



Berichte
des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 8 (2021)

Prüfverfahren Zustandserfassung Bau

Modul „Zerstörungsfreie Prüfverfahren“

Berichte des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung, Nr. 8 (2021)

Prüfverfahren Zustandserfassung Bau

Modul „Zerstörungsfreie Prüfverfahren“

Impressum

HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10

01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

REDAKTION

DZSF

PUBLIKATION ALS PDF

<http://www.dzsf.bund.de/veroeffentlichungen>

ISSN 2629-7973

Dresden, Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
Teil 1 – Prüfverfahren Stahl.....	9
1.1 Sichtprüfung	11
1.2 Endoskopie: Boreskope.....	115
1.3 Endoskopie: Fiberskope	119
1.4 Endoskopie: Videoskope.....	23
1.5 Abreißversuch.....	27
1.6 Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung.....	311
1.7 Keilschnitt.....	11
1.8 Eindringprüfung PT.....	11
1.9 Mobile Härteprüfung HT Rückprallverfahren nach Leeb	11
1.10 Mobile Härteprüfung HT nach dem UCI-Verfahren.....	11
1.11 Mobile Härteprüfung HT nach dem TIV-Verfahren	11
1.12 Mobile Härteprüfung HT nach dem Rockwell-Prinzip.....	12
1.13 Klopffprobe.....	12
1.14 Schallemissionsprüfung AT.....	12
1.15 Ultraschallprüfung UT.....	12
1.16 Magnetfeldänderung (Schichtdickenbestimmung).....	712
1.17 Magnetpulverprüfung MT	12
1.18 Wirbelstromprüfung ET	12
1.19 Infrarotthermographieprüfung TT.....	12
1.20 Durchstrahlungsprüfung RT	12
1.21 Optische Emissionsspektroskopie OES.....	12
1.22 Röntgenfluoreszenzanalyse RFA	95
Teil 2 – Prüfverfahren Beton.....	13
2.1 Sichtprüfung	15
2.2 Endoskopie: Boreskope.....	15
2.3 Endoskopie: Fiberskope	15
2.4 Endoskopie: Videoskope.....	15
2.5 Ausziehprüfung	15
2.6 Abreißversuch.....	15

2.7	Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung.....	15
2.8	Rückprallhammer / Schmidt-Hammer	15
2.9	Klopfprobe.....	15
2.10	Impakt-Echo.....	15
2.11	Ultraschall: Echo (und Transmission)	15
2.12	Low-Strain-Verfahren / Hammerschlag-Methode.....	15
2.13	Magnetisches Gleichfeld.....	15
2.14	Magnetisches Wechselfeld.....	16
2.15	Remanenzmagnetismus / Magnetische Streufeldmessung.....	16
2.16	Radar	16
2.17	Aktive Thermografie	16
2.18	Durchstrahlungsprüfung / Radiographie.....	16
2.19	X-Ray Diffraction – XDF / Röntgendiffraktometrie.....	16
2.20	Neutronensonde	16
2.21	Potentialfeldmessung.....	16
2.22	Indikatorverfahren: Phenolphthalein	16
2.23	Salzanalyseverfahren	16
2.24	Laser-induzierte Plasmaspektroskopie LIPS.....	16
2.25	Röntgenfluoreszenzanalyse RFA	16
2.26	Energiedispersive Röntgenanalyse EDA.....	16
Teil 3 - Prüfverfahren Mauerwerk.....		18
3.1	Sichtprüfung	19
3.2	Endoskopie: Boreskope.....	19
3.3	Endoskopie: Fiberskope	19
3.4	Endoskopie: Videoskope.....	19
3.5	Klopfprobe.....	219
3.6	Impakt-Echo.....	219
3.7	Ultraschall: Echo (und Transmission)	219
3.8	Mikroseismik.....	2219
3.9	Geoelektrik	224
3.10	Radar	19
3.11	Mikrowellen	19
3.12	Aktive Thermografie	19
3.13	Radiografie	19
3.14	Salzanalyseverfahren	19

Vorwort

Anwender auf Seiten der Infrastrukturbetreiber/Baulastträger stehen regelmäßig vor dem Problem, dass es zu Verfahren der Zustandserfassung jenseits der klassischen handnahen Inspektion/Bauwerksprüfung kaum unabhängige Informationen gibt.

Seit 1991 – zunächst als Loseblattsammlung und ab 2004 als webbasierter Katalog – schloss das ehemalige ZfPBau-Kompodium der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung diese Lücke für den Bereich der zerstörungsfreien Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau-Verfahren). Seit Anfang 2017 ist das ZfPBau-Kompodium nicht mehr über die Website der BAM verfügbar.

Im BMVI-Expertennetzwerk Wissen Können Handeln wurden unter Federführung des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt ein neuer Katalog **Prüfverfahren Zustandserfassung Bau** entwickelt, dessen erstes Modul jetzt verfügbar ist. Dieses Modul beinhaltet drei wesentliche Komponenten:

- strukturiert dargestellte praxisrelevante Prüfaufgaben
- einheitlich aufgebaute Beschreibungen der relevanten Prüfverfahren
- Verknüpfungsmatrix zwischen Prüfaufgaben und Verfahren, aus der die Eignung der Verfahren für die jeweilige Prüfaufgabe hervorgeht

Die Arbeiten zu zerstörungsfreien Prüfverfahren für Prüfaufgaben an Brücken aus Stahl, Beton und Mauerwerk sind abgeschlossen. Ein Modul, das zerstörende Verfahren beschreibt, ist derzeit in Bearbeitung. Weitere Module sind angedacht.

Das hier vorliegende **Modul „Zerstörungsfreie Prüfverfahren“** fasst die in den Forschungsvorhaben erarbeiteten Verfahrensbeschreibungen zusammen. Für Hintergrundinformationen sowie die Verknüpfungsmatrizen sei auf die die Schriftenreihe „Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung“ verwiesen.

Bericht 6 (2021):


[ZfPBau-Verfahren für Ingenieurbauwerke aus Stahl und Umsetzung einer Logik für die Nutzung und den Abruf der Daten \(Stahl\)](#)

Bericht 7 (2021):

[Bericht 7 \(2021\): Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der ZfPBau-Verfahren und Techniken für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schiene \(Beton und Mauerwerk\)](#)

Teil 1 – Prüfverfahren Stahl

Physikalische Grundlage		Optisches Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Sichtprüfung</p> engl.: Visual Testing VT		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen	
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 mechanischen und optischen Qualitätsmerkmalen durch Wahrnehmen, Vergleichen, Schätzen, Zählen und Messen [1] - Erkennen von: - Korrosion und Rostflecken, - Fehler von Niet- und Schraubverbindungen, - Fehler von Schweißverbindungen (z.B. Nahtüberhöhung, Wurzeldurchhang, Einbrandkerben) - Rissen [2] - Dehnungsänderungen [3] - Feststellen und ggf. Aufmessen von Beulen und Verformungen - Beurteilung von Beschichtungsschäden, z.B. Blasengrad, Rostgrad, Rissgrad, nach DIN EN ISO 4628-1...10 - Sichtprüfung als grundlegende Prüfung für weiterführende Untersuchungen			
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 jedoch u.U. nicht die Merkmale, die mit Hilfsmitteln detektiert werden können - keine Detektion von feinen Oberflächenrissen im Vergleich zu MT und PT - keine Detektion von Fehlern unter der Oberfläche			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p style="text-align: right;">Ausbeulungen an Stahlbrücke A. Taffe, HTW Berlin</p>			
<p>Messgeräte</p> <p>- ggf. Hilfsmittel wie Spiegel, Linsen, Endoskope oder Foto- und Videotechnik</p>			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse, Korrosion, Ausbeulungen/ Verformungen</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, Verformung) auf dem Bauwerk zur Beurteilung der Schadstelle (Risswachstum, Beule); 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
<p>Gerätehersteller, Software</p> <p>-</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Endoskopische Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) <p>- Oberflächenprüfverfahren:</p> <p><u>Mechanische Verfahren</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Eindringprüfung PT (bei nicht magnetischen Werkstoffen) <p><u>Magnetische Verfahren</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Magnetpulverprüfung MT (bei ferromagnetischen Werkstoffen) (- <i>Wirbelstromprüfung ET (bei leitenden Werkstoffen)</i>) <p>→ Magnetpulverprüfung und Eindringprüfung wie Sichtprüfung mit visueller Auswertung; zusätzlich: Erkennen von feinen Oberflächenrissen, die für das menschliche Auge unsichtbar sind</p>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hrsg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Unterlagen für den Unterricht. Sichtprüfung (VT) - V1 Grundlagen der Sichtprüfung.</p> <p>[2] Kastner, Richard H. (2004): Altbauten - Beurteilen, Bewerten. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., Verfahren 5: Augenschein, S.7-15</p> <p>[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 (Hrsg.): Handbuch der Brückeninstandhaltung. 2. Aufl. Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, S. 59–72.</p> <p>[4] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</p> <p>[5] Schiebold, Karlheinz (2015): Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung - Sichtprüfung. 1. Auflage mit 110 Bildern und 11 Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.</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>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 5817, 2014-07: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. - DIN EN ISO 10042, 2019-01: Schweißen - Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe. - DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen.

Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (ICS 87.040)

DIN EN ISO 4628-1, 2016-07: Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden –

Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen

Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem

Teil 2: Bewertung des Blasengrades

Teil 3: Bewertung des Rostgrades

Teil 4: Bewertung des Rissgrades

Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades

Teil 6: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Klebebandverfahren

Teil 7: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Samtverfahren

Teil 8: Bewertung der von einem Ritz oder einer anderen künstlichen Verletzung ausgehenden Enthftung und Korrosion

Teil 10: Bewertung der Filiformkorrosion

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

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Optisches Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Endoskopie: Boreskope (starre Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Borescope Inspection</p>		Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen 	
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) <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) 			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) <ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von geradlinigen Öffnungen - Feuchtigkeit (durch Schäden oder Nassbohren) sowie Bohrstaub (durch Trockenbohren) - Verzerrungseffekte der Optiken können Deutung der Bilder erschweren - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - keine digitale Speicherung der Bilder (bei einfachen Geräten) 			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) <ul style="list-style-type: none"> - Einführung von Instrumenten durch Schaft - Verwendung von Prismenvorsätzen und Schwenkspiegeln für andere Blickrichtung - einzelne Hersteller bieten Boreskope mit Speicherfunktion sowie Foto-und Videofunktion an [4] - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs (ggf. unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) 			
Bauseitige Voraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25 mm als Zugang zum Hohlraum - geradliniger Zugang 			
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 Blickrichtung ist je nach Ausführung: vorwärts, seitwärts, schräg voraus oder rückwärts gerichtet. Die Art des Objektivs bestimmt den Öffnungswinkel des Endoskops. Die Blickrichtung und der Öffnungswinkel bestimmen gemeinsam das Sichtfeld des Endoskops. 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) <ul style="list-style-type: none"> + bessere optische Qualität als flexible Endoskope + höhere Auflösung wegen größerer Bauform der Kamera im Vergleich zu anderen Endoskopen - nicht biegsam 			

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
-		-	
<p>Messgeräte</p> <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. Stativ - ggf. Bohrmaschine und Stromanschluss für Bohrmaschine 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse, Korrosion, Ausbeulungen/ Verformungen</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 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
3/5	3/5	3/5	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. (Hrsg.): 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_Produktbrosch-D_04-2018.pdf</p> <p>[4] PCE Instruments: Boroskop. Online verfügbar unter https://www.pceinstruments.com/deutsch/messtechnik/messgeraete-fuer-alle-parameter/boroskop-kat_10041.htm, zuletzt geprüft am 03.01.2019.</p> <p>[5] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</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>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe. - DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. <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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage	Optisches Messprinzip
Verfahren	Prüfaufgabe
<p style="text-align: center;">Endoskopie: Fiberskope (flexible Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Fiberscope Inspection</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen
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)	
<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) 	
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich)	
<ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - Feuchtigkeit (durch Schäden oder Nassbohren) sowie Bohrstaub (durch Trockenbohren) - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - geringere Auflösung bei kleineren Durchmessern durch geringere Zahl an Bildpunkten 	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)	
<ul style="list-style-type: none"> - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs (ggf. unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) - 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 	
Bauseitige Voraussetzungen	
<ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25 mm als Zugang zum Hohlraum 	
Verfahrensbeschreibung	
Langbeschreibung	
<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. 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,DGZfP B6]</p>	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe)	
<ul style="list-style-type: none"> + flexibler steuerbar als starre Endoskope + geringerer Gerätedurchmesser als bei Videoskopen - geringeres optisches Bildauflösevermögen als beim Boreoskop auf Grund des Rasterbilds der Glasfaserbündel 	

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
-		-	
<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 und Stromanschluss für Bohrmaschine 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse, Korrosion, Ausbeulungen/ Verformungen</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
3/5	3/5	3/5	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. (Hrsg.): 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] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</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>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe. - DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. <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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage	Optisches Messprinzip
Verfahren <p style="text-align: center;">Endoskopie: Videoskope (flexible Video-Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Videoscope Inspection</p>	
Prüfungsaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen 	
Kurzbeschreibung <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 elektrisches Kabel mit CCD-Bildwandlerchip für Videoaufnahmen und einem Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung]</p>	
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfungsaufgaben) <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) 	
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) <ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - Feuchtigkeit (durch Schäden oder Nassbohren) sowie Bohrstaub (durch Trockenbohren) 	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfungsaufgaben) <ul style="list-style-type: none"> - "Einfrieren" von Bildern - Vermessung von Fehlstellen - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs (ggf. unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) 	
Bauseitige Voraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25 mm als Zugang zum Hohlraum 	
Verfahrensbeschreibung	
Langbeschreibung <p>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.</p> <p>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]</p>	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfungsaufgabe) <ul style="list-style-type: none"> + höhere Bildauflösung im Vergleich zu starren und flexiblen Endoskopen + hohe Bruchsicherheit im Vergleich zu Fiberskopen mit empfindlichen Glasfasern + Speicherung von Bildern und Videos mittels der digitalen Technik + höchste Bildübertragungslänge im Vergleich zu starren und flexiblen Endoskopen 	

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
-		-	
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Videoskop mit Durchmesser 4 bis 6mm und bis 8000mm Arbeitslänge [3] - ggf. Bohrmaschine und Stromanschluss für Bohrmaschine 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Festgelegte(s) Merkmal(e): Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse, Korrosion, Ausbeulungen/ Verformungen</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 Prüfaufgab</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
3/5	3/5	3/5	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. (Hrsg.): 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] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</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>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe. - DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. <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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): 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> engl.: Pull-off test	Prüfaufgabe - Beschichtungsstoffe: Haftfestigkeit
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einer Bauteiloberfläche (Stahl-Substrat) durch Messen der Zugkraft, die aufgebracht werden muss, um einen aufgeklebten, flächenmäßig definierten Prüfstempel von der Prüfoberfläche abzureißen.	
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmung der Haftfestigkeit von Ein- und Mehrschichtsystemen (für alle Schichtdicken) auf Bauteiloberflächen	
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Mindestdicke des zu prüfenden Bauteils (Stahl-Substrat): 10 mm [ISO 16276-1] - Beeinflussung des Prüfergebnisses durch: mechanische Eigenschaften des prüfenden Systems, Art und Vorbereitung der Prüfoberfläche des zu prüfenden Bauteils, durch das Auftragsverfahren, die Trocknungs-/ Härtingsbedingungen der Beschichtung, durch Temperatur, Luftfeuchte und andere Faktoren sowie die Art des verwendeten Prüfgerätes [ISO 4624]	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben/ -techniken) - Durchführung der Prüfung an Probenplatten, die gleichzeitig und in gleicher Weise wie die Beschichtung auf dem Bauwerk hergestellt worden sind [DIN EN ISO 16276-1] - Durchführung der Prüfung bei einer Mindestbauteildicke (Stahl-Substrat) von < 10 mm [ISO 16276-1]: - Anwendung der Sandwich-Technik (siehe ISO 4624) - Verstärkung des Bauteils (z. B. Doppel-T-Träger, Grundplatte) - Prüfung nach ISO 16276-2	
Bauseitige Voraussetzungen - Mindestdicke des zu prüfenden Bauteils (Stahl-Substrat): 10 mm [ISO 16276-1] - Vorbereiten der Prüfoberfläche [ISO 16276-1]: - Reinigen der Oberflächen des Prüfstempels und des Beschichtungssystems sowie gründliches Entfetten - ggf. Trocknung der Oberfläche - Überwachung und Aufzeichnung der Wetterbedingungen, Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks und Beschaffenheit der Oberfläche (nass/trocken) über eine Zeitspanne von 24 h vor der Prüfung [DIN EN ISO 16276-1]	
Verfahrensbeschreibung	
Langbeschreibung Bei dem Abreißversuch wird die Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einer Bauteiloberfläche (Substrat) mechanisch geprüft. Dazu wird ein Klebstoff auf die Oberfläche eines Prüfstempels aufgetragen und dieser Prüfstempel wird auf die zu prüfende Beschichtung aufgebracht. Nachdem der Klebstoff erhärtet ist, werden überstehende Klebereste entfernt und die Beschichtung entlang des Prüfstempels bis zur Bauteiloberfläche (Substrat) eingeschnitten. Anschließend wird mit dem Zugprüfgerät der Prüfstempel mit einer konstanten Geschwindigkeit innerhalb von 90 Sekunden abgezogen und die Mindest-Zugspannung gemessen, die aufgewendet werden muss, um einen Adhäsionsbruch (zwischen Beschichtung und Substrat) und/ oder Kohäsionsbruch (in der Beschichtung) der Prüfanordnung hervorzurufen. Abschließend werden die Bruchbilder nach Art des Bruchs ausgewertet.	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfache Handhabung und somit geeignet für den Einsatz auf der Baustelle + im Vergleich zur Gitter- und Kreuzschnittprüfung wird Haftfestigkeit gemessen - Beeinflussung des Prüfergebnisses durch zahlreiche Parameter - Ausbesserungsarbeiten durch oberflächenzerstörende Prüfung entsprechend der Spezifikation des Beschichtungssystems erforderlich [ISO 16276-1]	

