gewisses Maß an Erfahrung bei Deutung der Bilder. Neben den flexiblen Videoskopen existieren noch starre Boreskope und flexible Fiberskope. Die Wahl eines geeigneten Endoskops hängt primär von der Zugänglichkeit (geradlinig, gekrümmt) und von der zu erwartenden Bildqualität ab. [1,2,DGZfP B6] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + höhere Bildauflösung im Vergleich zu starren und flexiblen Endoskopen + hohe Bruchsicherheit im Vergleich zu Fiberskopen mit empfindlichen Lichtwellenleitern + Speicherung von Bildern und Videos mittels der digitalen Technik | | | |

| | | | |
|--|---|--|--|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau Videoskop, A. Taffe, HTW Berlin |  |  | Videoskopie an Mauerwerk, A. Taffe, HTW Berlin |
| Messgeräte - Videoskop mit Durchmesser 4 bis 6mm und bis 8000mm Arbeitslänge [3] - ggf. Bohrmaschine - ggf. Stromanschluss für Bohrmaschine | | | |
| Messgröße Festgelegte(s) Merkmal(e): Risse - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen einer Schadstelle, Rissbreite usw. unter Verwendung von Hilfsmitteln wie integrierten Messskalen oder Lupen | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) 1. Informationen zur Prüfaufgab - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen - Auswahl und Überprüfung eines Sichtprüfgerätes nach DGZfP - OV 01 2. Prüfplanung - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Herstellen der hinreichenden Zugänglichkeit zur Prüffläche: Nutzung einer vorhandenen Öffnung oder Herstellung einer Bohrlochöffnung - Herstellen von ausreichenden Lichtverhältnissen ggf. unter Hinzunahme von zusätzlichen Beleuchtungsquellen 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Endoskopische Untersuchung mit einem Videoskop 4. Dokumentation - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung der festgelegten Merkmale (Schäden) - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 2/5 | Zeit 2/5 | Kosten 2/5 | Fachwissen 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) |
| <p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V2 Einführung in die Endoskopie.</p> <p>[2] Endoskopie (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 31–33</p> <p>[3] Karl Storz NDTec: VTec C Kompaktsystem https://www.karlstorzndtec.com/fileadmin/user_upload/produkte/Produktdatenblaetter/96191074_KSNDTec-SE-3-D.pdf</p> <p>[4] Hanel, A.: Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2013 SS - Techniken der Endoskopie</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-10, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sichtprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "VT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Sichtprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 13018, 2016-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen. - DIN EN 13927, 2003-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte. <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP - B6, 1996: Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen - DGZfP - OV 01, 2013-11: Merkblatt über Optische Verfahren - Teil 1: Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten; Teil 2: Überprüfung von optischen Sichtprüfgeräten durch den Anwender. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Weitere Informationen über die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfungen):

- 2. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 02_2011-12
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 01_2013-03
- 3. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 07_2013-03
- 4. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 04_2015-03
- 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren - Vortrag 13_2017-03

| | |
|---|---|
| Physikalische Grundlage Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren Klopfrage/ Abklopfen mit Hammer engl.: Tap Testing/ Hammer Tapping test | Prüfaufgaben - (Änderung der) Baustoffeigenschaften - Oberflächen-Inhomogenitäten |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Beurteilung der Beschaffenheit des oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche durch Abklopfen mit Finger, Knöcheln, Faust oder Hammer durch Erzeugung eines Schalls. | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von oberflächennahen Hohlstellen an Betonbauteilen - Feststellen der Änderung von Baustoffeigenschaften - Klopfrage als grundlegende Prüfung für weiterführende Untersuchungen | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Erfahrung und Beurteilungsfähigkeit der Prüfenden - nur Untersuchung von oberflächennahen Bereichen (maximal 1. Steinlage) - Abhängigkeit des Klangs: - vom Spannungszustand, Elastizität und Schwingungsfähigkeit des Materials (Robustheit der Prüfoberfläche) - von der Bauteilgeometrie, insbesondere Bauteildicke | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Vermeidung störender Einflüsse durch Lärmquellen im Prüfumfeld - Zugänglichkeit - ausreichende Robustheit der Prüfoberfläche | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Bei der Klopfrage wird die Beschaffenheit eines oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche beurteilt. Das Abklopfen erfolgt i.d.R. unter Zuhilfenahme eines Hammers. Die Intensität des Klopfens entscheidet, ob die oberflächennahen Schichten oder die tieferen Bauteilschichten zum Schwingen gebracht werden. Bei schwachem Klopfen dringen die Stoßwellen weniger tief ein, bei starkem Klopfen dringen die Stoßwellen tiefer ein. Bei der Beurteilung ist vor allem zwischen hellem und dumpfen bzw. höher- und niederfrequentem Klang zu unterscheiden. Ein heller Klang und deutlich spürbarer Rückprall des Hammers lassen auf guten Beton schließen. Zur besseren Unterscheidung des Klangs ist es ratsam, verschiedenartige Bereiche mehrmals abzuklopfen. Der Klang ist abhängig vom Luftgehalt im Inneren des Bauteil, bedingt durch Porosität des Materials oder durch Hohlräume, sowie vom Spannungszustand, Elastizität und Schwingungsfähigkeit des Materials. | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schneller erster Eindruck über mögliche Hohllagen (Verdachtsstellen) - subjektive Bewertung der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Erfahrung des Prüfers - nachfolgende Untersuchungen zur Aufklärung sind notwendig | |

| | | | |
|--|------|----------------|------------|
| Messmethode | | | |
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| Messgeräte - Zimmermannshammer | | | |
| Messgröße - Frequenzgehalt des hörbar reflektierten Schalls | | | |
| Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) | | | |
| <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Klopfprobe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abklopfen in regelmäßigem Raster - ggf. Anzeichnen von Verdachtsstellen <p>4. Auswertung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Subjektive Bewertung des reflektierten Schalls <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung von Verdachtsstellen in einem Kataster - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weiterführende Untersuchungen, z.B. mit Ultraschall | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 1/5 | 1/5 | 1/5 | 3/5 |


| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten - Impakt-Echo |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Kastner, Richard H. (2004): Altbauten - Beurteilen, Bewerten. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., S.18 [2] Ivanyi, György (2002): Prüfung von Betonbrücken. 2.2 Methoden. 2.2.3 Abklopfen der Oberfläche. Technik der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076. In: Fritz Vollrath und Heinz Tathoff (Hg.): Handbuch der Brückeninstandhaltung. 2. Aufl. Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, S. 59–72. [3] Mertens, Martin; Gunkel, Oliver (2014): Bauwerksprüfung nach DIN 1076: Archaisches Abklopfen oder moderne Technik? Vortrag 4. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2014: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (Fachtagung Bauwerksdiagnose). |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke) Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010) - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Impakt-Echo</p> engl.: Impact Echo | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten - Delaminationen - Rückwand | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung mittels Anregung von elastischen Wellen durch einen kurzen mechanischen Impuls (Schlag mit Impaktor), den Impakt, und Messung der Resonanzfrequenz. [Einseitige Messung am Bauteil mit Impaktor und Sensor] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Bauteildicke und Schichtdicke [4] - Nachweis lokaler oder flächiger Verbundstörungen oder Delaminationen [4] - Ortung von Hohlstellen und Rissen [4] - Untersuchung der Gleichmäßigkeit des Bauteils durch Kalibrierung über Ultraschallgeschwindigkeit [4] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - keine Anwendung bei [3] - einer Vielzahl an Rissen im Mauerwerk - Mauerwerk mit Steinen unterschiedlicher Festigkeit - stark bewitterten und unregelmäßigen Oberflächen - losen Schichten auf der Oberfläche | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - für die Dickenmessung muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt sein (Ermittlung der Schallgeschwindigkeit an einem Punkt bekannter Dicke in demselben Bauteil) [3] - gleichmäßiges Mauerwerk mit glatter Oberfläche [3] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim Impakt-Echo-Verfahren erfolgt die Anregung der elastischen Wellen mit einem kurzen Schlag (Impakt) von Hand auf die Bauteiloberfläche mit einem sogenannten Impaktor, i.d.R. eine Kugel. Der Impaktor bestimmt durch seinen Durchmesser die Kontaktzeit und den eingebrachten Frequenzgehalt. Bei der erzeugten Welle handelt es sich um Lambwellen. Die Messung erfolgt in einem Raster entlang von festgelegten Linien oder einer Fläche. Zur Messung der generierten Wellen und der Resonanzfrequenzen wird ein Sensor auf die Bauteiloberfläche nahe dem Anregungspunkt gedrückt. Dazu ist kein Koppelmittel nötig. Aus den abgelesenen Frequenzen kann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit die Entfernung des Reflektors bzw. der Schichtgrenze von der Betonoberfläche ermittelt werden. An der Grenzfläche zu Luft erfolgt beim Impakt-Echo eine Totalreflexion. Hinter einer Luftschicht können also keine Informationen gewonnen werden. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - geringere Auflösung und somit ungenauer als Ultraschall Echo - durch manuelle Anregung kein exakt gleichmäßiger Energieeintrag - durch die Anwendungsgrenzen kann Impakt-Echo kaum an realem Mauerwerk angewandt werden | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> -kugelförmiger Impaktor mit kleinem Durchmesser (hohe Frequenzanteile) : geringe Dicken und kleine Objekte im Nahbereich - Impaktor mit großem Durchmesser (für tiefe Frequenzbereiche) : größere Dicken - geeignete Auswahl der Impaktoren (3 bis 30 mm Kugeldurchmesser) für großes Tiefenspektrum | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Kenntnis: Schallgeschwindigkeit v in [m/s]</p> <p>Messgröße: Frequenz f in [Hz] im oberen Hör- und unteren Ultraschallbereich zwischen 2 bis 40 kHz</p> <p>Zielgröße: Bauteildicke d in [m],</p> <p>Berechnung der Zielgröße: $d = v/(2 \cdot f)$</p> | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Auswahl eines geeigneten Impaktors - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit vorzugsweise an Stelle mit bekannter Dicke <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Impakt-Echo</p> <p>4. Auswertung [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verschiebung der Resonanzfrequenz bei angrenzenden Materialien mit hohen Impedanzen wie z.B. Stahl - auch bei guter Qualität des eigentlichen Messsignals können störende Reflexion an Begrenzungsflächen oder inneren Objekten (Seitenwände, Fugen, Bewehrungsbündel, Rohre) auftreten <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung von Verdachtsstellen in einem Kataster - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weiterführende Untersuchungen, z.B. mit Ultraschall | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 3/5 | 3/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2011): Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 11).</p> <p>[2] Impakt-Echo. Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 15–17.</p> <p>[3] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commision, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[4] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commision, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren Ultraschall Transmission/ Durchschallungs-Verfahren engl.: Ultrasonic Transmission | | Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Erhaltungszustand: Druckfestigkeit | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Inhomogenitäten durch Erzeugung von mechanisch angeregten Impulsen im Prüfkopf und deren Ausbreitung sowie Beeinflussung (z.B. Reflexion am Riss) nach den Gesetzmäßigkeiten von elastischen Wellen im zu prüfenden Bauteil [Aktive Aussendung von Signalen] [Zweiseitige Messung am Bauteil mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden oder versetzten Flächen des Prüfkörpers = Durchschallung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von Hohlstellen in der Größenordnung von 20 bis 100 mm [7] - Ortung von Einlagerungen und Inhomogenitäten (innerhalb von Steinen) [3] - Verwitterungszustand und Festigkeit von Natursteinen [3] (gemäß [7] begrenzt möglich) - Verlauf und Tiefe von Rissen sowie verborgene Schalenablösungen parallel zur Oberfläche [3] (gemäß [7] begrenzt möglich) - als Ergänzung zum Radar-Verfahren für Detailuntersuchungen von kleineren Bauteilen | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - bis ca. 50 - 70 cm Bauteildicke [3] - keine Informationen hinter Hohlräumen (Luft) [3] - Porosität, Zusammensetzung und Gefüge des Mauerwerks beeinflussen Prüfergebnis [3] - Untersuchung großer Flächen ist mit hohem Mess- und Zeitaufwand verbunden, da das Ultraschallgerät für jede Messung an der Prüfoberfläche händisch umgesetzt werden muss [3] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Bestimmung von Bauteildicken und Schichtdicken mit Ultraschall in Reflexionsanordnung [7] | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - beidseitige Zugänglichkeit zum Prüfobjekt [3] bei Messanordnung in Transmission - Messungen der Gesteinsfestigkeit an entnommenen Bohrkernen kalibrieren [2] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung An Mauerwerk wird das Ultraschall-Verfahren primär in Transmissionsanordnung angewendet; es werden Ultraschallimpulse im Frequenzbereich zwischen 20 kHz und 1 MHz erzeugt. Das Prüfgerät besteht aus einem Ultraschallsender und - abhängig von der Messanordnung -aus einem oder mehreren Empfängern. Bei den erzeugten Impulsen handelt es sich um Transversalwellen. Für die Messung muss das Prüfgerät auf die Betonoberfläche gedrückt und in einem Raster versetzt werden. Das Raster wird durch die Größe der zu detektierenden Objekte bestimmt. Die elastischen Wellen breiten sich im Medium aus; treffen die elastischen Wellen einen Hohlraum können sie sich nicht ausbreiten und laufen einen Umweg. So kommt es zur Veränderung der Laufzeit, die dann auf ungeschädigte oder geschädigte Bereiche Rückschlüsse zulässt. An der Grenzfläche zu Luft erfolgt bei Ultraschall nahezu eine Totalreflexion. [3] Eine Rekonstruktion der Rohdaten mit entsprechender Software liefert eine verbesserte bildgebende Darstellung der Ergebnisse. [7] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - zerstörungsfrei, nicht berührungslos + weitgehend feuchte- und salzunabhängig im Gegensatz zu Radar [3] - auf Grund hoher Frequenzen, somit kurzer Wellenlängen und damit höherer Absorption ist die Reichweite im Vergleich zur Mikroseismik begrenzt, dafür aber die Auflösung höher [3] - keine Erkundung von Bereichen hinter Hohlräumen im Gegensatz zu Radar - im oberflächennahen Bereich blind | | | |

| Messmethode | | | | |
|---|------|--|------------|--|
| <p>Messaufbau Ultraschallmessungen zur Abschätzung von Gefügeauflockerungen © Dr. Gabriele Patitz</p> | |  | | <p>Ultraschallsensoren zur Materialbeurteilung © Dr. Gabriele Patitz</p> |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ultraschallprüfgerät mit anregendem Frequenzbereich zwischen 20 kHz bis 1 MHz [3] <ul style="list-style-type: none"> - hohe Frequenz: geringere Eindringtiefe, höhere Auflösung - niedrige Frequenz: höhere Eindringtiefe, geringere Auflösung | | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Kenntnis oder Berechnung: Schallgeschwindigkeit v in [m/s] Messgröße: Laufzeit t in [μs] Zielgröße: Bauteildicke d in [m] Berechnung der Zielgröße: $d = v * t/2$ (ggf.: $v = \lambda * f$)</p> | | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Ultraschallprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Messung durch Versetzen des Ultraschall-Prüfsensors in einem bestimmten Raster 4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung: z.B. Rekonstruktion der Rohdaten mit SAFT-Auswertung - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Darstellung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen | |
| 3/5 | 3/5 | 3/5 | 3/5 | |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Proceq (Produktreihe: Pundit)</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p><u>Varianten Ultraschall:</u></p> <p>- Ultraschall Reflexion/ Sende-Empfangs-Verfahren/ Impuls-Echo-Technik: einseitige Messung mit einem einzelnen, kombiniertem Sende- und Empfängerprüfkopf</p> <p>- Ultraschall Transmission/ Durchschallungstechnik nach DIN EN ISO 16823: zweiseitige Laufzeitmessung am Bauteil = Durchschallung des Bauteils mit Sende- und Empfängerprüfkopf auf gegenüberliegenden oder versetzten Flächen des Prüfkörpers</p> <p>- gleiche Verfahrensprinzip wie Mikroseismik</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (in Fertigstellung): Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 04).</p> <p>[2] Ultraschall. Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 12–15.</p> <p>[3] Patitz, Gabriele (2012): Altes Mauerwerk zerstörungsfrei mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 203–245.</p> <p>[4] Wendrich, Astrid (2009): Zerstörungsfreie Ortung von Anomalien in historischem Mauerwerk mit Radar und Ultraschall. Möglichkeiten und Grenzen. Berlin: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM (BAM-Dissertationsreihe, Band 47).</p> <p>[5] Patitz, Gabriele; Illich, Bernhard (2001): Durchschaut. Zerstörungsfrei und Substanz schonend alte Mauerwerksstrukturen untersuchen. In: Bautenschutz + Bausanierung (08), S. 10–16.</p> <p>[6] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[7] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> <p>- DIN EN ISO 5577: 2017-05: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Terminologie.</p> <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <p>- Die Ultraschallprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "UT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Ultraschallprüfung durchzuführen.</p> |

Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)

- DIN EN 12668, 2010-05: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 1: Prüfgeräte
- DIN EN 12668, 2010-06: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 2: Prüfköpfe
- DIN EN 12668, 2014-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung_ Teil 3: Komplette Prüfausrüstung
- DIN EN ISO 2400: 2013-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr. 1
- DIN EN ISO 7963: 2010-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr 2
- DIN EN ISO 16809, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Dickenmessung mit Ultraschall. [Entwurf]
- DIN EN ISO 16810, 2014-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Allgemeine Grundsätze.
- DIN EN ISO 16811, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Empfindlichkeits- und Entfernungsjustierung.
- DIN EN ISO 16823, 2014-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Durchschallungstechnik
- DIN EN ISO 16826, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Prüfung auf Inhomogenitäten senkrecht zur Oberfläche.
- DIN EN ISO 16827, 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Beschreibung und Größenbestimmung von Inhomogenitäten.
- DIN EN ISO 16828: 2014-06: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beugungslaufzeittechnik, eine Technik zum Auffinden und Ausmessen von Inhomogenitäten
- DIN EN ISO 16946: 2017-07: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Stufenkeil-Kalibrierkörpers
- DIN EN ISO 18563: Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays

Merkblätter DGZfP

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (in Fertigstellung): Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 04).