Messmethode			
Messaufbau	Messergebnisse		
-			
<p>Messgeräte</p> <p>Prüfzubehör nach DIN EN ISO 4624 und DIN EN ISO 16276-1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Klebstoff (mit besseren Kohäsions- und Adhäsionseigenschaften als die der zu prüfenden Beschichtung) - Prüfstempel: Metallzylinder (nichtrostender Stahl oder Aluminiumlegierung) mit Durchmesser von 20 mm - transportables Zugprüfgerät/ Abreißprüfgerät mit konstanter Kraftanstiegsgeschwindigkeit von ≤ 1 MPa/ s und mit Zentriervorrichtung zur Sicherstellung der coaxialen Ausrichtung der Prüfanordnung - Schneidvorrichtung zur Trennung der Prüffläche vom übrigen Beschichtungssystem 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - zentrische Zugfestigkeit bzw. Abreißfestigkeit in [N/mm²]: (Zugkraft bis zum Abreißen des Stempels in [N]/ Fläche des Prüfstempels in [mm²]) - Dokumentation der Versagensart mit Anteilen an Kohäsions- und Adhäsionsbruch, der Versagenskräfte und der daraus zu berechnenden Oberflächenzugfestigkeit [ISO 16276-1] 			
<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 nach DIN EN ISO 16276-1 Messplan, Inspektionsflächen, Mindestanzahl an Prüfung in Abhängigkeit der Größe der Inspektionsfläche <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 4624: Abreißversuch</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messung und Aufzeichnung folgender Bedingungen während der Prüfung: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks <p>4. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses: Bruchbildanalyse mit Annahme und Ablehnung der Prüfung nach DIN EN ISO 16276-1 - 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
Gerätehersteller, Software
Verwandte Verfahren/ Messvarianten
<p>Übersicht der Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen nach DIN SPEC 91063</p> <p>1. Haftfestigkeitsprüfungen ohne Ritz/Schnitt</p> <p>1.1 Prüfungen mit mechanischer Schichtbeanspruchung</p> <p>1.1.1 Abreißprüfung (Pull-off Test)</p> <p>1.1.2 Abscherprüfung (Twist-off Test)</p> <p>1.1.3 Abschälprüfung (Peel-off Test)</p> <p>1.2 Prüfungen mit kontinuierlicher Probendeformation</p> <p>1.2.1 Dornbiegeprüfung mit keilförmig-konischem Dorn</p> <p>1.2.2 Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn</p> <p>1.2.3 Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn</p> <p>1.2.4 Dreipunktbiegeverfahren</p> <p>1.2.5 T-Biegeprüfung</p> <p>1.2.6 Tiefungsprüfung</p> <p>1.3 Prüfungen mit Schlagbeanspruchung</p> <p>1.3.1 Einzelschlagprüfung</p> <p>1.3.2 Kugelschlagprüfung</p> <p>1.3.3 Multischlagprüfung</p> <p>1.3.4 Schlagfaltprüfung</p> <p>2. Haftfestigkeitsprüfungen mit Ritz/Schnitt</p> <p>2.1 Prüfungen mit Einzelritz</p> <p>2.1.1 Kratzprüfung</p> <p>2.2 Prüfungen mit Mehrfachritz (ohne Probendeformation)</p> <p>2.2.1 Druckwasserstrahlprüfung („Dampfstrahltest“)</p> <p>2.2.2 Gitterschnittprüfung</p> <p>2.2.3 Kreuzschnittprüfung</p> <p>2.2.4 Scribe Test mit Quadrat-Diagonal-Raster</p> <p>2.2.5 Scribe Test mit Rauten-Raster</p> <p>2.3 Prüfungen mit Mehrfachritz (mit Probendeformation)</p> <p>2.3.1 Tiefungsprüfung</p>
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)

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.

Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)

- DIN SPEC 91063, 2011-07: Haftfestigkeit von Beschichtungen.
- DIN EN ISO 4624, 2016-08: Beschichtungsstoffe - Abreißversuch zur Bestimmung der Haftfestigkeit.
- DIN EN ISO 4628-1, 2016-07: Beschichtungsstoffe - Beurteilung von Beschichtungsschäden - Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen
- Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem
- Teil 2: Bewertung des Blasengrades
- Teil 3: Bewertung des Rostgrades
- Teil 4: Bewertung des Rissgrades
- Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades
- Teil 6: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Klebebandverfahren
- Teil 7: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Samtverfahren
- Teil 8: Bewertung der von einem Ritz oder einer anderen künstlichen Verletzung ausgehenden Enthftung und Korrosion
- Teil 10: Bewertung der Filiformkorrosion
- DIN EN ISO 16276-1, 2007-08: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme - Teil 1: Abreißversuch.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.



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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

"Wenn das beschichtete Bauwerk aus hochfestem Stahl hergestellt ist, ist darauf zu achten, dass die Stahloberfläche nicht beschädigt wird, da dieses zum Bauteilversagen durch Auswirkungen von Korrosion führen kann." [DIN EN ISO 16276-1]

Physikalische Grundlage		Mechanisches Messprinzip	
Verfahren Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung engl.: Cross-cut tape testing and X-cut tape testing		Prüfaufgabe - Beschichtungssysteme: Haftfestigkeit	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Beurteilung der Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einer Bauteiloberfläche (Stahl-Substrat) durch qualitative Bewertung des Widerstandes des Beschichtungssystems gegen Ablösen nach dem definierten Einschneiden der Prüfoberfläche.			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Beurteilung der Haftfestigkeit von Ein- und Mehrschichtsystemen (für alle Schichtdicken) auf Stahlbauten			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Gitter- und Kreuzschnittprüfung sind keine Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit durch <i>Messen</i> [ISO 2409; Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit durch Messen nach DIN EN ISO 4624: z.B. Abreißversuch] - bei harten Beschichtungen kann es möglich sein, dass die Gitterschnittprüfung nicht angewendet werden kann. In solchen Fällen sollte die Kreuzschnittprüfung angewendet werden. [DIN EN ISO 16276-2] - für Beschichtungen mit Effektpigmenten können die Gitterschnitt- und Kreuzschnittprüfung irreführend sein. Der Beschichtungstoffhersteller sollte für Empfehlungen hinzugezogen werden [DIN EN ISO 16276-2] - Beeinflussung durch das Alter des Beschichtungssystems möglich - Beeinflussung des Prüfergebnisses durch Temperatur, die Luftfeuchte und die Belüftung möglich			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Durchführung der Prüfung an Probenplatten, die gleichzeitig und in gleicher Weise wie die Beschichtung auf dem Bauwerk hergestellt worden sind [DIN EN ISO 16276-2]			
Bauseitige Voraussetzungen - Vorbereiten der Prüfoberfläche: Prüfoberfläche muss trocken sein bzw. getrocknet werden (Protokollierung im Prüfbericht) [DIN EN ISO 16276-2] - Überwachung und Aufzeichnung der Wetterbedingungen, Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks und Beschaffenheit der Oberfläche (nass/trocken) über eine Zeitspanne von 24 h vor der Prüfung [DIN EN ISO 16276-2]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Die Bewertung der Widerstandsfähigkeit von Beschichtungssystemen gegen Verlust der Adhäsionsfestigkeit/Kohäsionsfestigkeit durch Einschneiden kann durch zwei Prüfungen erfolgen: - Gitterschnittprüfung (Schnitte im 90° Winkel, Schnittlänge 20 mm, Abstände der Schnitt in Abhängigkeit der Schichtdicke) nach DIN EN ISO 2409 für Schichtdicken < 250 µm und nach ASTM D3359 für Schichtdicken < 125 µm: "Bei der Gitterschnittprüfung wird die Beschichtung mit einem Gitter von durchgehenden Schnitten und dann die verursachte Schädigung bewertet. Die Gitterschnittprüfung wird wie in ISO 2409 beschrieben durchgeführt. Die Schnitte können entweder einzeln mit einem Einschneidengerät und einer Schablone für den richtigen Schnittabstand angebracht werden oder mit einem Mehrschneidengerät mit der richtigen Anzahl und dem richtigen Abstand der Schnitten." [DIN EN ISO 16276-2] "Das Gitterschnittverfahren besteht darin, dass ein Gitter von bis zum Substrat durchgehenden Schnitten in der Beschichtung angebracht wird, so dass gleichmäßige Quadrate entstehen. Der Abstand der Schnitte und damit die Größe der Quadrate wird von der Dicke der zu prüfenden Beschichtung bestimmt. Es wird Klebeband mit einer bestimmten Kraft aufgeklebt, um die Teile der Beschichtung zu entfernen, die nach dem Anbringen der Schnitte schlecht haften. Das Ergebnis der Prüfung wird als Kennwert entsprechend der festgestellten Schädigung angegeben. Für Einzelheiten des Verfahrens siehe ISO 2409." [DIN EN ISO 16276-2] - Kreuzschnittprüfung (Schnitte im Winkel zwischen 30° und 45°, Schnittlänge 40 mm, Klebebandlänge 75 mm) nach DIN EN ISO 16276-2 für alle Schichtdicken (ohne Begrenzung) oder nach ASTM D3359 für Schichtdicken > 125 µm: "Bei der Kreuzschnittprüfung werden zwei Schnitte in einem solchen Winkel angebracht, dass die Schnitte ein X bilden. Auf die Schnitte wird Klebeband mit einer bestimmten Kraft (z. B. durch Daumendruck) aufgebracht und dann in vorgeschriebenem Winkel entfernt. Die Kreuzschnittprüfung wird wie in ASTM D 3359-02, Verfahren A, beschrieben durchgeführt, wobei Anhang A dieses Dokuments [DIN EN ISO 16276-2] zur Bewertung verwendet wird." [DIN EN ISO 16276-2] "Das Kreuzschnittverfahren besteht darin, dass mit einer scharfen Schneide ein bis zum Substrat durchgehender Kreuzschnitt in der Beschichtung angebracht wird. Es wird Klebeband mit einer bestimmten Kraft aufgeklebt, um die Teile der Beschichtung zu entfernen, die nach dem Anbringen der Schnitte schlecht haften. Das Ergebnis der Prüfung wird als Kennwert entsprechend der festgestellten Schädigung angegeben. Für die Kennwertskala siehe Anhang A." [DIN EN ISO 16276-2]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + einfache Handhabung und somit geeignet für den Einsatz auf der Baustelle - Ausbesserungsarbeiten durch oberflächenzerstörende Prüfung entsprechend der Spezifikation des Beschichtungssystems erforderlich [DIN EN ISO 16276-2]			

Messmethode			
<p>Messaufbau Einschneidegerät und Schablone J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse Gitterschnittprüfung an Stahlplatte J. Wiese, HTW Berlin</p> 	
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gitterschnittprüfung: (vorzugsweise) Einschneidengerät und Schablone für Schnittführung und Schnittabstand oder Mehrschneidengerät mit der richtigen Anzahl und dem richtigen Abstand der Schneiden [DIN EN ISO 16276-2]; Einzelheiten nach ISO 2409 - Kreuzschnittprüfung: Schablone (zum Erzielen einer geraden Schnittkante), Einschneidengerät, transparentes Selbstklebeband [DIN EN ISO 16276-2]; Einzelheiten nach ISO 2409 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Entweder Einstufung der Prüfergebnisse anhand von Skalen mit jeweils sechs Stufen der entsprechenden Normen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409 (Einstufung von 0 bis 5) und ASTM D3359 (Einstufung von 5B bis 0B) - Kreuzschnittprüfung nach DIN EN ISO 16276-2 Anhang A (Einstufung von 0 bis 5) und ASTM D3359 (Einstufung von 5A bis 0A) <p>oder Beurteilung der Prüfergebnisse durch Ja/ Nein-Prüfung, bestanden/ nicht bestanden bzw. Annahme oder Ablehnung (nach Kriterien für die Annahme in [DIN EN ISO 16276-2]); bei einem Mehrschichtsystem: Angabe zwischen welchen Schichten eine Trennung aufgetreten ist</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: Messplan, Inspektionsflächen, Mindestanzahl an Prüfung in Abhängigkeit der Größe der Inspektionsfläche - Festlegung des durchzuführenden Verfahrens: Gitterschnittprüfung oder Kreuzschnittprüfung <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 16276-2: Gitter- und Kreuzschnittprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messung und Aufzeichnung folgender Bedingungen während der Prüfung: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks <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>			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik 1/5	Zeit 2/5	Kosten 1/5	Fachwissen 3/5

Weiterführende Informationen
Gerätehersteller, Software - Zehnter Testing Instruments
Verwandte Verfahren/ Messvarianten
Übersicht der Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen nach DIN SPEC 91063
<p>1. Haftfestigkeitsprüfungen ohne Ritz/Schnitt</p> <p>1.1 Prüfungen mit mechanischer Schichtbeanspruchung</p> <p>1.1.1 Abreißprüfung (Pull-off Test)</p> <p>1.1.2 Abscherprüfung (Twist-off Test)</p> <p>1.1.3 Abschälprüfung (Peel-off Test)</p> <p>1.2 Prüfungen mit kontinuierlicher Probendeformation</p> <p>1.2.1 Dornbiegeprüfung mit keilförmig-konischem Dorn</p> <p>1.2.2 Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn</p> <p>1.2.3 Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn</p> <p>1.2.4 Dreipunktbiegeverfahren</p> <p>1.2.5 T-Biegeprüfung</p> <p>1.2.6 Tiefungsprüfung</p> <p>1.3 Prüfungen mit Schlagbeanspruchung</p> <p>1.3.1 Einzelschlagprüfung</p> <p>1.3.2 Kugelschlagprüfung</p> <p>1.3.3 Multischlagprüfung</p> <p>1.3.4 Schlagfaltprüfung</p> <p>2. Haftfestigkeitsprüfungen mit Ritz/Schnitt</p> <p>2.1 Prüfungen mit Einzelritz</p> <p>2.1.1 Kratzprüfung</p> <p>2.2 Prüfungen mit Mehrfachritz (ohne Probendeformation)</p> <p>2.2.1 Druckwasserstrahlprüfung („Dampfstrahltest“)</p> <p>2.2.2 Gitterschnittprüfung</p> <p>2.2.3 Kreuzschnittprüfung</p> <p>2.2.4 Scribe Test mit Quadrat-Diagonal-Raster</p> <p>2.2.5 Scribe Test mit Rauten-Raster</p> <p>2.3 Prüfungen mit Mehrfachritz (mit Probendeformation)</p>
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)
Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)
<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>Klebstoffe, Klebverbindungen (83.180)</p> <p>- ASTM D 3359, 2017: Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.</p> <p>Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)</p> <p>- DIN SPEC 91063, 2011-07: Haftfestigkeit von Beschichtungen.</p> <p>- DIN EN ISO 2409, 2013-06: Beschichtungsstoffe - Gitterschnittprüfung.</p> <p>- DIN EN ISO 4628-1, 2016-07: Beschichtungsstoffe — Beurteilung von Beschichtungsschäden - Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem</p> <p>Teil 2: Bewertung des Blasengrades</p> <p>Teil 3: Bewertung des Rostgrades</p> <p>Teil 4: Bewertung des Rissgrades</p>

Teil 5: Bewertung des Ablätterungsgrades
Teil 6: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Klebebandverfahren
Teil 7: Bewertung des Kreidungsgrades nach dem Samtverfahren
Teil 8: Bewertung der von einem Ritz oder einer anderen künstlichen Verletzung ausgehenden Enthftung und Korrosion
Teil 10: Bewertung der Filiformkorrosion
- DIN EN ISO 16276-2, 2007-08: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme - Teil 2: Gitterschnitt- und Kreuzschnittprüfung.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

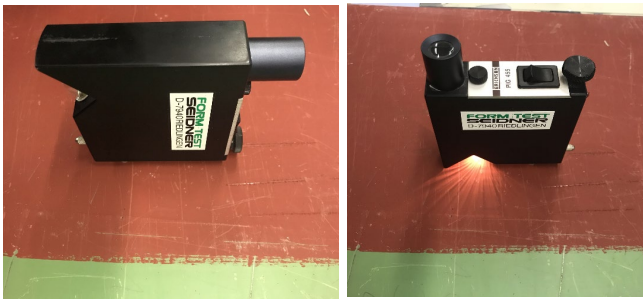
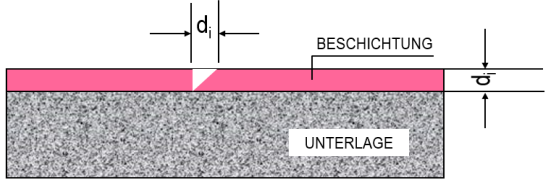
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Mechanisches Messprinzip	
Verfahren Keilschnitt (Ritz- und Bohrmethode) engl.: Wedge-cut method (scribe and drill method)		Prüfaufgabe - Beschichtungsstoffe: Schichtdicke (Schichtenanzahl)	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Schichtdicke und Schichtenanzahl einer Beschichtung auf dem zu prüfenden Bauteil durch einen definierten Einschnitt auf der Oberfläche und anschließender mikroskopischer Auswertung.			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Bestimmen der Trockenschichtdicke für nahezu alle Schicht-Substrat-Kombinationen [DIN EN ISO 19399] - Bestimmung der Einzelschichtdicken von Beschichtungssystemen [DIN EN ISO 19399]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Schichtdicken, die größer sind als die Schärfentiefe des Messmikroskops [DIN EN ISO 19399] - Verhinderung der Wahrnehmung von erkennbaren Ritzen oder erkennbaren Bohrlöchern durch [ISO 19399]: - zu weiche und/oder elastische Beschichtungen - zu harte (nicht anritzbar/anbohrbar) oder zu weiche und/oder elastische Substrate - zu geringer optischer Kontrast zwischen Beschichtung und Substrat			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)			
Bauseitige Voraussetzungen - Probe mit planem Bereich, der mindestens doppelt so groß ist wie die Grundfläche des Keilschnitt-Gerätes [DIN EN ISO 19399]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei dem Keilschnitt-Verfahren wird "in der Beschichtung [...] mit einem Ritzwerkzeug oder einem Bohrwerkzeug ein Keilschnitt mit bekanntem Flankenwinkel erzeugt. Aus der mit einem Messmikroskop erhaltenen Breite der Flankenprojektion des Keilschnittes wird die Schichtdicke berechnet." [DIN EN ISO 19399] Die Verwendung von einem Ritzwerkzeug wird in der Norm als Verfahren A, die Verwendung von einem Bohrwerkzeug als Verfahren B bezeichnet. Bei der Ritzmethode wird das Ritzgerät auf die Beschichtung aufgesetzt und der Stichel langsam über die Probe geführt, so dass man einen Ritz von einer Strecke von mindestens 10 mm erhält, der durch die Beschichtung bis auf die Stahloberfläche hindurchgeht. Mit dem Messmikroskop wird dann die Länge des Keilschnittes in der Beschichtung gemessen und mit dem Keilschnittfaktor des Stichels in die Trockenschichtdicke umgerechnet. Bei der Bohrmethode wird das Bohrgerät auf die Beschichtung aufgesetzt und der rotierende Bohraufsatz abgesenkt, so dass die Bohrspindel konisch durch die Beschichtung bis auf die Stahloberfläche hineinbohrt. Mit dem Messmikroskop wird dann die Länge des Keilschnittes in der Beschichtung gemessen und mit dem Keilschnittfaktor des Bohrers in die Trockenschichtdicke umgerechnet. [DIN EN ISO 19399]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schnelle und einfache Durchführung und Auswertung - leicht zerstörend im Vergleich zu Magnetverfahren und Wirbelstromprüfung - Ausbesserungsarbeiten durch oberflächenzerstörende Prüfung entsprechend der Spezifikation des Beschichtungssystems erforderlich			

Messmethode			
<p>Messaufbau Keilschnittgerät auf Stahlplatte J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse Messung Schichtdicke mit Keilschnittgerät Haasis, haasis construction</p> <p>SCHNITT (MÖGLICHST) UNTER 45° GEFÜHRT VERMESSUNG MIT LUPE</p> 	
<p>Messgeräte</p> <p>Gerät mit Schneidvorrichtung nach DIN EN ISO 19399:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verfahren A: Keilschnitt-Ritzgerät mit Keilschnitt-Stichel aus Hartmetall (siehe Bild) - Verfahren B: Keilschnitt-Bohrgerät mit Keilschnitt-Bohrer aus Hartmetall <p>- Messmikroskop (mit Beleuchtungseinrichtung, mindestens 40-facher Vergrößerung, einem Messbereich von mindestens 2 mm und einer Skalenteilung von höchstens 0,02 mm); <u>alternativ zum Messmikroskop: digitale Messeinrichtung [DIN EN ISO 2808]</u></p>			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>Zielgröße:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trockenschichtdicke t_d in [μm]; $t_d = l \cdot \tan \alpha$ <p>Messgrößen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keilschnitt-Basislänge l in [μm] (Mikroskopablesung) - Keilschnitt-Faktor des verwendeten Keilschnitt-Werkzeugs $\tan \alpha$; im Bereich von $\alpha = 5,7^\circ$ ($\tan \alpha = 0,1$) bis $\alpha = 45^\circ$ ($\tan \alpha = 1$) [DIN EN ISO 2808] 			
<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 (Hersteller, Material, Krümmung, etc.) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Anzahl der Messungen (mind. drei Ritze bzw. Bohrungen je Probe und jeweils zwei Messungen der Keilschnitt-Basislänge je Ritz bzw. Bohrung) [DIN EN 19399] - Festlegung des durchzuführenden Verfahrens: Ritz- oder Bohrmethode - Probenvorbereitung: Aufbringen einer flächigen Kontrastmarkierung [DIN EN ISO 19399] 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 19399: Keilschnitt-Prüfung 4. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik 2/5	Zeit 2/5	Kosten 2/5	Fachwissen 2/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - TQC Sheen GmbH: TQC SP1100 SuperPIG (Verfahren A) [https://www.tqcsheen.com/rsrc/artikel_downloads/superpig-iii-destructive-paint-inspection-gauge-sp1100-m44-49-31.pdf] - Elcometer: 141 Keilschnittgerät (PIG) [https://www.elcometer.com/de/beschichtungskontrolle/trockenfilmdicke/zerstrend/elcometer-141-keilschnittgerat-pig.html] - Erichsen: <ul style="list-style-type: none"> - Paint Inspection Gauge P.I.G. Modell 455; mech.-opt. Schichtdickenmessung, schneidend (Verfahren A) - PAINT BORER 518; mech.-opt. Schichtdickenmessung, bohrend (Verfahren B) - Sondervariante: PAINT BORER 518 USB mit Digitalmikroskop und zum Anschluss an PC [https://www.erichsen.de/de-de/produkte/oberflaechenpruefung/filmapplikation-und-schichtdicke/schichtdickenmessung-manuell-7/518-mc/technische-beschreibung-paint-borer-518-mc-pdf]
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Übersicht der Verfahren zur nicht zerstörenden Bestimmung der Trockenschichtdicke [DIN EN ISO 2808 - Anhang A, Tabelle 2]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Gravimetrisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Massendifferenz 2. <u>Optisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Querschliff/ Querschnitt (zerstörend) 2.2 Keilschnitt (zerstörend) 2.3 Weißlicht-Interferometrie 3. <u>Magnetisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Haftkraft 3.2 Magnetfeldänderung, Verfahren nach dem Hall-Sensor-Prinzip 3.3 Magnetfeldänderung, magnetinduktives Verfahren 3.4 Wirbelstrom 4. <u>Radiologisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Betarückstreu-Verfahren 5. <u>Photothermisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Wärmeausbreitung 6. <u>Akustisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 6.1 Ultraschallreflexion 7. <u>Elektromagnetisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 7.1 Terahertz
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</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 EN ISO 2808, 2018-07: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Schichtdicke. - DIN EN ISO 19399, 2018-02: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Trockenschichtdicke mit dem Keilschnittverfahren (Ritz- und Bohrmethode).

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): 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;">Eindringprüfung</p> <p>engl.: Penetrant Testing PT</p>		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahtrisse	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von zur Oberfläche hin offenen Inhomogenitäten durch Aufbringen eines Eindringmittels auf die zu prüfende Bauteiloberfläche und Visualisierung der Inhomogenität durch einen Farbkontrast oder Leuchtdichtekontrast auf der Prüfoberfläche. - Oberflächenverfahren			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Oberflächenprüfung zur Anzeige von zur Oberfläche hin offenen Materialtrennungen [1] - Charakterisierung und Bestimmung von Fehlerposition, Fehlerlänge, Fehlertiefe - Sichtbarmachen von Oberflächenrisse- und Schäden [2] - Auffinden von Fehlern, wie z. B. Risse, Überlappungen, Falten, Poren und Bindefehler, die zur Oberfläche des zu prüfenden Werkstoffs hin offen sind [DIN EN ISO 3452-1] - Prüfung von Schweißverbindungen [DIN EN ISO 23277]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) [1] - Anwendung nur bei bis zur Oberfläche durchdringenden Materialtrennungen - Fehlerlänge kann grundsätzlich abgeschätzt werden aus den nachgewiesenen Anzeigen - kleinste messbare Fehlstellen: zwischen 0,1 µm (bei einer glatten Oberfläche) und ca. 1 mm Öffnungsgröße (bei einer Fehlertiefe von > 2 mm) - bei rauen Oberflächen besteht die Gefahr des Überwaschens während der Zwischenreinigung - Prüfung mit fluoreszierenden Eindringprüfmitteln an abgedunkelten Arbeitsplätzen mit UV-Leuchte Vorreinigen durch Sandstrahlen ist ungeeignet da Risse "zugeschlagen" werden können [2]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Prüfung von Keramik, Kunststoffen und Glas möglich [1] - Prüfung bei Temperaturen < 10 °C und > 50 °C nach DIN EN ISO 3452-5/ -6			
Bauseitige Voraussetzungen - Bauteiltemperatur zwischen 10 °C und 50 °C auf Grund der Viskosität des Eindringmittels (außerhalb dieser Grenzen: Einsatz einer speziellen Produktfamilie) [1] - Prüfoberfläche: Entfernen von Korrosionsschutz und Farbschichten durch vorsichtiges Abschleifen [1] - Betrachtungsbedingungen für das Farbeindringverfahren [DIN EN ISO 3059]: - gleichmäßige Beleuchtung der Prüffläche, Vermeiden von Blendwirkungen und Reflexionen - Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Prüfung - Betrachtungsbedingungen fluoreszierende Verfahren [DIN EN ISO 3059]: - gleichmäßige Bestrahlung (UV-A-Strahlung) der Prüffläche - Umgebungslicht < 20 lx bei der Prüfung			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Eindringprüfung wird im ersten Schritt eine Flüssigkeit, das Eindringprüfmittel, auf die Prüfoberfläche aufgetragen. Das Eindringprüfmittel dringt dabei auf Grund der Kapillarwirkung in zur Oberfläche hin offene Fehlstellen ein. Im zweiten Schritt, der Zwischenreinigung, wird das überschüssige Eindringmittel mit einem Zwischenreiniger abgewaschen, wobei das Eindringprüfmittel nicht aus den Fehlstellen ausgewaschen werden darf und Fehlstellen nicht überwaschen werden dürfen. Daher muss die Zwischenreinigung mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Im dritten Schritt wird ein Entwickler durch Sprühen, (Tauchen), Übergießen oder Aufstreichen aufgetragen, der entweder das Eindringprüfmittel als Kontrasthintergrund zur Anzeige bringt (Farbeindringverfahren) oder das Eindringprüfmittel in seiner Anzeige verstärkt (Fluoreszierendes Verfahren). Die Fehlerauswertung erfolgt unter den für die jeweilige Produktfamilie erforderlichen Betrachtungsbedingungen. Farbeindringverfahren wird auch als "Rot-Weiß-Verfahren" bezeichnet, weil Risse rot gefärbt auf weiß gefärbter Oberfläche hervortreten. [1, DIN EN ISO 3452-1]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + geringer materieller Aufwand, somit kostengünstig + Einsatz auch bei nicht magnetischen Materialien - Ergebnis abhängig vom Prüfer und der Oberflächenvorbereitung, dem Material und der Zugänglichkeit - sehr vorsichtige Bearbeitung der Oberflächen - nur Auffinden von Anzeigen/Materialtrennungen, die zur Oberfläche hin offen sind - keine sichere Detektion von Rissen, die mit Korrosionsprodukten gefüllt sind, im Gegensatz zur Magnetpulverprüfung - relativ zeitaufwendig (0.5 h Eindringen; ≥ 0.5h Entwicklung) [6] - komplex und fehleranfällig			

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
(1) Schweißnaht Eindringmittel, (2) Schweißnaht Eindringmittel Detail, (3) Schweißnaht Entwickler A. Taffe, HTW Berlin			
Messgeräte			
<ul style="list-style-type: none"> - Geräte/ Verfahren zur Vorreinigung und Oberflächenvorbereitung nach DIN EN ISO 3452-1 - zugelassene, mustergeprüfte Produktfamilie der Eindringprüfung nach DIN EN ISO 3452-2 bestehend aus: <ul style="list-style-type: none"> - Eindringprüfmittel (zur Erhöhung des Benetzungsvermögens): Fluoreszierende- und/ oder Farbeindringmittel - Zwischenreiniger: Wasser, Lipophiler Emulgator, Lösemittel, Hydrophiler Emulgator oder Wasser und Lösemittel - Entwickler (zur Kontrastverbesserung): Trockenentwickler oder Nassentwickler - Weißlichtlampe oder UV(A)-Lampe mit Bestrahlungsstärke nach DIN EN ISO 3059 - <u>Schutzhandschuhe und Atemschutz [6]</u> 			
Messgröße und Zielgröße			
Festgelegte(s) Merkmal aus Prüfvorschrift oder Prüfanweisung: Anzeigen/Materialtrennungen, die zur Oberfläche hin offen sind			
<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?)			
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 			
3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 3452: Eindringprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung und Vorreinigung (mit anschließendem Trockenvorgang): rückstandsfreie Reinigung der Bauteiloberfläche und der Fehlstellen <ul style="list-style-type: none"> - Eindringvorgang: ganzflächige Benetzung von festen Werkstoffen und Eindringen in Fehlstellen auf Grund der geringen Oberflächenspannung (Eindringdauer: zwischen 5 und 60 Minuten) - Zwischenreinigung (mit anschließendem Trockenvorgang): Entfernen von überschüssigem Eindringmittel - Entwicklungsvorgang: Aufsaugen des rückbenetzenden Eindringprüfmittels durch Entwicklerpulver und Bildung eines Kontrasthintergrundes (Entwicklerdauer: immer über der der gewählten Eindringdauer) - ggf. Nachreinigung für Weiterverarbeitung des Bauteils und Trockenvorgang 			
4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Beginn der Inspektion mit Auftragen des Entwicklers - abschließende Anzeigenbewertung nach Ablauf der festgelegten Entwicklerdauer: <ul style="list-style-type: none"> Suchen nach Anzeigen, Klassifizierung der Anzeigen, Deutung der Anzeigen, Protokollierung der Anzeigen und Beurteilung der Anzeigen [4] 			
5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - besondere Aufmerksamkeit gilt Scheinanzeigen - Wiederholung der Prüfung bei einem uneindeutigen Ergebnis oder Anwendung eines weiteren Verfahrens 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
2/5	4/5	3/5	5/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - MR Chemie GmbH [https://www.mr-chemie.de/eindringpruefung/produkte/eindringmittel/] - Magnaflux GmbH [https://magnaflux.eu/de/Produkte/Eindringpruefung]
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächenprüfverfahren <u>Mechanische Verfahren</u> <ul style="list-style-type: none"> - Eindringprüfung PT (bei nicht magnetischen Werkstoffen) <u>Magnetische Verfahren</u> <ul style="list-style-type: none"> - Magnetpulverprüfung MT (bei ferromagnetischen Werkstoffen) - Wirbelstromprüfung ET (bei leitenden Werkstoffen)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Eindringprüfung (PT) (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht. Eindringprüfung.</p> <p>[2] Helmerich, Rosemarie (Hrsg.) (2005): Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.</p> <p>[3] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</p> <p>[4] Schiebold, Karlheinz (2014): Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung - Eindringprüfung. 1. Auflage mit 122 Bildern und 35 Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.</p> <p>[5] Prüfung auf Oberflächenrisse nach dem Eindring-Verfahren (1999). Band 9. Unter Mitarbeit von Volker Deutsch. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 9.</p> <p>[6] Bauakademie Hessen-Thüringen E.V. (Hrsg.) (2019): Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der Bauwerksprüfung. Unterlagen für den Unterricht</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 ISO 12706, 2010-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Begriffe. <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (ICS 03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Eindringprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "PT" 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 Eindringprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 3059, 2013-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung und Magnetpulverprüfung - Betrachtungsbedingungen - DIN EN ISO 3452-1, 2014-09: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen - DIN EN ISO 3452-2, 2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 2: Prüfung von Eindringprüfmitteln - DIN EN ISO 3452-3, 2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 3: Kontrollkörper - DIN EN ISO 3452-4, 1999-02: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 4: Geräte - DIN EN ISO 3452-5, 2009-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 5: Eindringprüfung bei Temperaturen über 50 °C - DIN EN ISO 3452-6, 2009-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 6: Eindringprüfung bei Temperaturen unter 10 °C <p>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 5817, 2014-07: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe.

- DIN EN ISO 23277 2015 06: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Eindringprüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen.

Regelwerke DGZfP - Richtlinien und Merkblätter zur Oberflächenrisssprüfung (EM-Reihe)

- DGZfP-EM5, 2002-11: Merkblatt über Schutzmaßnahmen beim Umgang mit elektromagnetischen Feldern in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

- DGZfP-EM6, 2012-01: Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren - Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung.