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten


- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Mechanisch angeregtes Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Mikroseismik</p> engl.: Microseismic | | Prüfaufgabe - Erhaltungszustand: Druckfestigkeit - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung mittels Laufzeitmessung durch Erzeugung von mechanisch angeregten Impulsen im Prüfkopf und deren Ausbreitung sowie Beeinflussung (z.B. Reflexion am Riss) nach den Gesetzmäßigkeiten von elastischen Wellen im zu prüfenden Bauteil | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Untersuchung größerer Bauteile und Pfeiler [3] - Verwitterungszustand und Festigkeit von Natursteinen [3] - Verlauf und Tiefe von Rissen sowie verborgene Schalenablösungen [3] - Ortung von Fehlstellen, Hohlräumen und Inhomogenitäten [3] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - <u>ab</u> ca. 50 - 70 cm Bauteildicke [3] - keine Informationen hinter Hohlräumen (Luft) [3] - Porosität, Zusammensetzung und Gefüge des Mauerwerks beeinflussen Prüfergebnis [3] - Untersuchung großer Flächen ist mit hohem Mess- und Zeitaufwand verbunden, da der Impulshammer für jede Messung an der Prüfoberfläche umgesteert werden muss [3] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Bestimmung von Bauteildicken mit der Mikroseismik in Reflexionsanordnung | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - beidseitige Zugänglichkeit zum Prüfobjekt [3] bei Messanordnung in Transmission - Messungen der Gesteinsfestigkeit an entnommenen Bohrkernen kalibrieren [2] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung An Mauerwerk wird das Mikroseismik-Verfahren primär in Transmissionsanordnung angewendet; es werden mittels Impulshammer Impulse im Frequenzbereich zwischen 1 kHz bis 10 kHz erzeugt. Die elastischen Wellen werden an Schichtgrenzen oder an der Grenzfläche von Inhomogenitäten reflektiert oder an Reflektoren wie metallischen Verbindungsmitteln rückgestreut. An der Grenzfläche zu Luft erfolgt bei der Mikroseismik nahezu eine Totalreflexion. Hinter einer Luftschicht können also keine Informationen gewonnen werden. Aus der Laufzeit von den reflektierten Impulsen kann dann die Entfernung und das Ausmaß der detektierten Objekte vom und zum Prüfkopf bestimmt werden. Erfasst werden die reflektierten Impulse mit einem Geophon bzw. Beschleunigungsaufnehmer. Eine Rekonstruktion der Rohdaten mit entsprechender Software liefert eine verbesserte bildgebende Darstellung der Ergebnisse. [3,6] Die Mikroseismik kann je nach Prüfaufgabe und Messanordnung in Transmissionsseismik, Reflexionsseismik und Refraktionsseismik unterschieden werden. [7] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - zerstörungsfrei, nicht berührungsfrei, baustelleneeignet + weitgehend feuchte- und salzunabhängig im Gegensatz zu Radar [3] + auf Grund niedriger Frequenzen, somit langer Wellenlängen und damit niedrigerer Absorption ist die Reichweite im Vergleich zu Ultraschall höher, dafür aber die Auflösung geringer - keine Erkundung von Bereichen hinter Hohlräumen im Gegensatz zu Radar | | | |

| Messmethode | | | |
|---|-------------|---|-------------------|
| <p>Messaufbau Geophonauslage zur Beurteilung der Homogenität eines Brückenpfeilers © Dr. Gabriele Patitz</p>  | | <p>Seismik: Signalanregung mittels Hammerschlag © Dr. Gabriele Patitz</p> | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Signalanregung mit Impulshammer mit Frequenzbereich zwischen 1 kHz bis 10 kHz [3] - Signalerfassung mit Geophon/ Beschleunigungsaufnehmer - Bestimmung der Laufzeit des Kompressionsimpulses mit digitaler Seismikapparatur | | | |
| <p>Messgröße</p> <p>Kenntnis oder Berechnung: Schallgeschwindigkeit v in [m/s] Messgröße: Laufzeit t in [μs]</p> | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Mikroseismik <ul style="list-style-type: none"> - Messung mittels Signalanregung mit Impulshammer und entsprechendem Signalempfänger 4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Darstellung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 3/5 | Zeit 4/5 | Kosten 3/5 | Fachwissen 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| Gerätehersteller, Software |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - gleiches Verfahrensprinzip wie Ultraschall - Beton: Parallel-Seismik an Bohrpfählen, Spundwänden und Schlitzwänden zur Längenbestimmung |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (in Fertigstellung): Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 04).</p> <p>[2] Ultraschall. Mechanisch angeregte Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 12–15.</p> <p>[3] Patitz, Gabriele (2012): Altes Mauerwerk zerstörungsarm mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2012. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 203–245.</p> <p>[4] Patitz, Gabriele; Illich, Bernhard (2001): Durchsicht. Zerstörungsfrei und Substanz schonend alte Mauerwerksstrukturen untersuchen. In: Bautenschutz + Bausanierung (08), S. 10–16.</p> <p>[5] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[6] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> <p>[7] Duppel, Christoph (2010): Ingenieurwissenschaftliche Untersuchungen an der Hauptkuppel und den Hauptpfeilern der Hagia Sophia in Istanbul. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p> <p>Der Unterschied zwischen Mikroseismik und Seismik liegt im anregenden Frequenzbereich. Bei der Seismik liegt der Bereich bei kleiner als 1 kHz, der bei der Mikroseismik liegt dieser Bereich zwischen 1 bis 20 kHz. Die Mikroseismik ist im Prinzip die Anwendung der Seismik auf eine geringere Reichweite. Aber dennoch mit weiterer Reichweite als das Ultraschall-Verfahren.</p> |

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektrisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Geoelektrik/ Widerstandsverfahren</p> engl.: Geoelectric | | Prüfaufgabe - Inhomogenitäten - Feuchteverteilung | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch Messung der Potentialdifferenz zwischen auf der Mauerwerksoberfläche aufgesetzten Elektroden, die dem Mauerwerk Strom zuführen und anschließende Bewertung des spezifischen Widerstands [Indirekte Feuchtemessung: Elektrisches Verfahren] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) [2] - Bestimmung der Feuchte- und Salzverteilung - Ortung von Hohlräumen | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Sicherstellen eines guten elektrischen Kontakts zwischen Mauerwerk und Messapparatur, ggf. Herstellen von Bohrlöchern zum Einsetzen der Messapparatur [1] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Bei der Geoelektrik werden zur Widerstandsmessung mindestens zwei Elektroden mit angeschlossener Stromquelle und zwei Sonden zur Messung der Potentiale benötigt. Die Messung größerer Bereiche erfolgt mit einer Geoelektrik Tomographie. Hierzu werden eine Vielzahl, i.d.R. 24 bis 48, Mini-Elektroden-Sonden entlang einer Messlinie angeordnet und mit einem speziellen Kabel verbunden. Diese Messanordnung nennt sich Multielektrodenauslage. Mit einer Schaltapparatur können verschiedene Sonden-Elektroden-Kombinationen angesteuert werden. Durch die unterschiedlichen Messkombinationen ergibt sich ein dichtes Messraster und eine Vielzahl an Tiefenstufen. Die unterschiedlichen Leitfähigkeiten im Prüfkörper können mit Hilfe von Software bildgebend dargestellt und ausgewertet werden. [2,4] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) - begrenzt zerstörungsfrei durch Herstellung des guten elektrischen Kontakts zwischen Mauerwerk und Messapparatur mittels Bohrlöchern [3] | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| <p>Messgeräte</p> <p>Geoelektrikapparatur bestehend aus [1,4]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elektroden- Sonden-Kombination zur Ankopplung an das Prüfobjekt (mit hohem elektrischen Widerstand: ~ 10 MΩ) - Stromquelle als Signalgeber - Volt- und Amperemeter zur Signalmessung - ggf. Software zur digitalen Datenverarbeitung und Auswertung - ggf. Bohrmaschine | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Potentiale - Zielgröße: Bereiche mit verschiedenen spezifischen Widerständen, die auf Hohlstellen oder unterschiedliche Feuchteverteilung hinweisen | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Festlegung Messraster - Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit - ggf. Herstellen von Bohrlöchern für Messapparatur <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Geoelektrik</p> <ul style="list-style-type: none"> - Widerstandsmessung <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung: Datenrekonstruktion - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Darstellung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weiterführende Untersuchungen/ weitere Verfahrenskombinationen | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 4/5 | 3/5 | 4/5 |

| |
|---|
| Weiterführende Informationen |
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[2] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> <p>[3] Rieche, Günter (Hg.) (2004): Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.</p> <p>[4] Kruschwitz, Sabine (2014): Vortrag 5 - Feuchtemessung im Bauwesen - ein Überblick. Fachtagung Bauwerksdiagnose. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. Berlin, 2014.</p> <p>[5] GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH (Hg.) (2019): Die Widerstandsgeoelektrik. Online verfügbar unter https://www.ggukarlsruhe.de/PDFs/Verfahren/GGU_Die_Widerstandsgeoelektrik_WID98-C.pdf.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Feuchtemessverfahren unterscheiden sich in direkte und indirekte Verfahren:

Die direkten Verfahren liefern einen quantitativen Wert über den Feuchtegehalt; sie benötigen keine weiteren Eichmessungen, werden aber baustoffzerstörend durchgeführt. Die indirekten Verfahren liefern ohne weitere Eichmessungen nur qualitative Werte über den Feuchtegehalt bzw. die Feuchteverteilung; sie können allerdings zerstörungsfrei durchgeführt werden. Nach [4] lassen sich die direkten und indirekten Verfahren weiter unterteilen:

Direkte Verfahren

- Darr-Wäge-Verfahren
- Calcium-Carbid-Methode CM

Indirekte Verfahren

- 1 Elektrische Verfahren
 - **Widerstandsverfahren/ Geoelektrik**
 - Kapazitive Verfahren:
 - Impuls-Radar
 - Mikrowellenverfahren
 - Mikrowellen-Bohrlochverfahren
 - Time Domain Reflectometry TDR)
- 2 Radiometrische Verfahren
 - Neutronenrückstreuung
 - Nuklearmagnetische Resonanz NMR
- 3 Thermische Verfahren
 - Infrarot-Thermographie
- 4 Hygrometrische Verfahren
 - Ausgleichsfeuchtesonde

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Radar</p> | | Prüfaufgabe - Feuchteverteilung - Rückwand, - Bewehrung | |
| engl.: RA dio D etection A nd R anging | | | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch Laufzeitmessung nach Erzeugung von elektromagnetischen Impulsen im Prüfkopf und deren Ausbreitung nach den Gesetzmäßigkeiten von elastischen Wellen im Bauteil. [Einseitige Messung am Bauteil mit Sender und Empfänger = Reflexionsanordnung] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Radar als Flächenuntersuchung zur Strukturerkundung - Bestimmung von Bauteildicke, Wandschichtenaufbau, Steineinbindetiefen und innerem Zustand - Ortung von Hohlräumen - Ortung konstruktiver Elemente (Stahlträger, Bewehrung in Mauerwerk, Ringanker, Steinklammern) - qualitative Bestimmung der Feuchte- und Salzverteilung (quantitativ über Kalibrierungen) - Differenzierung verschiedener Gefügestände (kompakt - hohlraumreich, feucht - trocken) als Basis für kalibrierende Öffnungen | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - stark strukturierte (mit Ornamenten versehene) Oberflächen erlauben nur wenige oder kurze Datenprofile - bei verputztem MW erfordert die Bestimmung der Steineinbindetiefe ein sehr enges Messraster - Eindringtiefe wird von der Leitfähigkeit beeinflusst: Durchfeuchtetes Mauerwerk und gelöste Salze haben hohe Leitfähigkeit, was eine hohe Absorption bewirkt und eine geringe Eindringtiefe zur Folge hat [3] - bei zu geringem Materialkontrast zwischen MW und anstehendem Erdreich/ Fels ist Bestimmung der Mauerdicke nicht möglich - Anhalten einer Stahlplatte kann u.U zu besseren Rückwandinformationen führen - keine eindeutige Detektion von Luftschichten, die nur wenige cm dick sind | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Ortung von Objekten durch gezielte Abschattung (Anhalten einer Stahlplatte) oder direkte Reflexion (Verschieben oder Ausbleiben von Signalen) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Bauteiloberfläche muss trocken sein - es dürfen keine metallischen Gewebe in der Putzschicht vorhanden sein - Material und entsprechende Ausbreitungsgeschwindigkeit müssen bekannt sein - Kalibrierung der Laufzeit an Bauteil bekannter Dicke | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Beim Radar- Verfahren werden elektromagnetische Impulse erzeugt und ausgesendet. "Die Wellenausbreitung im Bauteil hängt von der Verteilung der dielektrischen Eigenschaften ab. Auf ihrem Weg wird die Welle an Grenzflächen von Materialien mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften gestreut und reflektiert." [1] Gemauerte Außenschalen und hohlraumreiche geschichtete/ geschüttete Innenverfüllungen weisen unterschiedliche Dielektrizitätszahlen auf, daher lassen sich Schallengrenzen unterscheiden. An den Grenzflächen zwischen Luft (Fehlstelle/ Hohlraum oder Rückwand) und Mauerwerk kommt es ebenfalls zu Reflexionen. Anhand der Tiefe des Reflektors im Bauteil kann ein Hohlraum geortet werden oder die Wanddicke bestimmt. RADAR wird primär in der Reflexionsanordnung verwendet, das heißt, sowohl Sende- als auch Empfänger befinden sich in einer Messeinheit. Die Messungen werden in einem dichten Abstand von wenigen Millimetern weg- oder zeitgesteuert automatisch ausgelöst. An jedem Messpunkt wird die Amplitude der empfangenen Reflexionen über die Zeit aufgetragen (A-Bild), die Messung vieler Punkte nacheinander entlang einer Linie nennt sich Radargramm (B-Bild), die flächige Messung nennt sich Zeitscheibe (C-Bild). Bei einem Radargramm handelt es sich um ein "Schnitt" ins Bauteil entlang der Messlinie. Bei Zeitscheiben handelt es sich um die Darstellung von Reflexionsstärken in entsprechend dem Erkundungsziel gewählten Tiefen parallel zur Bauteiloberfläche. Eine Datenverarbeitung der Ergebnisse mit einer SAFT-Rekonstruktion durch Migration erzielt eine bessere bildgebende Darstellung der Ergebnisse. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + vollständig zerstörungsfrei und (abgesehen von Laufrädern) berührungslos [3] + Erfassung der Ergebnisse und Auswertung vor Ort möglich [3] + Erkundung von Bereichen hinter Hohlräumen im Gegensatz zu Ultraschall und Mikroseismik [3] + Tiefenauflösung (hintereinander liegende Strukturen können abgebildet werden) + schnell und flächendeckend: Erkundung großer Flächen in vergleichsweise kurzer Zeit (in Abh. Von Zugänglichkeit) - keine Aussagen zur Materialfestigkeit im Gegensatz zu Ultraschall [3] | | | |