[zurückgezogen: EMO, 2005: Richtlinie über die Durchführung von Magnetpulverprüfungen

EM1, 2003: Richtlinie über die Sehfähigkeit des Prüfpersonals für die Oberflächenverfahren der ZfP

EM2, 1988: Richtlinie über Betrachtungsbedingungen bei Magnetpulver- und Eindringprüfung

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

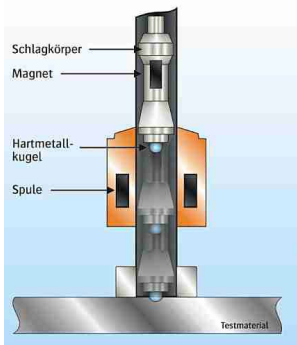
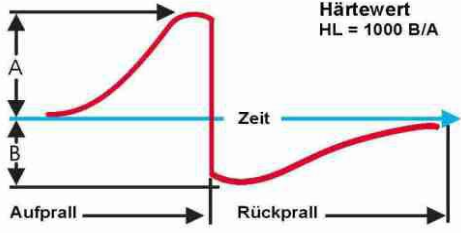
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren Mobile Härteprüfung mit Rückprallverfahren nach Leeb engl.: Leeb/ Rebound Hardness Testing HT		Prüfaufgabe - (Änderung der) Baustoffeigenschaften: Härte	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung einer Härte (indirekt) durch Messung des Energieverlusts eines Schlagkörpers beim Aufprall auf den Prüfgegenstand. [Dynamische Prüfung]			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - dynamische Härte von allen metallischen Werkstoffen [ISO 16859-1] - insbesondere Prüfung an grobkörnigem Stahl beliebiger Form			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Anwendungsbereich: Härtebereich von ca. 300 bis 1000 HL [ISO 16859-1] - Übereinstimmung von Härteprüfergebnissen ist nur für ein und dasselbe Prüfverfahren bei Einhaltung aller Versuchsparameter gegeben (folgende Festlegungen sind dazu erforderlich: Definition des Härtewerts, Geometrie und Werkstoff des Eindringkörpers, Art und Größe der Prüfkraft, Einwirkdauer der Prüfkraft bei statischen Prüfverfahren und Beschaffenheit der Probe) [VDI/VDE 2616-1] - Prüfung an gekrümmten Oberflächen mit Krümmungsradius < 50 mm bzw. 30 mm (abhängig vom Schlaggeräte-Typ) nur mit speziellen Anschlagklappen am Prüfgerät [ISO 16859-1] - (Elektro-) Magnetische Felder (im Frequenzbereich von einigen kHz) beeinflussen das Prüfergebnis [DIN EN ISO 16859-1]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) -			
Bauseitige Voraussetzungen - Mindestdicke und Mindestmasse der Probe in Abhängigkeit des Schlaggeräte-Typs: Mindestdicke von 1,0 mm bis 10,0 mm abhängig von der Kopplung und einer Mindestmasse von 0,5 kg bis 15 kg abhängig von der Auflage; (Beachtung der Angaben der Gerätehersteller, ggf. Erfordernis größerer Dicken bzw. Massen) [ISO 16859-1] - Probenoberfläche: Entfernung von Beschichtungen, Zunder, Verunreinigungen und Oberflächenunregelmäßigkeiten sowie Schmierstoffen zum Erreichen einer vorgegebenen mittleren Rauheitstiefe nach [ISO 16859-1, Tabelle 3]; metallisch blank und geschliffen im Prüfbereich [VDI/VDE 2616-1] - Umgebungstemperatur zwischen 10 °C bis 35 °C (besser: enger Temperaturbereich) [DIN EN ISO 16859-1] - Umgebungsort muss frei von (elektro-) magnetischen Feldern sein [DIN EN ISO 16859-1]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Härteprüfung mit dem Rückprallverfahren nach Leeb "wird die Härte des Werkstoffes indirekt über den Energieverlust eines Schlagkörpers beim Aufprall auf die zu prüfende Oberfläche gemessen." [DGZfP MC 1] "Bei der Prüfung schlägt ein Schlagkörper mit sphärischem Eindringkörper aus Hartmetall, Keramik oder Diamant durch Federkraft auf die Prüffläche und prallt wieder zurück. Dabei werden Aufprall- und Rückprallgeschwindigkeit berührungslos [induktiv] gemessen. Aus diesen beiden Messwerten wird der Härtewert HL berechnet. Der erzeugte Prüfeindruck wird nicht zur Bestimmung der Härte herangezogen." [VDI/VDE 2616-1; Prinzip des Verfahrens] Der berechnete Härtewert muss außerdem im Prüfgerät einer Materialgruppe zugeordnet werden, um die elastischen Eigenschaften des Werkstoffes zu berücksichtigen.			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Prüfung in allen Positionen, z. B. auch Überkopf- Messung, unter Verwendung von Korrekturfaktoren möglich [VDI/VDE 2616-1] + direkte Anzeige des Härtewerts - Prüfung von Proben geringer Dicke bzw. geringer Masse auf Grund der Stoßkraft problematisch [VDI/VDE 2616-1]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Schematischer Aufbau eines Rückprall-Schlaggerätes nach Leeb [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 5.]</p>		<p>Messergebnisse</p> <p>Verlauf der gemessenen induzierten Spannung während einer Härtemessung [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 4.]</p>	
			
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leeb-Härteprüfgerät bestehend aus Schlaggerät mit Eindringkörper und einer elektronischen Mess- und Anzeigeeinheit zur Bestimmung der Auf- und Rückprallgeschwindigkeit des Schlagkörpers [nach DIN EN ISO 16859-1, Anhang D]: <ul style="list-style-type: none"> - sphärischer Eindringkörper aus Hartmetall (für Proben bis zu einer Vickershärte von 800 HV 30) oder - sphärischer Eindringkörper aus Keramik oder synthetischem Diamant (für Proben bis 1200 HV 30) - Prüfgerät nach Anforderungen der ISO 16859-2 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zielgröße: Leeb-Härte HL [dimensionslos] [sieben verschiedene Leeb-Skalen auf Grund sieben verschiedener Schlaggerätetypen; der Buchstabe hinter dem "HL" repräsentiert den Typ des Schlaggerätes [DIN EN ISO 16859-1]] - Messgröße: Aufprallgeschwindigkeit v_a und Rückprallgeschwindigkeit v_r des Schlagkörpers - $HL = 1000 * (v_r/v_a)$ - Umwertung von dynamischen Härtewerten in Härtewerte statischer Verfahren nach DIN EN ISO 18265 und - Umwertung von Härtewerten in Zugfestigkeitswerte nach DIN EN ISO 18265 unter Berücksichtigung von Unsicherheiten - jedes Härteprüfergebnis ist mit einer Messunsicherheit anzugeben [VDI/VDE 2616-1] 			
<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: Einhaltung von Mindestabständen zwischen Prüfeindrücken und zum Rand der Probe nach DIN EN ISO 16859-1 - Durchführung [VDI/VDE 2616-1] - Angaben zum Prüfgerät (Schlaggeräte-Typ) <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Das Schlaggerät muss senkrecht zur Probenoberfläche gehalten werden. [DIN EN ISO 16859-1] - ggf. Korrektur der Härtewerte: "Wenn die Prüfung nicht in Richtung der Schwerkraft durchgeführt wird, sind die Richtung der Prüfung sowie die Korrektur aufzuzeichnen und der korrigierte Härtewert ist als das Ergebnis der Leeb-Härte anzugeben." nach DIN EN ISO 16859-1, Anhang A <p>4. Auswertung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Leeb-Härte: Berechnung des arithmetischen Mittelwerts aus mindestens drei Messwerten. <p>Wenn die Spannweite aus drei Messwerten größer als 5 % des arithmetischen Mittelwerts ist, sind zusätzliche Messungen durchzuführen, um einen Mittelwert aus mindestens 10 Messwerten zu bilden.</p> <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung "mit allen wesentlichen Einzelheiten der Prüfung, welche nicht in der ISO 16859 festgelegt sind, oder die wahlweise angewandt wurden, z. B. Art der Kopplung, Prüfbereich auf der Probe, Richtung des Schlages in Bezug auf die Schwerkraft" [DIN EN ISO 16859-1] - Protokollierung des Messergebnisses und der Anzahl der zugrunde liegenden Einzelwerte - Protokollierung aller Vorkommnisse oder Besonderheiten, die das Messergebnis beeinflusst haben könnten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
3/5	2/5	3/5	3/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proceq AG: Equotip 550 Leeb - GE Inspection: DynaMIC
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe</p> <p>Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1]</p> <p><u>Dynamische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Parallel zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Leeb-/ Rückprallverfahren (dynamisch-elastisch-plastisch) [z.B. DynaMic von GE Inspection, Equotip von Proceq] - Shore-/ Rückprallverfahren: Fallhammer (Skleroskop) oder Pendelhammer (Durosop) - Poldi-Hammer, Scherkraft, Baumann-Hammer (dynamisch-plastisch) <p><u>Statische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Frequenzverschiebung: <ul style="list-style-type: none"> - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: <ul style="list-style-type: none"> - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: <ul style="list-style-type: none"> - Rockwell-Prinzip mit hoher Prüfkraft [z.B. Dynatest von Cisam-Ernst] - Rockwell-Prinzip mit niedriger Prüfkraft [z.B. Computest von Cisam-Ernst, Equostat von Proceq] d) Laterale Lage <ul style="list-style-type: none"> - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</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>Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 16859-1/ -2/ -3, 2016-02: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Leeb. - DIN EN ISO 18265, 2014-02: Metallische Werkstoffe - Umwertung von Härtewerten. - ASTM E140 - 12B, 2019: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. - VDI/VDE 2616-1, 2012-08: Härteprüfung an metallischen Werkstoffen. [TIV-Verfahren nicht beschrieben] <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

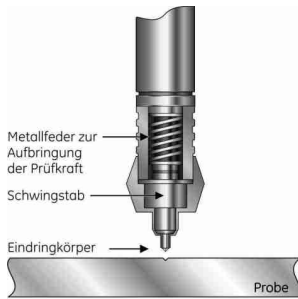
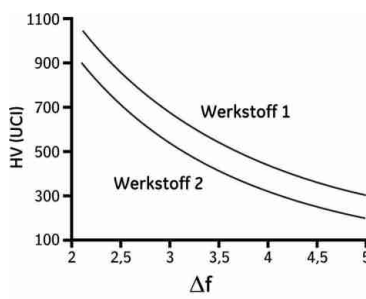
Anmerkung zur Bezeichnung Zerstörungsfreie Prüfung aus der DGZfP Richtlinie MC 1

"Die mobile Härteprüfung kann den Zerstörungsfreien Prüfungen zugeordnet werden, wenn durch den Eindruck [des Eindruckkörpers] die Funktionalität des Bauteils nicht beeinträchtigt wird."

Anmerkung zu tragbaren Härteprüfgeräten in der DIN 50159-1:2015-01 - Einleitung

"Tragbare Härteprüfgeräte erlauben die Härteprüfungen an Proben, die zu groß oder zu schwer sind, um sie auf ortsfesten Härteprüfmaschinen zu prüfen. Da die klassischen Härteprüfverfahren wie Rockwell, Vickers, Brinell u. a. in tragbaren Geräten nicht oder nur schwer realisierbar sind, haben verschiedene Hersteller in Anlehnung an die klassischen Verfahren neue Prüfverfahren entwickelt, die auch in tragbaren Geräten verwendbar sind. Jedoch bedeutet die Entwicklung jedes neuen Prüfverfahrens im Prinzip auch die Einführung einer neuen Härteskala. Wenn diese Geräte die gemessenen Härtewerte in den gängigen Skalen wie Rockwell, Vickers oder Brinell angeben sollen, müssen sie an einem Punkt ihrer Messkette eine Umwertung durchführen. Solche Härtewerte sind dann keine wirklichen Rockwell-, Vickers- oder Brinellwerte, weil sie nicht mit den genormten Rockwell-, Vickers- oder Brinell-Verfahren bestimmt worden sind."

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Mobile Härteprüfung nach dem UCI-Verfahren</p> engl.: Ultrasonic Contact Impedance Hardness Testing HT		Prüfaufgabe - (Änderung der) Baustoffeigenschaften: Härte	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Härte (indirekt) durch Messung der Frequenzverschiebung eines hinterlassenen Pyramidenabdrucks durch den Eindringkörper (Vickerdiamant) nach Aufbringen einer definierten Prüfkraft. [Quasi-statische Prüfung]			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - quasi-statische Härte von metallischen Werkstoffen [DIN 50159-1] - insbesondere Prüfung an feinkörnigem Stahl, Nichteisenmetallen und Hartmetall [DIN 50159-1] - typische Anwendungen abhängig von der aufgebrauchten Prüfkraft [DIN 50159-1]: - hohe Prüfkraft: Schweissnähte, Wärmeeinflusszonen, kleine Schmiedeteile - geringe Prüfkraft: dünne Schichten mit polierter Oberfläche			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Anwendungsbereich: Härtebereich von ca. 20 bis 1740 HV [DGZfP MC 1] - Übereinstimmung von Härteprüfergebnissen ist nur für ein und dasselbe Prüfverfahren bei Einhaltung aller Versuchsparameter gegeben (folgende Festlegungen sind dazu erforderlich: Definition des Härtewerts, Geometrie und Werkstoff des Eindringkörpers, Art und Größe der Prüfkraft, Einwirkdauer der Prüfkraft bei statischen Prüfverfahren und Beschaffenheit der Probe) [DIN 50157-1] - Korrektur von Härtewerten, die auf gekrümmten Prüfflächen ermittelt werden [1] - Erschütterungen und starke magnetische Felder beeinflussen das Messergebnis [DIN 50159-1]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Messung der Härte von Metallschichten bei senkrechter Positionierung der Sonde auf der Prüfoberfläche unter Berücksichtigung der Eindringtiefe h des Vickers-Eindringkörpers [DIN 50159-1]			
Bauseitige Voraussetzungen - Mindestdicke und Mindestmasse der Probe: Berücksichtigung einer Mindestdicke (typischer Wert: 3 mm) und einer Mindestmasse (typischer Wert: 300 g), um Einfluss der Eigenschwingungen der Probe zu minimieren oder zusätzliche Maßnahmen wie Ankopplung oder Unterbauung der Probe [1, DIN 50159-1] - Probenoberfläche: Entfernung von Zunder, Fremdkörpern und Oberflächenunregelmäßigkeiten sowie Schmierstoffen [1, DIN 50159-1] - Probenoberfläche: Beachtung der Angaben zur maximal zulässigen Oberflächenrauheit Ra in Abhängigkeit von der Prüfkraft nach DIN 50 159-1 [1, DIN 50159-1] - Umgebungstemperatur zwischen 10 °C bis 35 °C [DIN 50159-1] - Umgebungsort muss frei von Erschütterungen und starken magnetischen Feldern sein [DIN 50159-1]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Härteprüfung nach "dem UCI-Messverfahren wird ein mit einer Ultraschallfrequenz schwingender Schwingstab, an dessen unterem Ende sich ein Vickerseindringkörper befindet, mit einer definierten Prüfkraft auf die Probe gedrückt. Seine Resonanzfrequenz erhöht sich, sobald er bei der Erzeugung des Eindrucks mit der Probe in Kontakt gebracht wird. Die Resonanzfrequenzverschiebung Δf wird unter Prüfkraft bestimmt. Sie ist abhängig von der Größe der Kontaktfläche sowie dem Elastizitätsmodul des Gesamtsystems, bestehend aus Probe und Schwingstab. Mithilfe von Proben bekannter Härte (z. B. Härtevergleichsplatten) wird über eine entsprechende Gerätejustierung die Resonanzfrequenzverschiebung Δf der entsprechenden Vickershärte zugeordnet." [DIN 50159-1]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Prüfung in allen Positionen, z. B. auch Überkopf- Messung, möglich [1] + direkte Anzeige des Härtewerts [1] + Härtemessung an schwer zugänglichen Stellen [1] - Prüfung von Proben geringer Dicke bzw. geringer Masse müssen angekoppelt werden [1] - Abhängigkeit vom E-Modul [1] - bei kleinen Prüfeindrücken Abhängigkeit der Härte von der Art der Prüfflächenvorbereitung [1]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Schematischer Aufbau einer UCI-Sonde [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 6.]</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>Frequenzverschiebung einer UCI-Sonde in Abhängigkeit von der Härte für zwei unterschiedliche Werkstoffe [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 7.]</p> 	
<p>Messgeräte</p> <p>UCI-Härteprüfgerät bestehend aus [1]: - Sonde (unterschiedliche Geometrien) mit Empfangsschwinger, Schwingstab, Sendeschwinger und Vickersdiamant (Eindringkörper nach Vickers)</p> <ul style="list-style-type: none"> - elektronische Mess- und Anzeigeeinheit - Prüfkraft je nach Prüfaufgabe zwischen 1 N und 98 N - Prüfgerät nach Anforderungen der DIN 50159-2 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Resonanzfrequenzverschiebung Δf unter Prüfkraft [1] - Zuordnung der Resonanzfrequenzverschiebung Δf zu einer entsprechenden Vickershärte [1] - Zielgröße: Härte HV (UCI) [1] - Umwertung von Härteskalen untereinander nach DIN EN ISO 18265 und - Umwertung von Härtewerten in Zugfestigkeitswerte nach DIN EN ISO 18265 unter Berücksichtigung von Unsicherheiten 			
<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: Einhaltung von Mindestabständen zwischen Prüfeindrücken und zum Rand der Probe nach DIN 50159-1 - Durchführung: Abstand des Mittelpunkts jedes Prüfeindrucks vom Rand der Probe: mindestens 5 mm; Abstand der Mittelpunkte zweier nebeneinander liegender Prüfeindrücke für den Werkstoff Stahl: mindestens 1 mm - Angaben zum Prüfgerät (Prüfkraft) - Vor Beginn einer Messreihe: Sicherstellen durch die Prüfung auf einer Härtevergleichsplatte, dass das Gerät den kalibrierten Härtewert anzeigt - Angaben zum Referenzmaterial <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN 50159-1</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Prüfung erfolgt senkrecht zur Prüboberfläche - Sicherstellen, dass sich die Probe während des Prüfvorgangs nicht verschiebt (Ggf. Verwendung einer geeigneten Aufnahmevorrichtung) - Aufbringen der Prüfkraft: stetig zunehmend, stoßfrei und entlang des Schwingstabes - Vermeidung von Schwingungen der Probe oder der Sonde während der UCI-Härteprüfung <p>4. Auswertung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der UCI-Härte: Ermittlung des arithmetischen Mittelwerts aus mindestens drei Messwerten <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung mit "allen wesentlichen Einzelheiten der Prüfung, welche nicht in DIN 50159-1 festgelegt sind, oder die wahlweise angewandt wurden, z. B. Art der Kopplung, Prüfort auf der Probe" [3] - Protokollierung des Messergebnisses, der Anzahl der zugrunde liegenden Einzelwerte und der Messunsicherheit der Härtewerte - Protokollierung aller Vorkommnisse oder Besonderheiten, die das Messergebnis beeinflusst haben könnten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 			
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> <ul style="list-style-type: none"> - Proceq AG: Equotip 550 UCI - GE Inspection Technologies: Microdur MIC 10
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe</p> <p>Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1]</p> <p><u>Dynamische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Parallel zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Leeb-/ Rückprallverfahren (dynamisch-elastisch-plastisch) [z.B. DynaMic von GE Inspection, Equotip von Proceq] - Shore-/ Rückprallverfahren: Fallhammer (Skleroskop) oder Pendelhammer (Durosop) - Poldi-Hammer, Scherkraft, Baumann-Hammer (dynamisch-plastisch) <p><u>Statische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Frequenzverschiebung: <ul style="list-style-type: none"> - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: <ul style="list-style-type: none"> - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: <ul style="list-style-type: none"> - Rockwell-Prinzip mit hoher Prüfkraft [z.B. Dynatest von Cisam-Ernst] - Rockwell-Prinzip mit niedriger Prüfkraft [z.B. Computest von Cisam-Ernst, Equostat von Proceq] d) Laterale Lage <ul style="list-style-type: none"> - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</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>Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 50159-1, 2015-01: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach dem UCI-Verfahren - Teil 1: Prüfverfahren. - DIN 50159-2, 2015-01: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach dem UCI-Verfahren - Teil 2: Prüfung und Kalibrierung der Härteprüfgeräte. - DIN EN ISO 18265, 2014-02: Metallische Werkstoffe – Umwertung von Härtewerten. - ASTM E140 - 12B, 2019: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. - VDI/VDE 2616-1, 2012-08: Härteprüfung an metallischen Werkstoffen. [TIV-Verfahren nicht beschrieben] <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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

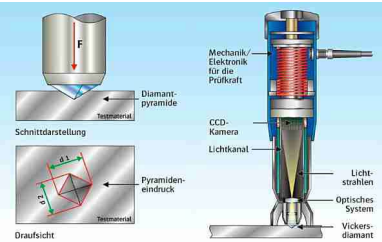
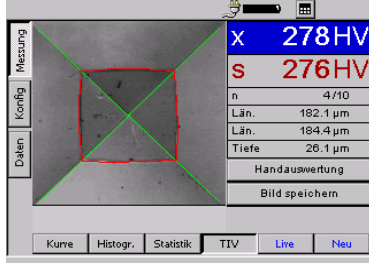
Anmerkung zur Bezeichnung Zerstörungsfreie Prüfung aus der DGZfP Richtlinie MC 1

"Die mobile Härteprüfung kann den Zerstörungsfreien Prüfungen zugeordnet werden, wenn durch den Eindruck [des Eindruckkörpers] die Funktionalität des Bauteils nicht beeinträchtigt wird."

Anmerkung zu tragbaren Härteprüfgeräten in der DIN 50159-1:2015-01 - Einleitung

"Tragbare Härteprüfgeräte erlauben die Härteprüfungen an Proben, die zu groß oder zu schwer sind, um sie auf ortsfesten Härteprüfmaschinen zu prüfen. Da die klassischen Härteprüfverfahren wie Rockwell, Vickers, Brinell u. a. in tragbaren Geräten nicht oder nur schwer realisierbar sind, haben verschiedene Hersteller in Anlehnung an die klassischen Verfahren neue Prüfverfahren entwickelt, die auch in tragbaren Geräten verwendbar sind. Jedoch bedeutet die Entwicklung jedes neuen Prüfverfahrens im Prinzip auch die Einführung einer neuen Härteskala. Wenn diese Geräte die gemessenen Härtewerte in den gängigen Skalen wie Rockwell, Vickers oder Brinell angeben sollen, müssen sie an einem Punkt ihrer Messkette eine Umwertung durchführen. Solche Härtewerte sind dann keine wirklichen Rockwell-, Vickers- oder Brinellwerte, weil sie nicht mit den genormten Rockwell-, Vickers- oder Brinell-Verfahren bestimmt worden sind."

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Mobile Härteprüfung nach dem TIV-Verfahren</p> engl.: Through Indenter Viewing Hardness Testing TIV		Prüfaufgabe - (Änderung der) Baustoffeigenschaften: Härte	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung einer Härte (indirekt) durch die optische Messung der Diagonallängen eines hinterlassenen Pyramidenabdrucks <i>durch den Eindringkörper</i> (Vickersdiamant) <i>hindurch</i> bei Erreichen einer definierten Prüfkraft. [konform zur Härteprüfung nach Vickers; Statische Prüfung]			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - statische Härte von metallischen Werkstoffen (einschließlich Hartmetalle) [ISO 6507-1] - Prüfung an dünnwandigen Blechen [DGZfP MC 1] - mögliche Anwendungen: dünne Schichten, Schweißnähte, Wärmeeinflusszone [GE]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Anwendungsbereich: Härtebereich von ca. 30 bis 1000 HV [DGZfP MC 1] - Korrektur von Härtewerten, die an gekrümmten Flächen ermittelt werden [ISO 6507-1] - Übereinstimmung von Härteprüfergebnissen ist nur für ein und dasselbe Prüfverfahren bei Einhaltung aller Versuchsparameter gegeben (folgende Festlegungen sind dazu erforderlich: Definition des Härtewerts, Geometrie und Werkstoff des Eindringkörpers, Art und Größe der Prüfkraft, Einwirkdauer der Prüfkraft bei statischen Prüfverfahren und Beschaffenheit der Probe) [DIN 50157-1]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)			
Bauseitige Voraussetzungen - Probenoberfläche: Entfernung von Zunder, Fremdstoffen und Schmierstoffen zum Erreichen einer Oberfläche, die eine exakte Messung der Eindruckdiagonalen gestattet [DIN EN ISO 6507-1] - bei Hartmetallen: Oberflächen-Schichtabtrag von mind. 0,2 mm - Umgebungstemperatur zwischen 10 °C bis 35 °C (besser: engerer Temperaturbereich von 23 ± 5 °C) [DIN EN ISO 65071] - Mindestdicke des Prüfteils: 1,5-fache der Diagonallänge des Eindrucks [ISO 6507-1]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Härteprüfung nach dem TIV-Verfahren wird ein Eindringkörper (Vickersdiamant, pyramidenförmig) mit einer definierten Prüfkraft in die Oberfläche des zu prüfenden Bauteils gedrückt. Das TIV-Prüfgerät ist mit einem optischen System aus Mikroskop und CCD-Kamera ausgestattet und der Diamant ist durchsichtig. So kann man während des Aufbringens der Prüfkraft in Echtzeit den wachsenden, pyramidenförmigen Prüfabdruck des Vickersdiamanten in der Prüfoberfläche durch den Diamanten hindurch mitverfolgen und das Eindruckbild mit einer im Gerät integrierten Software digital auswerten und speichern. Diese Software bestimmt die Umrandung des Eindrucks und ermittelt aus den Schnittpunkten der Umrandung des Eindrucks und der Kanten (im 136° Dachwinkel) des Diamanten die Längen der Diagonalen. Der Mittelwert der Diagonalen dient der Umrechnung in Härtewerte gemäß der Vickersdefinition: "Die Vickers-Härte ist proportional dem Quotienten aus der Prüfkraft [F in N] und der schrägen Oberfläche des Eindrucks, der als gerade Pyramide mit quadratischer Grundfläche und gleichem Winkel [$\alpha = 136^\circ$] wie der Eindringkörper angenommen wird." [ISO 6507-1]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Prüfung richtungsunabhängig [1] + Prüfung materialunabhängig; Einsatz ohne Kalibrierung an unterschiedlichen Materialien möglich [1] + sofortige Beurteilung der Qualität der Messung durch Echtzeit-Abbildung des Pyramidenabdrucks des Diamanten [1]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Härteprüfung nach dem Vickers-Verfahren und schematischer Aufbau einer TIV-Sonde</p> <p>[DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 8.]</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>TIV – Härteeindruck mit Messergebnis</p> <p>[DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 9.]</p> 	
<p>Messgeräte</p> <p>TIV-Härteprüfgerät bestehend aus [DGZfP MC 1]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sonde (Höhe ca. 215mm) mit Vickersdiamanten, optischem System, CCD-Kamera und Mechanik/ Elektronik zum Aufbringen der Prüfkraft - elektronische Mess- und Anzeigeeinheit 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Länge der zwei Diagonalen d_1 und d_2 in [mm] des Vickersdiamanten- Pyramidenabdrucks in der Draufsicht - Umrechnung des arithmetischen Mittelwerts d der Diagonalen, der Prüfkraft F und dem mittleren Winkel α zwischen gegenüberliegenden Flächen des pyramidenförmigen Eindringkörpers (nominal 136°) in Härtewerte [ISO 6507-1] - Zielgröße: Vickershärte HV (Messbereich: 30 bis mind. 1000 HV) [DGZfP MC 1] - Umwertung von dynamischen Härtewerten in Härtewerte statischer Verfahren nach DIN EN ISO 18265 und - Umwertung von Härtewerten in Zugfestigkeitswerte nach DIN EN ISO 18265 unter Berücksichtigung von Unsicherheiten 			
<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: Einhaltung von Mindestabständen nebeneinanderliegender Prüfeindrücke nach DIN EN ISO 6507-1 - Angaben zum Prüfgerät 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) <ul style="list-style-type: none"> - ggf. Korrektur der Härtewerte 4. Auswertung <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Härte nach TIV: Automatische Auswertung nach DIN EN ISO 6507-4: Tabellen zur Bestimmung der Härtewerte 5. Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung des Messergebnisses und der Anzahl der zugrunde liegenden Einzelwerte - Protokollierung aller Vorkommnisse oder Besonderheiten, die das Messergebnis beeinflusst haben könnten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 6. Weiteres 			
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> <ul style="list-style-type: none"> - GE Inspection Technologies: TIV
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1]</p> <p><u>Dynamische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Parallel zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Leeb-/ Rückprallverfahren (dynamisch-elastisch-plastisch) [z.B. DynaMic von GE Inspection, Equotip von Proceq] - Shore-/ Rückprallverfahren: Fallhammer (Skleroskop) oder Pendelhammer (Durosop) - Poldi-Hammer, Scherkraft, Baumann-Hammer (dynamisch-plastisch) <p><u>Statische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Frequenzverschiebung: <ul style="list-style-type: none"> - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: <ul style="list-style-type: none"> - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: <ul style="list-style-type: none"> - Rockwell-Prinzip mit hoher Prüfkraft [z.B. Dynatest von Cisam-Ernst] - Rockwell-Prinzip mit niedriger Prüfkraft [z.B. Computest von Cisam-Ernst, Equostat von Proceq] d) Laterale Lage <ul style="list-style-type: none"> - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Frank, Stefan; Lammerich, Werner: TIV (through Indenter Viewing) - Neue Möglichkeiten der mobilen Härteprüfung. In: DGZfP-Jahrestagung 2002.</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>Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 6507-1, 2018-07: Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren - DIN EN ISO 6507-1, 2018-07: Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung der Prüfmaschinen - DIN EN ISO 6507-1, 2018-07: Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten - DIN EN ISO 6507-1, 2018-07: Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 4: Tabellen zur Bestimmung der Härtewerte - DIN EN ISO 18265, 2014-02: Metallische Werkstoffe – Umwertung von Härtewerten. - ASTM E140 - 12B, 2019: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. - VDI/VDE 2616-1, 2012-08: Härteprüfung an metallischen Werkstoffen. [TIV-Verfahren nicht beschrieben] <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1–38.

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

Anmerkung zur Bezeichnung Zerstörungsfreie Prüfung aus der DGZfP Richtlinie MC 1

"Die mobile Härteprüfung kann den Zerstörungsfreien Prüfungen zugeordnet werden, wenn durch den Eindruck [des Eindruckkörpers] die Funktionalität des Bauteils nicht beeinträchtigt wird."

Anmerkung zu tragbaren Härteprüfgeräten in der DIN 50159-1:2015-01 - Einleitung

"Tragbare Härteprüfgeräte erlauben die Härteprüfungen an Proben, die zu groß oder zu schwer sind, um sie auf ortsfesten Härteprüfmaschinen zu prüfen. Da die klassischen Härteprüfverfahren wie Rockwell, Vickers, Brinell u. a. in tragbaren Geräten nicht oder nur schwer realisierbar sind, haben verschiedene Hersteller in Anlehnung an die klassischen Verfahren neue Prüfverfahren entwickelt, die auch in tragbaren Geräten verwendbar sind. Jedoch bedeutet die Entwicklung jedes neuen Prüfverfahrens im Prinzip auch die Einführung einer neuen Härteskala. Wenn diese Geräte die gemessenen Härtewerte in den gängigen Skalen wie Rockwell, Vickers oder Brinell angeben sollen, müssen sie an einem Punkt ihrer Messkette eine Umwertung durchführen. Solche Härtewerte sind dann keine wirklichen Rockwell-, Vickers- oder Brinellwerte, weil sie nicht mit den genormten Rockwell-, Vickers- oder Brinell-Verfahren bestimmt worden sind."

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Mobile Härteprüfung nach dem Rockwell-Prinzip</p> <p>engl.: Portable Rockwell Hardness Testing</p>		Prüfaufgabe - (Änderung der) Baustoffeigenschaften: Härte	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Härte (indirekt) durch Messung der Differenz der Eindringtiefe des Eindringkörpers (Diamant) mit Prüfvorkraft vor Aufbringen der Prüfkraft und der Eindringtiefe mit Prüfvorkraft nach Wegnahme der Prüfkraft. [analog dem Rockwell-Verfahren; Statische Prüfung]			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - statische Härteprüfung an metallischen Werkstoffen [DIN 50157-1] - für kratzempfindliche, polierte und dünne Teile [Proceq] - ideal für dünne oder leichte Proben [Flyer Proceq]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Anwendungsbereich: Härtebereich von ca. 20 HRC bis 70 HRC; Tiefenbereich von 0 bis 300 µm [DIN 50157-1] - Übereinstimmung von Härteprüfergebnissen ist nur für ein und dasselbe Prüfverfahren bei Einhaltung aller Versuchsparameter gegeben (folgende Festlegungen sind dazu erforderlich: Definition des Härtevalues, Geometrie und Werkstoff des Eindringkörpers, Art und Größe der Prüfkraft, Einwirkdauer der Prüfkraft bei statischen Prüfverfahren und Beschaffenheit der Probe) [DIN 50157-1] - Korrektur von Härtevalues, die auf gekrümmten Prüfflächen ermittelt werden [50157-1] - Einfluss von zusätzlichen Bedienungsfehlern durch individuell von Hand gehaltene Härteprüfgeräte [DIN EN 50157-1]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)			
Bauseitige Voraussetzungen - Mindestdicke: Bei konischen Eindringkörpern mindestens das Zehnfache und bei sphärischen Eindringkörpern das 15-Fache der Eindringtiefe [DIN 50157-1] - Probenoberfläche: glatte Oberfläche; frei von Zunder, Fremdkörpern und insbesondere frei von Schmierstoffen [DIN 50157-1] - Umgebungstemperatur zwischen 10 °C bis 35 °C (besser: enger Temperaturbereich) [DIN 50157-1]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der mobilen Härteprüfung nach dem Rockwell-Prinzip erfolgt die Prüfung analog zum Rockwell-Verfahren. "Die Geräte arbeiten nach dem Rockwellprinzip, d. h., es wird eine Prüfvorkraft F_0 aufgebracht, dann wird eine Prüfzusatzkraft F_1 aufgebracht, gehalten und zurückgenommen, sodass wieder die Prüfvorkraft wirkt. Ein Eindringkörper [...] wird von Hand oder durch einen im Messkopf eingebauten Mechanismus mit stetig steigender Kraft bis zu einem Maximalwert senkrecht in die Oberfläche einer Probe eingedrückt, dabei wird die Eindringtiefe nach Erreichen einer festgelegten Prüfvorkraft während der Kraftaufbringung und ebenso nach der Rücknahme der Prüfzusatzkraft gemessen. Aus der Differenz der Eindringtiefen beider Messungen wird vom Gerät über eine Kalibrierkurve die Härte bestimmt." [DIN 50157-1]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Messung auf horizontalen, vertikalen oder geneigten Oberflächen ohne Korrekturfaktoren [DIN 50157-1] - Kalibrierung der mobilen Härteprüfgeräte ist nur für den Werkstoff der verwendeten Härtevergleichsplatten gültig - Härtevalues können nur verglichen werden, wenn Eindringkörper, Prüfvorkräfte und Prüfgesamtkräfte gleich sind - mögliche zusätzliche Bedienungsfehler bei tragbaren Härteprüfgeräten durch individuelle Anwendung und Erfahrung des Prüfers [DIN 50157-1]			