| Messmethode | | | |
|---|-------------|---------------|-------------------|
| <p>Messaufbau</p>  <p>(1) Falkenbachviadukt, Hohlräume und Erkundung von Steineinbindetiefen mit einem 1,5 GHz Sensor, (2) EÜ Eisenstein, Kontrolle des Injektionserfolges mit einem 900 MHz Sensor, (3) 400 MHz Sensor zur Erkundung des Mauerwerkszustandes an einer Natursteinbogenbrücke, (4) 200 MHz Sensor zur Erkundung von Mauerdicken bei Stützmauern, © Dr. Gabriele Patitz</p> | | | |
| <p>Messgeräte</p> <p>Radarmessgerät mit Antennenfrequenz: [4]</p> <ul style="list-style-type: none"> - $f_{\text{Radar}} > 400 \text{ MHz}$ bis 2 GHz mehrere Zenti- bis Dezimeter Detektionstiefe für gute Auflösung im oberflächennahen Bereich (höhere Frequenz = geringere Eindringtiefe, höhere Auflösung) - $f_{\text{Radar}} < 200 \text{ MHz}$ bis zu mehreren Metern Detektionstiefe bei geringerer Auflösung <200 MHz eher irrelevant, 900 MHz und 400 MHz sind für Mauerwerk geeignete typische Sensoren (niedrige Frequenz = höhere Eindringtiefe, geringere Auflösung) - ggf. Hilfskonstruktion zur Führung der Sensoren- Software zur digitalen Datenverarbeitung und Auswertung | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Laufzeit in [ns], Reflexionsstärken, Absorptionsstärken - Zielgröße: Bauteildicke in [cm], Tiefenlage von Einbauteilen, Homogenität von Mauerinnenfüllungen, Feuchte-Salzverteilung - $d = v \times t / 2$, $v = \lambda \times f$, $R = (v_2 - v_1) / (v_2 + v_1)$ - $v_{\text{Luft}} = 30 \text{ cm/ns}$ | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung (Abstimmung von Genauigkeitsanforderungen) - Sichtung von Prüfvorschriften-/empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik - Festlegung der Frequenz bezüglich Eindringtiefe und Auflösungsvermögen - Festlegung der Messrichtung und Messdichte (Profilabstände) bezüglich der zu detektierenden Objekte 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Radar <ul style="list-style-type: none"> - Kontrolle der zuvor festgelegten Prüfplanung und ggf. Anpassung vor Ort - Messung durch Abfahren der Oberfläche mit dem Radar-Prüfgerät - Plausibilitätskontrolle vor Ort 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Auswertung der Messergebnisse: Datenrekonstruktion (Migration/ SAFT) - Bewertung, Ansprache und Interpretation der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll (Darstellung als Ergebnisplan) 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - ggf. weitere Verfahrenskombinationen mit Ultraschall, Thermographie etc. [1] - ggf. Angabe von Öffnungen für gezielte Kalibrierungen - ggf. Kombination mit zerstörenden Verfahren | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik 3/5 | Zeit 1/5 | Kosten 3/5 | Fachwissen 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Radar in Transmissionsanordnung mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des zu prüfenden Objekts wird für Spezialmessungen wie die Bestimmung materialbezogener Wellengeschwindigkeiten genutzt.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2008): Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Merkblatt B 10. Ausg. Februar 2008, überarb. Fassung. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. - Merkblätter, B 10).</p> <p>[2] Radar. Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 19–21.</p> <p>[3] Patitz, Gabriele; Wietersheim, Mark von; Zöller, Matthias (2016): Bauteiluntersuchung. Notwendigkeit und Grenzen. Köln: Bundesanzeiger Verlag (Baurechtliche und -technische Themensammlung, Heft 7).</p> <p>[4] Patitz, Gabriele (2012): Altes Mauerwerk zerstörungsarm mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. In: Nabil A. Fouad (Hg.): <i>Bauphysik-Kalender 2012</i>. Weinheim, Germany: Ernst & Sohn, S. 203–245.</p> <p>[5] Bergmeister, Konrad; Mark, Peter; Österreicher, Michael; Sanio, David; Heek, Peter; Krawtschuk, Alexander et al. (2015): VII Innovative Monitoringstrategien für Bestandsbauwerke. Zerstörungsfreie Überprüfungen und Lebensdauerbewertung einer Bogenbrücke. Kapitel 9. In: Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann Dietrich Wörner (Hg.): <i>Beton-Kalender</i>. Bauen im Bestand Brücken. Band 1. Teil 1 von 2. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst. [Praxisbeispiel]</p> <p>[6] Maierhofer, C.; Leipold, S. (2001): Radar investigation of masonry structures. In: NDT & E International 34 (2), S. 139–147. DOI: 10.1016/S0963-8695(00)00038-4.</p> <p>[7] Wendrich, Astrid (2009): Zerstörungsfreie Ortung von Anomalien in historischem Mauerwerk mit Radar und Ultraschall. Möglichkeiten und Grenzen. Berlin: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM (BAM-Dissertationsreihe, Band 47).</p> <p>[8] Patitz, Gabriele; Illich, Bernhard (2001): Durchsicht. Zerstörungsfrei und Substanz schonend alte Mauerwerksstrukturen untersuchen. In: Bautenschutz + Bausanierung (08), S. 10–16.</p> <p>[9] Maierhofer, Christiane; Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) (2000): Radaranwendungen im Bauwesen. In: ZfP-Zeitung 12 (72), S. 43–50.</p> <p>[10] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[11] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - Internationale Normen: <ul style="list-style-type: none"> - ASTM D6429, 1999: Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. - ASTM D6432 - 11, 2011: Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. |

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Internationale Veranstaltungen zum Radar-Verfahren:

- International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR) seit 1986 (2018: 17th International Conference on Ground Penetrating Radar)

| | | | |
|---|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Mikrowellen</p> | | Prüfaufgabe - Feuchteverteilung: Feuchtegehalt | |
| engl.: Measurement of the Moisture Content: Microwave Method | | | |
| Kurzbeschreibung zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung des relativen Feuchtegehalts durch Messung des Unterschieds zwischen der Dielektrizitätszahl von Wasser zur Dielektrizitätszahl vom Baustoff [Indirekte Feuchtemessung: Dielektrisches Verfahren] | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Oberflächenfeuchte [1] als großflächige Rastermessung [4] - Bestimmung der Feuchteverteilung im Volumen (z.B. in Vollziegeln, Klinkern, Hohlziegeln, Poroton, Sandstein) [1] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Eindringtiefen von 2-6 cm mit Resonator-Applikatoren (für Oberflächenfeuchte), bis zu 50 cm Eindringtiefe mit Patch-Applikatoren (für Volumenfeuchte) [2] - für die volumenbezogene Feuchte ist eine weitgehend materialunabhängige Kalibrierung möglich, für die massebezogene Feuchte benötigt man zur Kalibrierung eine Angabe der Rohdichte des Baustoffs [1] - Mikrowellen werden an Inhomogenitäten im Prüfkörper gestreut, was zu einer Verfälschung des Empfangssignals führen kann [1] | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Kalibrierung der Sensoren gemäß WTA-Merkblatt [6] - Außentemperatur ab 5°C [6] - Zugänglichkeit zum Prüfkörper von einer Seite aus [3] - glatte und ebene Prüffläche [3] | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Das Mikrowellen-Feuchtemessverfahren beruht auf dem dielektrischen Effekt und "auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Wasser ist ein polares Molekül, d.h. die Ladungsschwerpunkte fallen innerhalb des Moleküls örtlich nicht zusammen. Deswegen richtet sich das Wassermolekül in einem von außen angelegten Feld in einer Vorzugsrichtung aus, es ist polarisierbar. Wird ein Mikrowellenfeld angelegt, dann beginnen die Moleküle mit der Frequenz des Feldes zu rotieren (Orientierungspolarisation). Dieser Effekt wird makroskopisch durch die physikalische Größe Dielektrizitätskonstante (Abkürzung DK, Formelzeichen ϵ) gekennzeichnet. Der dielektrische Effekt ist bei Wasser so stark ausgeprägt, daß die relative DK von Wasser etwa 80 beträgt. Die relative DK der meisten Feststoffe, darunter auch der Baustoffe, ist wesentlich kleiner, sie liegt im Bereich 2 ...10 und vorzugsweise zwischen 3 und 6. Der Meßeffect wird daher verursacht durch den Unterschied zwischen der DK von Wasser und der DK der Baustoffe. Wegen des großen Unterschiedes zwischen diesen Werten lassen sich auch kleine Wassermengen schon gut detektieren.]Zur Messung wird ein Sensor (Aufsetz-Messkopf) auf die Wandoberfläche aufgesetzt.] Gemessen werden sowohl die ins Material hineinlaufende elektromagnetische Welle als auch die vom Material reflektierte Welle." [3] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + keine Beeinflussung der Feuchtemessung durch Salze im Mikrowellenbereich durch hohe Frequenzen [2] + genaue Aufnahme von vielen Messwerten in kurzer Zeit [3] | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|----------------|------------|
| Messaufbau | | Messergebnisse | |
| - | | - | |
| <p>Messgeräte</p> <p>Portables Handmessgerät bestehend aus [6]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mikrowellensonde für Volumenmessung der Materialfeuchte im Messgut oder - Mikrowellensonde für Oberflächenmessung der Materialfeuchte (anregender Frequenzbereich von ~ 2,45 GHz) - Steuergerät - Software zur Auswertung | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rasterfeuchtegraphik mit Feuchteverteilung und Tiefenschichten | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellung Messkonzept - Festlegung Messraster (Startpunkt und Scanrichtung) - Festlegung der Ortsauflösung <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Mikrowellen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Durchführung der Messung durch Abfahren der Prüfoberfläche mit Mikrowellen-Scanner <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Datenverarbeitung und Auswertung mit Software - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 3/5 | 3/5 | 3/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- hf sensor GmbH: MOIST-Serie, z.B. MOIST 350 B: Portables Rasterfeuchtemesssystem für Bauanwendungen [Link: http://www.hf-sensor.de/deutsch/feuchtemessung.html]</p> |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Mikrowellen-Bohrloch-Verfahren [2,7]: entwickelt an der Bundesanstalt für Materialforschung BAM; wurde im Rahmen von [7] erprobt; Einführung von Sensoren in das Bohrloch für Feuchteprofilmessungen</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Rieche, Günter (Hg.) (2004): Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.</p> <p>[2] Kruschwitz, Sabine (2014): Vortrag 5 - Feuchtemessung im Bauwesen - ein Überblick. Fachtagung Bauwerksdiagnose. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. Berlin, 2014.</p> <p>[3] Göller, A.: Handheld-Mikrowellen-Feuchtemeßgeräte der MOIST-Serie - Anwendungen und Einsatzfälle im Bausektor. Poster 11. In: Feuchtetag 1999, DGZfP-Berichtsband BB 69-CD, S. 1–10. Online verfügbar unter http://www.dgzfp.de/Portals/24/PDFs/BBonline/bb_69-CD/bb69-p11.pdf.</p> <p>[4] Göller, A.: MOIST SCAN – Multischicht-Feuchtescans auf großen Flächen in der Praxis. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2010, S. 1–9. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/bau-zfp2010/papers/p11.pdf.</p> <p>[5] Göller, A.: MOIST SCAN 200 – Feuchtescans an Bauteilen und Wänden. Poster 01. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2012, S. 1–7. Online verfügbar unter http://bauwerksdiagnose2012.dgzfp.de/Portals/bwd2012/Dokumente/bb/p01.pdf.</p> <p>[6] hf sensor GmbH (Hg.) (2013): Handheld-Mikrowellen-Rasterfeuchtemesssystem. MOIST 350 B. Datenblatt. Leipzig. Online verfügbar unter http://www.hf-sensor.de/download/moist350b.pdf.</p> <p>[7] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsiteformasonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <p>- DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe.</p> <p>- DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <p>- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.</p> <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <p>- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <p>- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <p>- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.</p> |