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prüfgerät bestehend aus [1,3]: - mechanischem Messkopf mit Eindringkörper nach DIN EN ISO 6508-2: <ul style="list-style-type: none"> - Standard: Diamantkegel mit Kegelwinkel 120° und Spitzenradius 0,2 mm oder - Brinell-Kugel aus Hartmetall mit 1,5875 mm Durchmesser - elektronischer Mess- und Anzeigeeinheit - Prüfkraft <ul style="list-style-type: none"> - Prüfvorkraft F_0: 10 N bis 100 N - Prüfgesamtkraft F: 50 N bis 981 N 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messgröße: Diamanten-Eindringtiefe Δ in [μm]; $\Delta = d_2 - d_1$ mit d_1: Eindringtiefe des Eindringkörpers mit Prüfvorkraft vor Aufbringen der Prüfkraft und d_2: Eindringtiefe des Eindringkörpers mit Prüfvorkraft nach Wegnahme der Prüfkraft [1] - Zielgröße: modifizierte Rockwellhärte HMMRC durch Umrechnung der Eindringtiefe in Härtewerte mit Hilfe einer Kalibrierkurve (im Gerät hinterlegt) [1] - Umwertung von Härteskalen untereinander nach DIN EN ISO 18265 und - Umwertung von Härtewerten in Zugfestigkeitswerte nach DIN EN ISO 18265 unter Berücksichtigung von Unsicherheiten 			
<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: Einhaltung von Mindestabständen zwischen Prüfeindrücken und zum Rand der Probe nach DIN 50 157-1 - Angaben zu Eindringkörper, Prüfkraften und Prüfzeiten <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es ist sicherzustellen, dass sich die Probe während der Messung nicht verschieben kann. Gegebenenfalls ist dafür eine geeignete Aufnahmevorrichtung zu verwenden. Jede Bewegung der Probe verfälscht die Messung und kann eine Beschädigung des Eindringkörpers bewirken. [DIN 50157-1] <p>4. Auswertung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der modifizierten Rockwell-Härte durch Umrechnung der Eindringtiefe des Eindringkörpers in Härtewerte mit Hilfe einer Kalibrierkurve <p>5. Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung "mit allen wesentlichen Einzelheiten der Prüfung, welche nicht in der DIN 50157 festgelegt sind, oder die wahlweise angewandt werden können - Protokollierung des Messergebnisses und der deren Messunsicherheit - Protokollierung aller Vorkommnisse oder Besonderheiten, die das Messergebnis beeinflusst haben könnten - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>6. 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> <ul style="list-style-type: none"> - Proceq AG: Equotip 550 Portable Rockwell - Cisam-Ernst: Dynatest
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe</p> <p>Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1]</p> <p><u>Dynamische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Parallel zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> - Leeb-/ Rückprallverfahren (dynamisch-elastisch-plastisch) [z.B. DynaMic von GE Inspection, Equotip von Proceq] - Shore-/ Rückprallverfahren: Fallhammer (Skleroskop) oder Pendelhammer (Duroskop) - Poldi-Hammer, Scherkraft, Baumann-Hammer (dynamisch-plastisch) <p><u>Statische Prüfung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Frequenzverschiebung: <ul style="list-style-type: none"> - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: <ul style="list-style-type: none"> - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: <ul style="list-style-type: none"> - Rockwell-Prinzip mit hoher Prüfkraft [z.B. Dynatest von Cisam-Ernst, Equotip von Proceq] - Rockwell-Prinzip mit niedriger Prüfkraft [z.B. Computest von Cisam-Ernst, Equostat von Proceq] d) Laterale Lage <ul style="list-style-type: none"> - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</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>Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN 50157-1/ -2, 2008-04: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung mit tragbaren Härteprüfgeräten, die mit mechanischer Eindringtiefenmessung arbeiten. - DIN EN ISO 6508-1, 2016-12: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 1: Prüfverfahren. - DIN EN ISO 6508-2, 2015-06: Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung der Prüfmaschinen und Eindringkörper. - DIN EN ISO 6508-3, 2015-06: Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell - Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten. - DIN EN ISO 18265, 2014-02: Metallische Werkstoffe - Umwertung von Härtewerten. - ASTM E140 - 12B, 2019: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. - VDI/VDE 2616-1, 2012-08: Härteprüfung an metallischen Werkstoffen. [TIV-Verfahren nicht beschrieben] <p>Merkblätter DGZfP</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGZfP MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Anmerkung zur Bezeichnung Zerstörungsfreie Prüfung aus der DGZfP Richtlinie MC 1

"Die mobile Härteprüfung kann den Zerstörungsfreien Prüfungen zugeordnet werden, wenn durch den Eindruck [des Eindruckkörpers] die Funktionalität des Bauteils nicht beeinträchtigt wird."

Anmerkung zu tragbaren Härteprüfgeräten in der DIN 50159-1:2015-01 - Einleitung

"Tragbare Härteprüfgeräte erlauben die Härteprüfungen an Proben, die zu groß oder zu schwer sind, um sie auf ortsfesten Härteprüfmaschinen zu prüfen. Da die klassischen Härteprüfverfahren wie Rockwell, Vickers, Brinell u. a. in tragbaren Geräten nicht oder nur schwer realisierbar sind, haben verschiedene Hersteller in Anlehnung an die klassischen Verfahren neue Prüfverfahren entwickelt, die auch in tragbaren Geräten verwendbar sind. Jedoch bedeutet die Entwicklung jedes neuen Prüfverfahrens im Prinzip auch die Einführung einer neuen Härteskala. Wenn diese Geräte die gemessenen Härtewerte in den gängigen Skalen wie Rockwell, Vickers oder Brinell angeben sollen, müssen sie an einem Punkt ihrer Messkette eine Umwertung durchführen. Solche Härtewerte sind dann keine wirklichen Rockwell-, Vickers- oder Brinellwerte, weil sie nicht mit den genormten Rockwell-, Vickers- oder Brinell-Verfahren bestimmt worden sind."

Physikalische Grundlage Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren Klopfprobe/ Abklopfen mit Hammer engl.: Tap Testing/ Hammer Tapping test	Prüfaufgaben - (Änderung der) Baustoffeigenschaften - Korrosion - Anschluss Nietverbindungen - Anschluss Schraubverbindungen
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Beurteilung der Beschaffenheit des oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche und zur Beurteilung von Verbindungsmitteln durch Abklopfen mit Finger, Knöcheln, Faust oder Hammer zur Erzeugung eines Schalls.	
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Feststellen der Änderung von Baustoffeigenschaften - Ortung von Unterrostung bei beschichtetem Stahlblech [1] - Kontrolle von Nietverbindungen von Stahlkonstruktionen [1] - Kontrolle von Schraubverbindungen von Stahlkonstruktionen - Klopfprobe 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	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)	
Bauseitige Voraussetzungen - Ausschalten störender Einflüsse durch Lärmquellen im Prüfumfeld - Zugänglichkeit - ausreichende Robustheit der Prüfoberfläche	
Verfahrensbeschreibung	
Langbeschreibung Bei der Klopfprobe wird die Beschaffenheit eines oberflächennahen Bereichs einer Prüffläche oder der Sitz von Verbindungsmitteln wie Nieten und Schrauben beurteilt. Das Abklopfen erfolgt i.d.R. unter Zuhilfenahme eines Hammers. Zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit klopft man auf die Bauteiloberfläche, wodurch Stoßwellen in das Bauteil eindringen. Der hörbare Klang lässt sich in hell oder dumpf bzw. höher- und niederfrequent unterscheiden. Ein heller Klang und deutlich spürbarer Rückprall des Hammers lassen auf ein intaktes Stahlblech schließen; ein dumpfer Klang hingegen auf ein unterrostetes Stahlblech. [1] Zur Beurteilung der Niete berührt man mit dem Zeigfinger einer Hand den Rand des Nietkopfes und gleichzeitig das umgebende Konstruktionsmaterial; mit der anderen Hand führt man je Nietkopf zwei Schläge mit einem Hammer etwa im rechten Winkel zueinander aus. Lose Niete lassen sich durch sehr kleine Bewegungen zwischen Nietkopf und Walzmaterial und ihrem Klangunterschied im Vergleich zu fest sitzenden Nieten erkennen. [3] Zur besseren Unterscheidung des Klangs ist es ratsam, verschiedenartige Bereiche mehrmals abzuklopfen.	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schneller erster Eindruck - nur oberflächennahe Bewertung - subjektive Bewertung der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Erfahrung des Prüfers - nachfolgende Untersuchungen zur Aufklärung sind notwendig	

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
-		-	
Messgeräte - Hammer - leichter Schlosserhammer mit einem Gewicht < 300 g zum Anschlagen von Nieten [2,3]			
Messgröße - Frequenzgehalt des hörbar reflektierten Schalls			
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 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) - Abklopfen in regelmäßigem Raster - ggf. Anzeichnen von Verdachtsstellen 4. Auswertung - Subjektive Bewertung des reflektierten Schalls 5. Dokumentation - Protokollierung der Durchführung - Protokollierung von Verdachtsstellen in einem Kataster - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 6. Weiteres - Weiterführende Untersuchungen, ggf. mit Ultraschall			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
1/5	1/5	1/5	2/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Mitsui Woodpecker: WP-632AM (Tapping Exfoliation Detector)</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>-Verfeinertes Verfahren zur Beurteilung des festen Sitzes von Nieten: Piezoelektrischer Impulshammer [2]</p>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Kastner, Richard H. (2004): Altbauten - Beurteilen, Bewerten. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., Verfahren 7: Abklopfen, S. 16-22</p> <p>[2] 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).</p> <p>[3] Helmerich, Rosemarie (Hg.) (2005): Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.</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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.</p> <p>Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten</p> <p>- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1–38.</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>

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren Schallemissionsprüfung engl.: Acoustic Emission Testing AT (AET)		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Volumen-Inhomogenitäten: Querschnittsrisse - Konstruktionselemente: Materialstärke/ Blechdicke - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahtrisse	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von aktiven Rissen und Inhomogenitäten durch die passive Erfassung von Emissionssignalen verursacht durch Strukturänderungen im Material z.B. bei Belastung unter Lasteinwirkung.			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Detektion von Rissbildung, Rissfortschritt, Rissuferreibung, Delamination und Versetzungsbewegung [1] - Identifizierung von Bereichen, die unter Belastung kritisch oder auffällig sind [7] - Hohlkastenprofile, Drahtbrüche in Spannbeton und Drahtbrüche in Schrägseilen [1,7] - als grundlegende Prüfung für weiterführende, detaillierte Prüfung, z.B. mit Ultraschall [7]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - kein Nachweis von ruhenden, nicht-wachsenden bzw. sich nicht-bewegenden Inhomogenitäten [1]: Voraussetzung: äußere Belastung, die zum Auftreten/ zur Aktivität oder zur Veränderung von Fehlstellen führt [7] - keine Aussagen über bereits gerissene Spanndrähte vor der Überwachung [1] - Beeinflussung durch Hintergrund- und Betriebsgeräusche und andere, äußere Störgeräusche [DIN EN 13554]: Voraussetzung: Lokalisierung der Schallemissionsquellen zur Unterscheidung zwischen Schallemissionen durch innere Schädigungen und durch Störquellen - Beeinflussung des Messergebnisses durch Korrektheit der akustischen Kopplung, mechanischen Befestigung, Frequenzwahl und angepassten Verkabelung [DIN EN 13554] - Beeinflussung durch Ebenheit der Oberfläche zur Anbringung der Sensoren und zur adäquaten und wiederholbaren Übertragung von Schallemissionswellen [DIN EN 13554]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - dauerhafte Überwachung (Monitoring) von Bereichen, die unter Belastung kritisch oder auffällig sind [1,7] - umfangreiche Analyse durch Integration von weiteren Sensordaten (Dehnung, Schwingungen, etc.) möglich [7] - Abschätzung der Wirksamkeit von Reparaturmaßnahmen und zeitlichem Schädigungsverlauf [4] - Detektion und Ortung der Entstehung von Korrosionsprodukten in der Theorie möglich [10]			
(Bauseitige) Voraussetzungen - umfassende Sichtprüfung vor Durchführung der Schallemissionsprüfung [DIN EN 13554] - geeignete Anregung des Bauteils zur Erzeugung von mechanischen Spannungen oder Verwendung der Betriebslasten - Vermeiden von Betriebsgeräuschen und anderen, äußeren Störgeräuschen [DIN EN 13554]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Schallemissionsprüfung werden elastische Wellen von Schädigungen aufgezeichnet, die in einem Bauteil beispielsweise durch Belastungen entstehen. "Die Aufbringung von Lasten auf einen Werkstoff oder raue Umgebungsbedingungen verursachen innere strukturelle Änderungen wie z. B. lokale plastische Verformung, Risswachstum, Korrosion, Erosion und Phasenübergänge. Schallemissionsquellen entstehen auch durch Stoßbelastung, Leckage (turbulente Strömung), Kavitation, elektrische Entladung und Reibung. All diese Mechanismen und Prozesse werden im Allgemeinen von der Erzeugung elastischer Wellen begleitet, die sich in Werkstoffen [...] ausbreiten. Die Wellen enthalten daher Informationen über die Veränderungen des Werkstoffes und/oder der Konstruktion im Inneren. Die Wellen werden mithilfe geeigneter Sensoren, welche die Teilchenbewegung an der Oberfläche des Werkstoffes in elektrische Signale umwandeln, aufgenommen. Diese Signale können als Einzelsignale (Bursts) oder als kontinuierliche Signale auftreten und werden mit einer geeigneten Messtechnik aufgezeichnet und verarbeitet, um die Schallemissionsquellen zu detektieren, zu charakterisieren und zu orten." [DIN EN 13554] Die Anzahl der zu verwendenden Sensoren hängt u.a. von der gewünschten Ortungsgenauigkeit und der Größe des zu überwachenden Objektes ab. Ist eine dreidimensionale Lokalisierung notwendig, müssen mindestens vier Sensoren verwendet werden. [9]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + aktive Nutzung des Verkehrs auf Brücken zur Schallemission für Messung [7] - kein Nachweis von statischen Fehlstellen, wie z.B. ruhenden Rissen [DIN EN 13554, 1] - keine beliebige Wiederholbarkeit der Prüfung durch Messung von Schallwellen, die durch Defekt entstehen [6] - die Installation der Sensoren kann sehr aufwändig sein			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p style="text-align: center;">Drahtlose SEA-Messungen an FMPA Rampe C. Grosse, TU München</p>			
<p>Messgeräte</p> <p>Prüfzubehör nach [DIN EN 13554, 1]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acoustic Emission-Sensoren (piezoelektrische Sensoren) - Sensorbefestigung: Magnethalter oder Bänder, Klemmen, Kleber, usw. zur akustischen Ankopplung - Koppelmittel: Silikonfett, Öl, Kleber, Wachs, wasserlösliche Paste oder lösemittelhaltige Paste - Signalverstärker und Frequenzfilter - <u>Steuereinheit (PC-Software) mit Erfassungs- und Auswertungseinheit</u> 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>[DIN EN 13554, 1]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - transientes Schallemissionssignal (Schwellenüberschreitung der Schallemission; sogenannter "Hit"): Signal mit zeitlich erkennbarem Anfang und Ende (dieses Signal kann auch ein Störgeräusch sein) - Ankunftszeit: Zeit, wenn ein transientes Signal das erste Mal die Nachweisschwelle übersteigt - Signalanzahl oder Signalrate pro Zeiteinheit - weitere transiente Schallemissionssignale (sogenannte "Bursts"): Maximalamplitude, Signalenergie, Anstiegszeit, Signaldauer, Anzahl der Überschwingungen - <u>Aufzeichnung von Wellenformen und Auswertung des Leistungsspektrums (Peakfrequenz, Medianfrequenz, etc.)</u> 			
<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"> - Durchführung einer umfassenden Sichtprüfung - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellen einer Prüfanweisung - Prüfung von Hintergrundgeräuschen - Vorbereitung der Prüffläche: Oberflächenvorbereitung <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Schallemissionsprüfung nach DIN EN 13554</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung: Verifizierung der Sensorankopplung, Messkette und ordnungsgemäßen Funktion aller Messgeräte - Lastaufbringung auf Prüfobjekt: Erzeugung einer mechanischen Spannung - Freisetzung elastischer Energie im Bauteil durch Inhomogenität und Wellenausbreitung - Erfassung der mechanischen Welle mittels Sensorik - Nachbereitung: Verifizierung der Empfindlichkeit jedes Schallemissionskanals und Verifizierung der Funktionstüchtigkeit des Schallemissionssystems <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datenanalyse im Anschluss an die Prüfung zur Bewertung der Quellen und ihrer Klassifizierung: parameterbasierte oder signalbasierte Schallemissionsanalyse [9] - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Darstellung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
x/5	x/5	x/5	x/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elsys AG [https://www.elsys-instruments.com/de/index.php] - Embedded Real Time KERT [http://www.kert.u-boehm.de/k.html] - Vallen Systeme GmbH [https://www.vallen.de/sensors/] - Mistras Group: Physical Acoustics Group [https://www.physicalacoustics.com/sensors/] - Hexagon Digital Wave [https://www.digitalwavecorp.com/]
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Kompendium Schallemissionsprüfung Acoustic Emission Testing (AT). Grundlagen, Verfahren und praktische Anwendung. Version 2018. In: DGZfP-Fachausschuss Schallemissionsprüfverfahren, S. 1-52.</p> <p>[2] Die Schallemissionsprüfung. Band 6. Unter Mitarbeit von Hartmut Vallen. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 6.</p> <p>[3] Grosse, Christian; Ohtsu, Masayasu (Hg.) (2008): Acoustic emission testing. Basics for research - applications in civil engineering. Berlin, Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10239300.</p> <p>[4] Bauakademie Hessen-Thüringen E.V. (Hrsg.) (2019): Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der Bauwerksprüfung. Unterlagen für den Unterricht.</p> <p>[5] Pirkawetz, Stephan; Wolf, Julia; Schmidt, Wolfram; Rogge, Andreas: Einsatzmöglichkeiten der Schallemissionsanalyse im Bauwesen. In: 8. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, S. 61-72. Online verfügbar unter https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/ressourcen/dateien/veranstaltungen/seub/8-seub_2015/SEUB2015_05_Pirkawetz_et_al.pdf?lang=de.</p> <p>[6] Marihart, Heribert: Schallemissionsprüfung an einer Eisenbahnbrücke. In: DGZfP - 10. Fachtagung - ZfP im Eisenbahnwesen 2018, S. 1-12.</p> <p>[7] Löhr, Manuel: Einsatz der Schallemissionsanalyse als Dienstleistung an Brückenbauwerken. Vortrag 19. In: 20. Kolloquium Schallemission 2015, S. 1-6. Online verfügbar unter https://www.dgzfp.de/portals/schallemission2015/BB/19.pdf.</p> <p>[8] Löhr, Manuel (2014): Möglichkeiten und Grenzen der Schallemissionsanalyse im Rahmen von Bauwerksprüfungen. 24. Zusammenkunft der Ingenieurinnen / Ingenieure. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Dortmund, 30.09.2014. Online verfügbar unter https://www.vfib-ev.de/img/uploads/files/661_2014-10-15%20Bauwerkspr%C3%BCfertagung%202014%20Tagungsband.pdf.</p> <p>[9] Grosse, Christian; Schumacher, Thomas: Anwendungen der Schallemissionsanalyse an Betonbauwerken. In: Bautechnik 90 (2013) Heft 11, S. 1-11.</p> <p>[10] Wachsmuth, Janne; Bohse, Jürgen: Schallemissionsanalyse von Schadensmechanismen an Feinkornstahl. In:</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 1330-9, 2017-10: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Schallemissionsprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "AT" 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 Schallemissionsprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> -DIN EN 13477-1, 2013-11: Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung - Charakterisierung der Prüfausrüstung - Teil 1: Gerätebeschreibung. -DIN EN 13477-2, 2013-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung - Charakterisierung der Prüfausrüstung - Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen. -DIN EN 13554, 2011-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung - Allgemeine Grundsätze.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

- DGZfP (Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung): Kolloquium Schallemission

[<https://www.dgzfp.de/Fachaussch%C3%BCse/Schallemissionspr%C3%BCfverf>]

- EWGAE (European Working Group on Acoustic Emission): European Conference on Acoustic Emission

[<http://www.ewgae.eu/conf.html>]

- ISAE International Society on Acoustic Emission: World Conference on Acoustic Emission

[http://www.wcacousticemission.org.cn/whats_new.php]

Physikalische Grundlage		Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Ultraschallprüfung - Impuls-Echo-Technik</p> engl.: Ultrasonic Testing UT		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Volumen-Inhomogenitäten: Querschnitts- und Materialrisse - Konstruktionselement: 'Materialstärke/ Blechdicke - Beschichtungsstoffe: Schichtdicke - Seile und Zugelemente: äußere/ innere Drahtbrüche	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von relevanten Anzeigen durch Erzeugung von mechanisch angeregten Impulsen (piezoelektrisch) 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] - Volumenverfahren			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Lage und Größe von Inhomogenitäten im Bauteilquerschnitt [2,7] - Bauteil-/ Wanddicke [2,7] - elastische Werkstoffkennwerte [2,7] - Bestimmung der Schichtdicke von Beschichtungen [ISO/TS 193979] - Prüfung von Schweißverbindungen [4]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Einflussparameter: Geräteverstärkung/ Empfindlichkeitsjustierung [3], Bauteilabmessung, Fehlerorientierung, frequenzabhängige Schallschwächung [8] - Fehlertyp, Fehlerlage und Orientierung müssen vor Prüfung bekannt sein, weil die Prüfung auf alle möglichen Fehlerlagen und Orientierungen zu zeit- und kostenaufwändig wäre [8] - Nachweisbarkeit von Fehlstellen in der Größenordnung der Wellenlänge: $d \sim \lambda$ [8] - Fehlergröße: Rissbreite ist nicht zu quantifizieren, Risstiefe ist grundsätzlich möglich - Änderung eines Parameters kann eine ganze UT Inspektion verhindern (Nahtüberhöhung, Ankopplung, Schweißprozess, ...) - Detektion von Fehlern abhängig von der Rissorientierung, vom gewählten Prüfkopf und vom Einschallwinkel des Prüfkopfs: [8] - Risse , die senkrecht von der Oberfläche ins Material einlaufen, sind mit einem Einschallwinkel von 60° bzw. 30° nicht nachweisbar (gängige Einschallwinkel in Stahl: 35°, 45°, 60°, 70° und 80°) [8] - Schweißnahtrisse müssen mit Winkelprüfköpfen untersucht werden, da Senkrechtprüfköpfe aufgrund der Schweißnahtüberhöhung nicht direkt aufgesetzt werden können [8] - Einschlüsse , die kugel- bzw. blasenförmig und ohne ausgeprägte Orientierung sind, können mit Senkrecht- und Winkelprüfköpfen nachgewiesen werden - Flächige Fehler , die keine Oberflächenrisse sind, müssen für den Nachweis nahezu senkrecht getroffen werden [8] - Wanddickenmessung : Verwendung von Stoßwellenprüfköpfen; für geringe Wanddicken: Vorlaufstrecken-Aufsatz [8]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) -			
Bauseitige Voraussetzungen - Oberflächenvorbereitung: Prüfflächen müssen frei von Schmutz, losem Zunder und Schweißspritzern etc. sein und eine ausreichend gleichmäßige Kontur und Glätte aufweisen [DIN EN ISO 16810] - einseitige Zugänglichkeit zur Prüfoberfläche [2]			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Ultraschallprüfung werden "[...] Ultraschallwellen durch den Prüfgegenstand gesandt [...], wobei entweder das durchgelassene Signal (Durchschallungstechnik genannt) oder das von einer Grenzfläche oder Inhomogenität reflektierte oder gestreute Signal (Impuls-Echo-Technik genannt) beobachtet wird. Bei beiden Techniken können sowohl ein einzelner Prüfkopf verwendet werden, wobei dieser sowohl als Sender und auch als Empfänger dient, als auch ein Prüfkopf mit getrenntem Sende- und Empfangswandler oder auch getrennte Prüfköpfe zum Senden und Empfangen. Gleichmaßen können beide Techniken Zwischenreflexionen von einer oder von mehreren Oberflächen des Prüfgegenstandes einbeziehen." [DIN EN ISO 16810; Grundlagen der Ultraschallprüfung] Die Impuls-Echo-Technik "verwendet Signale, die an beliebigen, interessierenden Grenzflächen innerhalb des Prüfgegenstandes reflektiert oder gestreut werden. Diese Signale werden durch ihre Amplitude und ihre Position auf der Zeitachse beschrieben; letztere ist ein Maß für den Abstand zwischen Reflektor und Prüfkopf. Die Position des Reflektors wird durch dessen Abstand, durch die Ausbreitungsrichtung des Schalls und durch die Prüfkopfposition bestimmt. Es wird empfohlen, die Signalamplitude zu messen durch Bezug auf entweder: a) eine oder mehrere Bezugslinien (DAC-Kurven), die an künstlichen Reflektoren (Querbohrungen, Flachbodenbohrungen, Nuten usw.) an einem oder mehreren Vergleichskörpern aufgenommen wurden; b) ein äquivalentes Reflektordiagramm (AVG-System); c) Echos von geeigneten Nuten; oder d) Echos von großen, rechtwinklig zur Schallbündelachse orientierten Reflektoren (z. B. ein Rückwandecho). Diese Verfahren sind in ISO 16811 beschrieben. Um zusätzliche Informationen über Gestalt und Größe von Reflektoren zu erhalten, dürfen andere Techniken angewendet werden. Derartige Techniken beruhen zum Beispiel auf der Änderung der Signalamplitude bei der Prüfkopfbewegung, auf Laufzeitmessungen oder Frequenzanalysen." [DIN EN ISO 16810]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + Detektion von Inhomogenitäten auf Oberfläche und im Querschnitt [4] +/- Untersuchung von Oberflächenrisse mit Ultraschall nur an unzugänglichen Bauteiloberflächen und Schweißnähten; ansonsten besser mit Oberflächenprüfverfahren (Eindringprüfung, Magnetpulverprüfung) [8] - Fehlertyp, Fehlerlage und Orientierung müssen vor Prüfung bekannt sein, weil die Prüfung auf alle möglichen Fehlerlagen und Orientierungen zu zeit- und kostenaufwändig wäre [8]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Dickenkontrolle an Probekörper</p> <p>A. Taffe, HTW Berlin</p>		<p>Messergebnisse</p> <p>Dickenkontrolle an Probekörper: Auswertung</p> <p>A. Taffe, HTW Berlin</p>	
<p>Messgeräte</p> <p>Prüfausrüstung nach DIN EN ISO 16810:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ultraschallprüfgerät nach EN 12668-1: <ul style="list-style-type: none"> - mit anregendem Frequenzbereich zwischen 1 bis 10 MHz [9] (Vgl. Beton: 20 - 100 kHz), - hohe Frequenz: + Auflösung, aber - Eindringtiefe; niedrige Frequenz: + Eindringtiefe, aber - Auflösung - Ultraschallprüfkopf nach EN 12668-2: Senkrechtprüfkopf, Winkelprüfkopf - Koppelmittel - Kalibrierkörper - Vergleichskörper 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festgelegte(s) Merkmal(e) aus Prüfvorschrift oder Prüfanweisung: <ul style="list-style-type: none"> - Prüfaufgabe: z.B. Inhomogenität: Riss durch Messung der Amplitude A in [%SH] [2] <ul style="list-style-type: none"> - qualitativ: detektiert oder nicht detektiert - quantitativ: z.B. Einschätzung der Fehlergröße - Prüfaufgabe: z.B. Schichtdicke bzw. Wanddicke d in [µm; mm] durch Messung der Laufzeit t in [µs] [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, 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 - Auswahl des Prüfkopfs (Senkrechtprüfkopf oder Winkelprüfkopf) und des Einschallwinkels in Abhängigkeit von: Prüfaufgabe, Ankoppeltechnik, Fehlerart, -lage und -orientierung, Bauteilabmessung, erwarteter Fehlergröße [8] - Einstellung des Gerätes: Entfernungsjustierung, Verstärkung [DIN EN ISO 16810] - Wahl der Prüffrequenz durch Vorversuch oder Ausprobieren [8] - Vorbereitung der Prüffläche: Oberflächenvorbereitung [DIN EN ISO 16810] <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Ultraschallprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messung durch Versetzen des Ultraschall-Prüfsensors in einem bestimmten Raster <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Messdatenerfassung und Messdatenvisualisierung: z.B. Rekonstruktion der Rohdaten mit SAFT-Auswertung - Bewertung der Anzeige durch Quellenklassifizierung - 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 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
4/5	4/5	4/5	4/5

Weiterführende Informationen

Gerätehersteller, Software

- Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG: Echograph-Reihe
[http://www.karldeutsch.de/KD_ECHOGRAPH_Contents_Digital_DE_M1.html]
- Elcometer: NDT-Ultraschall-Produktreihe [<https://www.elcometer.com/de/ndt-ultraschall.html>]:
z.B. Elcometer: 456 Schichtdickenmessgerät
[<https://www.elcometer.com/de/beschichtungskontrolle/trockenfilmdicke/digital/elcometer-456-schichtdickenmessgeraet.html>]
- GE Sensing & Inspection Technologies GmbH: Mentor UT, USM 36 Portable, USM Go + Portable
[<https://www.industrial.ai/inspection-technologies/ultrasound-portables>]

Verwandte Verfahren/ Messvarianten

- Varianten Ultraschall:

- 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
- **Übersicht der Verfahren zur nicht zerstörenden Bestimmung der Trockenschichtdicke [DIN EN ISO 2808 - Anhang A, Tabelle 2]**

1. Gravimetrisches Messprinzip

1.1 Massendifferenz

2. Optisches Messprinzip

2.1 Querschliff/ Querschnitt (zerstörend)

2.2 Keilschnitt (zerstörend)

2.3 Weißlicht-Interferometrie

3. Magnetisches Messprinzip

3.1 Haftkraft

3.2 Magnetfeldänderung, Verfahren nach dem Hall-Sensor-Prinzip

3.3 Magnetfeldänderung, magnetinduktives Verfahren

3.4 Wirbelstrom

4. Radiologisches Messprinzip

4.1 Betarückstreu-Verfahren

5. Photothermisches Messprinzip

5.1 Wärmeausbreitung

6. Akustisches Messprinzip6.1 **Ultraschallreflexion**7. Elektromagnetisches Messprinzip

Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)

- [1] **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.
- [2] **Ultraschallprüfung (UT)** (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hrsg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht.
- [3] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: **Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau**. In: **Stahlbau Kalender 2006**, S. 549-596.
- [4] Steinhausen, Ralf; Pientschke, Christoph; Strauß, Alexander: **Moderne bildgebende Ultraschall-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Schweißnähten im Stahlbau**. In: **Stahlbau Kalender 2017**, S. 271-312.
- [5] Schiebold, Karlheinz (2015): **Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung-Ultraschallprüfung**. 1. Auflage mit 441 Bildern und 100 Tabellen. Berlin: Springer-Verlag.
- [6] **Die Ultraschallprüfung. Band 1** (1999). Unter Mitarbeit von Volker Deutsch. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 1.
- [7] **Messtechnik mit Ultraschall. Band 2** (2002). Unter Mitarbeit von Volker Deutsch. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 2.
- [8] Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG: **Die Qual der Wahl: Welcher Prüfkopf für welchen Einsatz?** Sonderdruck: SD 1/51. Informationsschrift, zusammengestellt von V. Schuster, M. Lach, M. Platte. In: DACH-Jahrestagung 2004, S. 1-19. Online verfügbar unter https://www.karldeutsch.de/PDF/Sonderdrucke/SD_1_51%20Welcher%20Pr%C3%BCkopf%20f%C3%BCr%20welchen

%20Einsatz.pdf.