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Feuchtemessverfahren unterscheiden sich in direkte und indirekte Verfahren:

Die direkten Verfahren liefern einen quantitativen Wert über den Feuchtegehalt; sie benötigen keine weiteren Eichmessungen, werden aber baustoffzerstörend durchgeführt. Die indirekten Verfahren liefern ohne weitere Eichmessungen nur qualitative Werte über den Feuchtegehalt bzw. die Feuchteverteilung; sie können allerdings zerstörungsfrei durchgeführt werden. Nach [2] lassen sich die direkten und indirekten Verfahren weiter unterteilen:

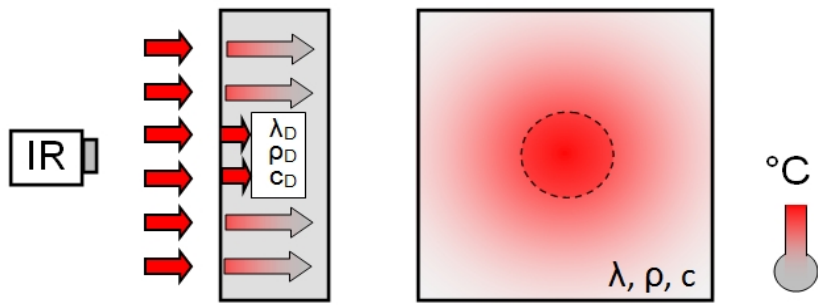
Direkte Verfahren

- Darr-Wäge-Verfahren
- Calcium-Carbid-Methode CM

Indirekte Verfahren

- 1 Elektrische Verfahren
 - Widerstandsverfahren/ Geoelektrik
 - Kapazitive Verfahren:
 - Impuls-Radar
 - **Mikrowellenverfahren**
 - **Mikrowellen-Bohrlochverfahren**
 - Time Domain Reflectometry TDR)
- 2 Radiometrische Verfahren
 - Neutronenrückstreuung
 - Nuklearmagnetische Resonanz NMR
- 3 Thermische Verfahren
 - Infrarot-Thermographie
- 4 Hygrometrische Verfahren

| | | | |
|--|--|---|--|
| Physikalische Grundlage | | Elektromagnetisches Messprinzip | |
| Verfahren <p style="text-align: center;">Aktive/ Instationäre Thermographie</p> engl.: Active/ Transient Thermography | | Prüfaufgabe - Inhomogenitäten - Feuchteverteilung | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung durch bildgebende Erfassung von Inhomogenitäten im oberflächennahen Bereich eines Bauteils durch einen gezielt veränderlichen Wärmefluss und lokale Temperaturunterschiede im Bauteil. - Oberflächenverfahren | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Ortung von Hohlräumen und Inhomogenitäten im oberflächennahen Bereich bis zu 10 cm [6] - Ortung von Putzablösungen auf Mauerwerk und von Strukturen hinter Beschichtungen [6] - Darstellung der Mauerwerksstruktur (Stein und Fuge) hinter Putz [6] - Ortung von Fachwerkträgern hinter Putzschicht - Lokalisierung von Anschlüssen und Verbindungsmitteln in zweischaligem Mauerwerk - Bestimmung der Feuchteverteilung im oberflächennahen Bereich [6,7] | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Prüfung bei Umgebungsbedingungen wie Regen, hohe Luftfeuchte und starker Wind sowie Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit, Feuchte und Verunreinigungen können das Prüfergebnis verfälschen -inhomogene, dickwandige Bauteile mit komplizierter Geometrie schwieriger zu prüfen | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Zugänglichkeit der Bauteiloberfläche für Erwärmungsprozess - trockene und windstille Umgebung | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung In der Thermographie wird zwischen aktiver und passiver Thermographie unterschieden. Die passive Thermografie wird in der Bauphysik angewandt und nutzt die Eigenwärme des Objektes für thermografische Messungen zur Ortung von Kälte- bzw. Wärmebrücken. Bei der aktiven Thermografie hingegen wird das Objekt gezielt mit entsprechenden thermischen Anregungstechniken erwärmt. So entsteht ein künstlich erzeugter, zeitlich und/ oder räumlich veränderlicher Wärmefluss (instationärer Wärmedurchgang durch Aufheiz- oder Abkühlvorgänge), der einen Temperaturgradient zur Oberfläche und/ oder Umgebung erzeugt. Der Temperaturgradient wird dadurch hervorgerufen, dass sich "bei einer äußeren Erwärmung die Wärme vor Fehlstellen im Bauteil anstaut, wenn die Fehlstellen einen geringeren Wärmeeindringkoeffizienten b als das umgebende Material haben." [2] Das gezielt erzeugte Erwärmungs- oder Abkühlverhalten der oberflächennahen Bereiche wird mit einer Wärmebildkamera thermografisch aufgenommen und anschließend ausgewertet. Inhomogenitäten werden durch Temperaturunterschiede sichtbar. Der Wärmedurchgang wird beeinflusst von der Wärmeleitfähigkeit, der Dichte und der Wärmekapazität des Prüfkörpers. [6] Die aktive Thermographie unterscheidet sich nach der zeitlichen Anregung in: [3] - Lock-in-Thermografie (LT): Anregung durch kontinuierliche sinusförmige Signale einer definierten Frequenz und Auswertung durch Messung der Zeitverzögerung (Phase) und der Amplitude des Antwortsignals für die entsprechende Frequenz (nicht praxisgerecht für das Bauwesen, weil die Aufnahmezeit um die 24 Stunden andauert) - Impuls-Thermografie (IT) : Anregung durch einen thermischen Impuls mit einer großen Anzahl an unterschiedlichen Frequenzen und Auswertung im Zeitbereich über die Temperaturdifferenz - Puls-Phase-Thermographie(PPT) : eine Weiterentwicklung der Impuls-Thermographie, Anregung wie bei der IT durch einen thermischen Impuls, Auswertung durch Thermogrammserie, um mittels einer fast Fourier Transformation (FFT) die Phasenversögerung der lokalen Wärmeausbreitung im Bild festzuhalten. | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + vollständig zerstörungs- und berührungsfrei + Einführung der instationären und aktiven Verfahren in die Bauthermografie macht alte Einschränkung auf Heizsaison und gleichzeitig kühle Klimazonen überflüssig + durch PPT erzielte Thermogramme liefern ein sehr gutes Signal-Rausch-Verhältnis und somit eine höhere Nachweisempfindlichkeit der Defektgeometrie und bessere Tiefenauflösung als die IT - Thermische Belastung und Gefahren der Anregungsquelle: je tiefer die Objekte liegen, desto länger die Aufwärm- und Beobachtungszeiten (bis zu 1 Stunde) | | | |

| Messmethode | | | |
|--|------|--------|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p>Aktive Thermografie: Schema</p> <p>© A. Taffe, HTW Berlin</p> <p>[7]</p>  | | | |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Infrarotkamera (IR-Kamera) mit Zubehör wie Speicherkarte und Stativ - Computer zur digitalen Aufzeichnung - Temperatur- und Luftfeuchtemesser - Stromversorgung (ggf. Kabeltrommeln) - Thermische Anregungsquelle: <ul style="list-style-type: none"> - Wärmestrahlung (Sonneneinstrahlung, Infrarotstrahler, Halogenlampe, Blitzlampe) - Konvektion (Heizlüfter, Heißluftpistole, Bautrockner, Blower Door) - Wärmeleitung (Heizmatten, Kühlkissen) - elektromagnetische Induktion/ elektrischer Strom | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatur-Zeit-Kurve: Verlauf der Temperatur T in [C] über die Zeit t in [s] [4] - Temperaturkontraste in den aufgenommenen Thermogrammen (qualitative Auswertung) [4] - Auswertung von Temperatur-Zeit-Kurven/Transienten (quantitative Informationen) [4] | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <p>1. Informationen zur Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen <p>2. Prüfplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl des Prüfsystems: Festlegung der thermischen Anregungsquelle und einer geeigneten IR-Kamera - Festlegung der Prüfbereiche, der Prüfsystematik und der Positionierung des Prüfsystems - Festlegung der geforderten Genauigkeit der Ergebnisse (die aufwändigere PPT für sehr subtile Signale oder hohe Ergebnisqualität; die weniger aufwändige IT für den Normalfall) - Festlegung der Art der zeitlichen Anregung (Impulsdauer) und der räumlichen Anregung <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Thermographieprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme der Thermogramme <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und Beschreibung der Umgebungsbedingungen - Erfassung von einer Sequenz von Thermogrammen - Auswertung von vollständigen thermischen Sequenzen, einzelnen Thermogrammen oder Transienten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres</p> | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 2/5 | 4/5 | 5/5 |

| Weiterführende Informationen |
|--|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - InfraTec GmbH [https://www.infratec.de/thermografie/anwendungsgebiete/aktive-thermografie/] - edevis GmbH [https://www.edevis.com/content/de/active_thermography.php] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (2013): Merkblatt über das aktive Thermographieverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Merkblatt B 05. Ausgabe April 2013. Berlin: DGZfP.</p> <p>[2] Infrarot-Thermografie. Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. - Merkblätter), S. 21–23.</p> <p>[3] Arndt, Ralf; Hillemeier, Bernd; Maierhofer, Christiane; Rieck, Carsten; Röllig, Mathias; Scheel, Horst; Walther, Andrei (2004): Zerstörungsfreie Ortung von Fehlstellen und Inhomogenitäten in Bauteilen mit der Impuls-Thermografie. In: Bautechnik 81 (10), S. 786–793. DOI: 10.1002/bate.200490185.</p> <p>[4] Maierhofer, Christiane; Arndt, Ralf; Röllig, Mathias; BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (23. und 2006): Aktive Thermografie zur zerstörungsfreien Ortung von Ablösungen und Fehlstellen in Beton und Mauerwerk. Vortrag 15. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen, 100-CD. Berlin: DGZfP, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V (DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V - Berichtsbände, 100). Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/bau-zfp2006/v15.pdf.</p> <p>[5] Binda, Luigia; Zanzi, Luigi; Rodriguez Santiago, Jesus; Knupfer, Beatriz; Johansson, Bernth; Modena, Claudio et al. (2006): Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment". Online verfügbar unter https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5ad6b4d-a0b5-4d79-888d-2fb1fe962da4/language-en.</p> <p>[6] Recommendations for the end-users. Project report D11.3 (2006). In: Luigia Binda, Luigi Zanzi, Jesus Rodriguez Santiago, Beatriz Knupfer, Bernth Johansson, Claudio Modena et al.: Onsite masonry project. On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings : EUR 21696 EN. Hg. v. Christiane Maierhofer und Christian Köpp. Brussels: European Commission, Directorate-General for Research, Directorate "Environment", S. 1–73.</p> <p>[7] Rieche, Günter (Hg.) (2004): Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Infrarotthermographieprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "TT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Infrarotthermographieprüfung durchzuführen. |

Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)

- DIN EN 16714-1, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 1: Allgemeine Grundlagen.
- DIN EN 16714-2, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 2: Geräte.
- DIN EN 16714-3, 2016-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 3: Begriffe
- DIN EN 17119, 2018-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Aktive Thermografie.
- DIN 54183, 2018-02: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Induktiv angeregte Thermografie.
- DIN 54184, 2017-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Impulsthermografie mit optischer Anregung.
- DIN 54185, 2018-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Lock-in-Thermografie mit optischer Anregung [Entwurf]

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

| | |
|---|--------------------------------------|
| Physikalische Grundlage | Elektromagnetisches Messprinzip |
| Verfahren Durchstrahlungsprüfung / Radiographie engl.: Radiographic Testing/ Radiography | Prüfaufgabe - Bewehrtes Mauerwerk |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils durch unterschiedliche Schwächung (Absorption) von ionisierender Primärstrahlung durch Dichte-, Dicken- und Materialunterschiede im Bauteil. - Volumenverfahren | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - als Ergänzung zum Radar-Verfahren für gezielte Detailuntersuchungen [2] - Bestimmung der Lage und Geometrie von metallischen Einbauteilen wie Stahlträgern, Bewehrung und Ankern [2] - Bestimmung von Materialunterschieden [2] | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - erschwerte Interpretation der bildgebenden Aufnahme durch unregelmäßige Bauteilgeometrie (z.B. Ornamente) [2] | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - mehrseitige Zugänglichkeit des zu untersuchenden Bauteils - Gefahrgutverordnung für Transport der Radionuklide erforderlich | |
| Verfahrensbeschreibung | |
| Langbeschreibung Bei der Durchstrahlungsprüfung wird auf der einen Seite des zu untersuchenden Bauteils eine Strahlenquelle, Röntgenröhre oder radioaktive Strahlenquelle im Gammabereich, gemäß der zu untersuchenden Bauteildicke aufgestellt. Die ausgehende ionisierende Strahlung wird durch Dichte-, Dicke- und Materialunterschiede unterschiedlich geschwächt. Die innere Struktur des Bauteils wird in einer bildgebenden Aufnahme in verschiedenen Graustufen dargestellt. Mauerwerk wird auf Grund der geringeren Dichte i.d.R. schwarz dargestellt, die Bewehrung auf Grund der höheren Dichte und größeren Absorption in Grautönen. Auf der gegenüberliegenden Bauteilseite wird diese abgeschwächte Primärstrahlung mittels Röntgenfilmen, Speicherfolien, Fluoroskopen, Bildverstärkern oder Flachdetektoren detektiert und aufgenommen. Mit Hilfe einer Vielzahl von Aufnahmeanordnungen aus verschiedenen Betrachtungswinkeln (Mehrwinkeltechnik) kann durch Rekonstruktionsrechnungen die genaue Geometrie und Lage von Einbauteilen ermittelt werden. [1,2,4] | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + berührungslos und komplett zerstörungsfrei - Verkehrseinschränkung während der Prüfung durch Strahlenschutz - Transport von Gefahrgut - Vielzahl an Aufnahmen und Versetzen des versuchaufbaus sind langwierig | |

| Messmethode | | | |
|--|---|---|---|
| <p>Messaufbau Radiographie an Mauerwerk: Strahlenquelle, A. Taffe, HTW Berlin</p> |  | <p>Messergebnisse Radiographie an Mauerwerk: Bildaufnahmesystem, A. Taffe, HTW Berlin</p> |  |
| <p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strahlenquelle (in Abhängigkeit von Bauteildicke): [1,4] <ul style="list-style-type: none"> - Röntgenröhre - Gammastrahler mit dem Radionukliden Iridium oder Kobalt - Betatrone oder Linearbeschleuniger - Bildaufnahmesystem: Röntgenfilm, Speicherfolie, Fluoroskop, Bildverstärker, Flachdetektor [1,4] - Steuergerät zur Regelung der Spannung und Stromstärke für die Strahlungsintensität und –energie - Stromanschluss | | | |
| <p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rekonstruktion und Darstellung der verschiedenen Strahlungsintensitäten in bildgebender Form - Festgelegte(s) Merkmal(e): z.B. Risse, innenliegende Fehler <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Abmessungen und Lage einer Schadstelle usw. | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung [1, DGZfP B02] <ul style="list-style-type: none"> - Wahl der Strahlungsenergie und Strahlenquelle sowie Aufnahmetechnik (z.B. Röntgenfilm, digitale Speicherfolien) - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Aufnahmeanordnung - Ermittlung der Belichtungszeit - Festlegung des abzusperrenden Bereichs auf Grund der Strahlenschutzverordnung 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Durchstrahlungsprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Analoge Filmtechnik: Filmverarbeitung (Entwicklung, Zwischenwässerung, Fixierung, Schlusswässerung, Netzmittelbad, Trocknung) - Anbringen des Bildgütetests 4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - ggf. Bildbearbeitung der eingescannten Durchstrahlungsfilm mit Hilfe von speziellen Bildverarbeitungssystemen verbessert die Aussagekraft - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| <p>Technik 5/5</p> | <p>Zeit 3/5</p> | <p>Kosten 5/5</p> | <p>Fachwissen 5/5</p> |

| |
|--|
| Weiterführende Informationen |
| Gerätehersteller, Software |
| Verwandte Verfahren/ Messvarianten |
| Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Durchstrahlungsprüfung (RT) (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht. [2] Weise, F.; Redmer, B., Patitz, G.: Kombinierte Anwendung bildgebender zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Strukturaufklärung antiker Baudenkmäler. In: Konferenzband EVA 2004 Berlin Elektronische Bildverarbeitung & Kunst, Kultur, Historie, S. 57–67. Online verfügbar unter https://books.ub.uni-heidelberg.de/arhistoricum/reader/download/169/169-17-75907-1-10-20161020.pdf . [3] Hasenstab, Andreas; Redmer, B.: Radiografie im Bauwesen und Kombination anderer ZfP-Verfahren. In: Fachtagung Bauwerksdiagnose 2016, S. 1–14. Online verfügbar unter http://www.bauwerksdiagnose2016.de/%5CPortals%5Cbwd2016%5CB%5Cvortrag%2011.pdf . [1] Radiographie (Durchstrahlungsprüfung). Elektrische und elektromagnetische Verfahren (2014). In: DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E V - Merkblätter) S 23–24 |
| Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) |
| Terminologie (ICS 01.040.19) - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. - DIN EN 1330-3, 1997-10: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 3: Begriffe der industriellen Durchstrahlungsprüfung. |
| Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30) - Die Durchstrahlungsprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "RT" gekennzeichnet. Nach DIN EN ISO 9712:2012-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung muss eine Personalqualifizierung der Stufe 1, 2 oder 3 erworben werden, um die Durchstrahlungsprüfung durchzuführen. |
| Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100) - DIN EN 14784-1, 2005-11: Zerstörungsfreie Prüfung – Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien – Teil 1: Klassifizierung der Systeme. [Teil 2: zurückgezogen] - DIN EN 16016-01, 2011-12: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 1: Terminologie - DIN EN 16016-2, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben - DIN EN 16016-03, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 3: Durchführung und Auswertung - DIN EN 16016-04, 2012-01: Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren - Computertomografie — Teil 4: Qualifizierung - DIN EN 13068-1, 2000-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 1: Quantitative Messung der bildgebenden Eigenschaften - DIN EN 13068-2, 2000-02: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 2: Prüfung der Langzeitstabilität von bildgebenden Systemen - EN 13068-3, 2001-12: Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen - DIN EN 25580, Zerstörungsfreie Prüfung — Betrachtungsgeräte für die industrielle Radiographie — Minimale Anforderungen - DIN EN ISO 15708-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 1: Terminologie [Entwurf] - DIN EN ISO 15708-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben - DIN EN ISO 15708-3, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 3: Durchführung und Auswertung - DIN EN ISO 15708-4, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie - Teil 4: Qualifizierung - DIN EN ISO 10675-1, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen für die Durchstrahlungsprüfung – Teil 1: Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen. [Teil 2: Aluminium] - DIN EN ISO 19232-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen - Teil 1: Bildgüteprüfkörper (Drahtsteg) — Ermittlung der Bildgütezahl |

- DIN EN ISO 19232-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 2: Bildgüteprüfkörper (Stufe/Loch Typ) — Ermittlung der Bildgütezahl
- DIN EN ISO 19232-4, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 4: Experimentelle Ermittlung von Bildgütezahlen und Bildgütetabellen
- DIN EN ISO 20769-1, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Durchstrahlungsprüfung auf Korrosion und Ablagerungen in Rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen – Teil 1: Tangentiale Durchstrahlungsprüfung.
- DIN EN ISO 20769-2, 2018-12: Zerstörungsfreie Prüfung – Durchstrahlungsprüfung auf Korrosion und Ablagerungen in Rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen – Teil 2: Doppelwand-Durchstrahlungsprüfung.

Röntgenfilme (37.040.25)

- DIN EN ISO 11699-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Klassifizierung von Filmsystemen für die industrielle Durchstrahlungsprüfung [Ersatz für DIN EN 584-1:1994-10]
- DIN EN ISO 11699-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Kontrolle der Filmverarbeitung mit Hilfe von Referenzwerten
- DIN EN 14096-1, 2003-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung von Röntgenfilm-Digitalisierungssystemen - Teil 1: Definitionen; quantitative Messung von Bildqualitätsparametern; Standard-Referenzfilm und Qualitätssicherung
- DIN EN 14096-2, 2003-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung von Röntgenfilm-Digitalisierungssystemen - Teil 2: Mindestanforderungen

Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)

Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)

- VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung.

Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)

- DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

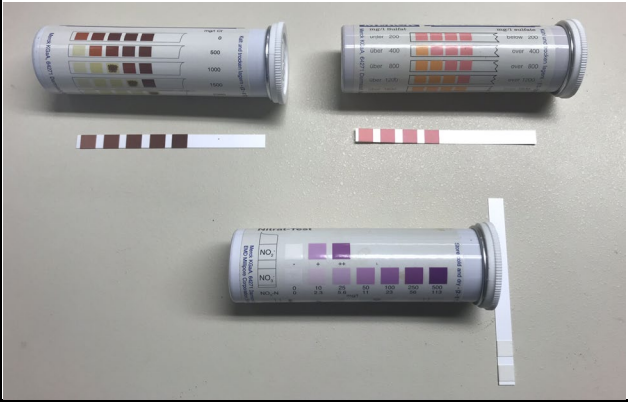
Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung)

| | | | |
|--|--|--|--|
| Physikalische Grundlage | | Chemisches Messprinzip | |
| Verfahren Salzanalyseverfahren | | Prüfaufgabe - Baustoffzusammensetzung: Elementgehalt - Bauschädliche Salze: Salzgehalt | |
| Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung des Vorhandenseins und Bestimmung der Art von bauschädlichen Salzen mit der qualitativen Salzanalyse und anschließende Bestimmung der Verteilung und der Menge der Salze (Salzkonzentration) mit der halbquantitativen oder der quantitativen Salzanalyse. | | | |
| Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Nachweis von wasserlöslichen Salzen wie Chlorid, Nitrat, Karbonat, Sulfat (Anionen) <i>[Salze sind zusammengesetzt aus Anionen und Kationen; Nachweis von Kationen (Eisen, Blei, Calcium, Magnesium, Kalium, Kupfer) ist i.d.R. irrelevant, weil unschädlich für Baustoffe]</i> | | | |
| Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) | | | |
| Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) | | | |
| Bauseitige Voraussetzungen - Zugänglichkeit der Bauteiloberfläche für geeignete Entnahmegерäte (Kernbohrgerät) - Entnahme einer repräsentativen Probe - Qualifiziertes Personal für Laboranalysen: Arbeiten im chemischen Labor erfordern große Sorgfalt und Vorsicht sowie Fachkenntnisse | | | |
| Verfahrensbeschreibung | | | |
| Langbeschreibung Unterscheidung in qualitative Salzanalyse, halbquantitative Salzanalyse und quantitative Salzanalyse. Die qualitative Salzanalyse liefert nur die Aussage, ob Salze vorhanden sind; man unterscheidet in trocken-chemische und nass-chemische Analysemethoden. Die trocken-chemischen Methoden eignen sich als Vorprüfung für einfache Nachweise. Die nass-chemischen Methoden liefern mit ihren Prüfungen den vollständigen Nachweis. Die halbquantitative Salzanalyse kann als Prüfung im Labor oder vor Ort mit einem Teststreifen an einem Probenstück durchgeführt werden und dient dann als Grundlage für weiterführende Prüfungen wie Probenahme für Labor, Entscheidung über weitere Proben, Anzahl der Proben und Stellen der Proben; Probenahme an der Oberfläche des Objekts durch Abkratzen von Ausblühungen. Die quantitative Salzanalyse wird zur genauen Bestimmung des Salzgehaltes und der Salzeindringtiefe mit tiefengestaffelten Analysen an Proben verwendet. Die quantitative Salzanalyse lässt sich mit der Gravimetrie/ Gewichtsanalyse oder der Volumetrie (Titration)/ Maßanalyse sowie der Photometrie durchführen. [1] | | | |
| Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + qualitative Salzanalyse: keine zerstörende Probenahme +/- halbquantitative Salzanalyse: Salzgehalt in Gruppeneinteilung, handelsüblich zu kaufen - quantitative Salzanalyse: zerstörende Probenahme, dafür exakter Salzgehalt - Bestimmung jeweils nur eines chemischen Elementes in einem Analysengang an demselben Präparat (d.h. Probe muss geteilt werden) - quantitative Verfahren sind durch aufwändigen Aufschluss der probe und einen Geräteeinsatz zeitaufwändig | | | |

| Messmethode | | | |
|---|------|--|------------|
| <p>Messaufbau</p> <p style="text-align: right;">Teststreifen: Chlorid-Test (oben links), Sulfat-Test (oben rechts), Nitrat-Test (unten) J. Wiese, HTW Berlin</p> | |  | |
| <p>Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel)</p> <ul style="list-style-type: none"> - chemische Lösung bzw. Teststreifen - Kernbohrgerät für Probeentnahme | | | |
| <p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salzgehalt als Masseanteil der Probe in Prozent [M- %] | | | |
| <p>Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellung eines Probenahmeplans 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) <ul style="list-style-type: none"> - Probeentnahme vor Ort - entweder Entnahme von Bohrmehl (tiefengestaffelt) oder Entnahme von Bohrkernproben - Durchführung der chemischen Analyse im Labor 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres | | | |
| Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand) | | | |
| Technik | Zeit | Kosten | Fachwissen |
| 3/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |

| Weiterführende Informationen |
|---|
| <p>Gerätehersteller, Software</p> <p>-Halbquantitative Salzanalyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Macherey-Nagel GmbH & Co. KG: QUANTOFIX Teststäbchen [http://www.mn-net.com/tabid/4770/Default.aspx] - Hach: QuanTab Test Strips [https://de.hach.com/quick.search-quick.search.jsa?keywords=quantab] |
| <p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> |
| <p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Moschig, Guido F. (2014): Bausanierung. Grundlagen - Planung - Durchführung. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden</p> |
| <p>Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)</p> <p>Terminologie (ICS 01.040.19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 1330-1, 2015-05: Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 1: Allgemeine Begriffe. - DIN EN 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. |
| <p>Literaturverzeichnis III (Allgemeine Regelwerke)</p> <p>Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01)</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDI 6200, 2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. <p>Ingenieurbau im Allgemeinen (ICS 93.010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 1076, 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes</p> <ul style="list-style-type: none"> - RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13. |
| <p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentare</p> |