[9] Bauakademie Hessen-Thüringen E.V. (Hg.) (2019): **Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der Bauwerksprüfung** **Unterlagen für den Unterricht**

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

Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)

- DIN EN ISO 5817, 2014-07: Schweißen – Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) – Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten.
- DIN EN ISO 10042, 2019-01: Schweißen – Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen – Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten.
- DIN EN ISO 10863, 2011-12: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Anwendung der Beugungslaufzeittechnik (TOFD).
- DIN EN ISO 11666, 2018-05: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Zulässigkeitsgrenzen.
- DIN EN ISO 13588, 2013-11: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Anwendung von automatisierter phasengesteuerter Array-Technologie.
- DIN EN ISO 15626, 2018-11: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Beugungslaufzeittechnik (TOFD) – Zulässigkeitsgrenzen.
- DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe.
- DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen.
- DIN EN ISO 17640, 2019-02: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Techniken, Prüfklassen und Bewertung.
- DIN EN ISO 19285, 2017-12: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung mit Phased-Arrays (PAUT) – Zulässigkeitsgrenzen.
- DIN EN ISO 20601, 2019-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Verwendung von automatisierter phasengesteuerter Array-Technologie für dünnwandige Bauteile aus Stahl.
- DIN EN ISO 22825, 2018-02: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Prüfung von Schweißverbindungen in austenitischen Stählen und Nickellegierungen

- DIN EN ISO 23279: 2017-12: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Charakterisierung von Anzeigen in Schweißnähten

Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)

- DIN EN ISO 2808, 2018-07: Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Schichtdicke.
- DIN CEN ISO/TS 19397, 2018-05: Bestimmung der Schichtdicke von Beschichtungen mittels Ultraschallmessung.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Magnetisches Messprinzip	
Verfahren Magnetverfahren: Magnetfeldänderung (Schichtdickenmessung) engl.: Magnetic method (Measurement of coating thickness)		Prüfaufgabe - Beschichtungsstoffe: Schichtdicke	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Schichtdicke einer nichtmagnetischen Beschichtung auf einem zu prüfenden, magnetischen Grundmetall durch eine Magnetfeldänderung.			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Schichtdickenmessungen nichtmagnetischer Beschichtungen auf magnetischem Grundmetall [ISO 2178]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Beeinflussung der Messgenauigkeit durch Schichtdicke, magnetische Eigenschaften des Grundmetalls (Permeabilität), elektrische Eigenschaften der Beschichtungen, Dicke des Grundmetalls, Kanteneffekt (Geometrie des Grundmetalls), Oberflächenkrümmung, Oberflächenrauheit, Abhebeeffekt (Sauberkeit der Prüfkopfspitze), Anpressdruck des Prüfkopfs, Neigung des Prüfkopfs, Temperatureffekte, äußere elektromagnetische Felder [ISO 2178]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) Das magnetinduktive Verfahren und das Magnetflussmessgerät "[...] können außerdem zu einem Verfahren und der gleiche Prüfkopf kann mit einem anderen Verfahren kombiniert werden, z. B. mit dem Wirbelstromverfahren nach ISO 2360 oder ISO 21968." [ISO 2178]			
Bauseitige Voraussetzungen - das zu prüfende Bauteil (Substrat) muss ferromagnetisch sein - Kalibrierung und Messung am gleichen Werkstoff			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Schichtdickenmessung mit Magnetfeldänderung "[...] wird die Schichtdicke mithilfe der magnetischen Flussdichte bestimmt. Die Stärke der magnetischen Flussdichte wird in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren in entsprechende elektrische Stromstärken, elektrische Spannungen oder mechanische Kräfte umgewandelt." [ISO 2178] "Die magnetische Flussdichte in der Nähe eines magnetischen Felds (Dauermagnet oder Elektromagnet) hängt vom Abstand zu einem magnetisierbaren Grundmetall ab. Dieses Phänomen wird zur Bestimmung der Dicke einer auf einem Grundmetall aufgetragenen nichtmagnetischen Schicht verwendet." [ISO 2178] Als Verfahren können das Magnetische Abzugskraftverfahren, das Magnetinduktive Verfahren und das Magnetflussmessgerät, das als Hallsensor oder magneto-resistiver Sensor ausgebildet ist, verwendet werden. Beim Magnetischen Abzugskraftverfahren wird das Gerät mit integriertem Magneten senkrecht auf die Beschichtung aufgesetzt und aus der mechanischen Kraft, die benötigt wird, den Magneten von der Oberfläche abzureißen, die Schichtdicke abgeleitet. [ISO 2808] Beim Magnetinduktiven Verfahren wird das Gerät mit integriertem Spulensystem, in dem ein elektromagnetisches Wechselfeld niedriger Frequenz (< 1 kHz) erzeugt wird, senkrecht auf die Beschichtung aufgesetzt und aus der Änderung des Magnetfeldes die Schichtdicke abgeleitet. [ISO 2808] Beim Verfahren nach dem Hall-Sensor-Prinzip wird das Gerät mit integriertem Hall-Sensor senkrecht auf die Beschichtung aufgesetzt und aus der Änderung des Magnetfeldes die Schichtdicke abgeleitet. [ISO 2808]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schnelles Ergebnis und einfache Durchführung - viele Einflussfaktoren			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p style="text-align: center;">Schichtdickenmessgerät auf Kalibrierfolien J. Wiese, HTW Berlin</p>			
<p>Messgeräte</p> <p>[ISO 2178, ISO 2808]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schichtdickenmessgerät mit magnetischer Haftkraft bestehend aus: Permanentmagnet, Abzugseinrichtung mit kontinuierlich zunehmender Abzugskraft und Anzeige/ Skala für die Schichtdicke - Schichtdickenmessgerät im magnetinduktiven Messverfahren bestehend aus: Elektromagnet (zur magnetischen Induktion) und Spulensystem (zur Messung) - Schichtdickenmessgerät nach dem Hall-Sensor-Prinzip bestehend aus: Elektromagnet oder Permanentmagnet (zur magnetischen Induktion) und Hall-Sensor als Magnetflussdetektor (zur Messung) <p>Kalibrierfolien Schichtdickenstandards Nullplatten</p>			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <p>[ISO 2178, ISO 2808]:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zielgröße: Schichtdicke t in $[\mu\text{m}]$ - Messgröße: Magnetische Flussdichte B bzw. Kraft F (Prinzip mechanische Anziehungs-/ Abzugskraft) - Messgröße: Magnetische Flussdichte B bzw. Spannung $U = f(t)$ (Prinzip Magnetfeldänderung) 			
<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 - Festlegung des durchzuführenden Verfahrens 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach [ISO 2178] <ul style="list-style-type: none"> - Kalibrierung - Regelmäßige Kontrolle der Prüfkopfspitze auf Sauberkeit, um Abhebeeffekt zu verhindern 4. Auswertung und Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Schichtdicke als arithmetisches Mittel aus mehreren Einzelwerten, die in einer definierten Bezugsfläche der Beschichtung gemessen wurden, und Angabe der Standardabweichung - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
8/5	2/5	2/5	3/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elektro Physik: MikroTest (<i>Haftkraftverfahren</i>) [https://www.checkline.de/prod/schichtdickenmessgeraet/mikrotest] - Automation Dr. Nix GmbH & Co. KG: Qnix-Baureihe (<i>Magnetinduktive Verfahren und Verfahren nach dem Hall-Prinzip</i>) [https://www.q-nix.com/de/schichtdickenmessgeraete/] - List-Magnetik GmbH: Top-Check-Reihe (<i>Magnetinduktive Verfahren</i>) [https://www.list-magnetik.com/schichtdickenmessgeraete]
Verwandte Verfahren/ Messvarianten
<p>Übersicht der Verfahren zur nicht zerstörenden Bestimmung der Trockenschichtdicke [DIN EN ISO 2808 - Anhang A, Tabelle 2]</p> <ol style="list-style-type: none"> <u>1. Gravimetrisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Massendifferenz <u>2. Optisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Querschliff/ Querschnitt (zerstörend) 2.2 Keilschnitt (zerstörend) 2.3 Weißlicht-Interferometrie <u>3. Magnetisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Haftkraft 3.2 Magnetfeldänderung, Verfahren nach dem Hall-Sensor-Prinzip 3.3 Magnetfeldänderung, magnetinduktives Verfahren 3.4 Wirbelstrom <u>4. Radiologisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Betarückstreu-Verfahren <u>5. Photothermisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Wärmeausbreitung <u>6. Akustisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 6.1 Ultraschallreflexion <u>7. Elektromagnetisches Messprinzip</u> <ol style="list-style-type: none"> 7.1 Terahertz
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)
Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter)
<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>Oberflächenbeschaffenheit (17.040.20)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 2178, 2016-11: Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren. <p>Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 2808, 2018-07: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Schichtdicke.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Magnetisches Messprinzip	
Verfahren <h2 style="text-align: center;">Magnetpulverprüfung</h2> <p>engl.: Magnetic Particle Testing MT</p>		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahtrisse	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Oberflächeninhomogenitäten durch Magnetisierung des zu prüfenden Bauteils, Ausbildung eines an den Rissflanken gestörten Magnetfeldes und Visualisierung der Inhomogenität durch eine Ansammlung von Magnetpulverteilchen auf der Prüfoberfläche. - Oberflächenverfahren			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Sichtbarmachen von Oberflächeninhomogenitäten (insbesondere Risse) bei allen ferromagnetischen Werkstoffen [2, DIN EN ISO 9934-1] - Nachweis von spaltartigen Materialtrennungen (Tiefenlage $t < 0,2$ mm) [1] - Sichtbarmachen von Rissen in der oberen Materialschicht unter Nietköpfen ab ihrem Hervortreten [2] - Anrisskontrolle an falsch gesetzten Bohrungen, die nachträglich mit heißem Material verfüllt wurden [2] - Qualitätskontrolle für die Ausführung von „Stop-holes“, Bohrlöchern zum Stoppen von Ermüdungsrisswachstum [2] - Prüfung von Schweißverbindungen [DIN EN ISO 17638, DIN EN ISO 23278]			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Anwendung nur bei ferromagnetischen Werkstoffen [DIN EN ISO 9934-1]; Werkstoffe mit Permeabilität $\mu_r > 100$ [7] - Magnetisierungsrichtung: Ausrichtung des Verlaufs vom magnetischen Feld muss senkrecht zur Rissrichtung sein, um einen optimalen Streufluss und eine optimale Rissanzeige hervorzurufen; Parallelität von Fehlerverlauf und Magnetfluss erzeugt keinen Streufluss, Magnetfeld läuft ohne wesentliche Beeinflussung am Fehler vorbei [3]; maximal 30 ° Abweichung [7] - Empfindlichkeit beim Nachweis von Inhomogenitäten dicht unter der Oberfläche nimmt mit zunehmender Tiefenlage schnell ab [ISO 9934-1] - Anwendung nur bei bis zur Oberfläche durchdringenden Rissen, wobei Fehler nicht offen sein muss - keine Minderung der Nachweisempfindlichkeit bei nichtferromagnetischen Beschichtungen bis zu einer Dicke von ungefähr 50 μm (wie unzerstörte, glatt anhaftende Farbschichten) [DIN EN ISO 9934-1] - Magnetisierungsfeldstärke: zu geringe Magnetisierung führt zu schwacher Rissanzeige, zu starke Magnetisierung führt zu Scheinanzeigen [3]; Magnetfeldstärke $H < 2$ kA/m [7] - Riefen, Oberflächenrauigkeiten oder andere Verformungen können zu Scheinrissanzeigen führen [1,3] - keine Fehlertiefenbewertung möglich [6] - keine Anwendung bei direkter Sonneneinstrahlung - Durchführung der fotografischen Dokumentation ohne Blitzlicht [2]			
Bauseitige Voraussetzungen - Oberfläche frei von Rost, Zunder, Fetten und Ölen [1, DIN EN ISO 9934-1] - Oberfläche durch Bürsten oder vorsichtiges Schleifen von Farb- und Korrosionsschutzschichten befreien [2] - Entfernung von Farbanstrichen und Zinkbeschichtungen mit Dicken > 50 μm ; Beschichtungsstärken bei Brücken liegen i.d.R. ≥ 320 μm [7] - Abschattung des zu untersuchenden Bereichs [2] - Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Prüfung mit Magnetpulver [1] - Betrachtungsbedingungen für die nichtfluoreszierende Magnetpulverprüfung [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Hellbereich): - gleichmäßige Beleuchtung der Prüffläche, Vermeiden von Blendwirkungen und Reflexionen - Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Prüfung - Betrachtungsbedingungen für fluoreszierende Verfahren [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Dunkelbereich; ggf. Einhausung) : - gleichmäßige Bestrahlung (UV-A-Strahlung) der Prüffläche - Umgebungslicht < 20 lx bei der Prüfung - Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Magnetpulverprüfung wird ein örtlich begrenzter Bereich der Prüfoberfläche mit Hilfe eines Handmagneten [Jochmagnetisierung] magnetisiert und mit einer Suspension, die aus feinen Pulverteilchen (Eisenpartikel) in einer Trägerflüssigkeit besteht, eingesprüht. Bei nichtfluoreszierendem Magnetpulver werden Inhomogenitäten durch einen Farbkontrast sichtbar, bei fluoreszierendem Magnetpulver werden Inhomogenitäten bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht entsprechend dem Magnetfeld ausgerichteten fluoreszierenden Eisenspäne sichtbar. [2] Diese Eisenspäne folgen dem Verlauf der magnetischen Feldlinien. An Stellen, an denen sich die Permeabilität (Magnetisierbarkeit) des Werkstoffes deutlich ändert, z.B. an Rissen, erfahren die Feldlinien eine Richtungsänderungen bzw. treten Feldlinien an der Oberfläche aus. Das magnetische Feld, das sich dabei bildet, ist der magnetische Streufluss bzw. das magnetische Streufeld. Dieses Feld ist größer als das Feld der Fehlstelle, was sich günstig auf die Nachweisbarkeit auswirkt. [1,3]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + genaueste Ergebnisse/ höchste Empfindlichkeit zur Detektion von Oberflächenrisen [8] + geringer materieller Aufwand [8] - Bearbeitung und anschließender neuer Schutz der Oberfläche [8] - nur ferromagnetische/ magnetisierbare Werkstoffe können untersucht werden [8] - keine Detektion von verdeckten Rissen [8] - Verfahren bei starker Helligkeit im untersuchten Bereich ungeeignet [8]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Magnetpulverprüfung an Stahlplatte</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>Magnetpulverprüfung an Stahlplatte: Anzeige</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p> 	
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geräte zur Oberflächenreinigung: rotierende Drahtbürste, Sandstrahlen - Magnetisierungstechnik nach DIN EN ISO 9934-1: i.d.R. Jochmagnetisierung durch Hand-Elektromagnet (230 N) [1] - Magnetpulver-Suspension - Ultraviolette Strahlenquelle für fluoreszierende Verfahren 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magnetpulveranzeige: Ansammlung von Magnetpulverteilchen über dem Riss [1] - Festgelegte(s) Merkmal(e): Risse <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?) [7]</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 [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Detailbereich (ca. 20 cm) - Vorbereitung der Prüffläche: Oberflächenvorbereitung - Kontrolle der Betrachtungsbedingungen: Beleuchtungsstärke, Bestrahlungsstärke - Kontrolle der Magnetisierung nach Größe und Richtung: Flussdichte und Feldärke - Kontrolle der Prüfmittel: Empfindlichkeit anhand Vergleichskörper nach DIN EN ISO 9934-2 <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lokale Aufmagnetisierung und Aufbringen des Prüfmittels - Anzeigenbeurteilung: Nachweis der Magnetpulveranzeige durch visuelles Absuchen der Oberfläche - Entmagnetisierung <p>4. Auswertung und Dokumentation [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dokumentation von Länge, Breite, Orientierung, Position, Form, Anordnung der Anzeigen - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5. Weiteres [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> - besondere Aufmerksamkeit gilt Scheinanzeigen, die meistens ein "verwaschenes" Aussehen haben - Wiederholung der Prüfung bei einem uneindeutigen Ergebnis oder Anwendung eines weiteren Verfahrens 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
3/5	4/5	3/5	4/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - MR Chemie GmbH [https://www.mr-chemie.de/magnetpulverpruefung/produkte/pruefmittel/] - Magnaflux GmbH [https://magnaflux.eu/de/Produkte/Magnetpulverpruefung]
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Streuflussprüfung mit Magnetfeldsensoren nach DIN 54136:1988 [6] - Oberflächenprüfverfahren: <u>Mechanische Verfahren</u> - Eindringprüfung PT (bei nicht magnetischen Werkstoffen) <u>Magnetische Verfahren</u> - Magnetpulverprüfung MT (bei ferromagnetischen Werkstoffen) - Wirbelstromprüfung ET (bei leitenden Werkstoffen)
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Magnetpulverprüfung (MT) (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hrsg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht.</p> <p>[2] Helmerich, Rosemarie (Hg.) (2005): Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.</p> <p>[3] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</p> <p>[4] Schiebold, Karlheinz (2015): Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung - Magnetpulverprüfung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.</p> <p>[5] Die Magnetpulver-Rissprüfung. Band 3 (2010). Unter Mitarbeit von Volker Deutsch. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 3.</p> <p>[6] Casperson, Ralf; Heideklang, René; Myrach; Philipp, Onel, Yener; Pelkner, Matthias; Pohl, Rainer et al.: Vergleich konventioneller und neuer Oberflächenprüfverfahren für ferromagnetische Werkstoffe. In: DACH-Jahrestagung 2015, Bd. 152, S. 1-11. Online verfügbar unter https://opus4.kobv.de/opus4-bam/files/34426/mi2b4.pdf.</p> <p>[7] Bauakademie Hessen-Thüringen E.V. (Hrsg.) (2019): Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der Bauwerksprüfung. Unterlagen für den Unterricht.</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 ISO 12707, 2016-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Vokabular. [Ersatz für DIN EN 1330-7] <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Magnetpulverprüfung zählt zu den Verfahren der klassischen ZfP und ist mit der Abkürzung "MT" 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 Magnetpulverprüfung durchzuführen. <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 3059, 2013-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung und Magnetpulverprüfung - Betrachtungsbedingungen. - DIN EN ISO 9934-1 2017-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen - DIN EN ISO 9934-2, 2015-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 2: Prüfmittel - DIN EN ISO 9934-3, 2015-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 3: Geräte <p>Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN ISO 5817, 2014-07: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. - DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe. - DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von

- DIN EN ISO 17638, 2017-03: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung.
- DIN EN ISO 23278, 2015-06: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen - Zulässigkeitsgrenzen.

Regelwerke DGZfP - Richtlinien und Merkblätter zur Oberflächenrisssprüfung (EM-Reihe)

- DGZfP-EM5, 2002-11: Merkblatt über Schutzmaßnahmen beim Umgang mit elektromagnetischen Feldern in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.
- DGZfP-EM6, 2012-01: Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren - Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung.

[zurückgezogen: EMO, 2005: Richtlinie über die Durchführung von Magnetpulverprüfungen

EM1, 2003: Richtlinie über die Sehfähigkeit des Prüfpersonals für die Oberflächenverfahren der ZfP

EM2, 1988: Richtlinie über Betrachtungsbedingungen bei Magnetpulver- und Eindringprüfung

EM3, 1994: Richtlinie zur Kontrolle von Prüfparametern bei der Magnetpulverprüfung

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Magnetisches Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Wirbelstromprüfung</p> <p>engl.: Eddy Current Testing ET</p>		Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächeninhomogenitäten: Oberflächenrisse - Beschichtungsstoffe: Schichtdicke - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahtrisse 	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von Inhomogenitäten durch Induktion von elektrischem Strom in leitendem Material und die Messung der Änderung der Wirbelstromdichte im Bereich der Inhomogenität. Oberflächenverfahren			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) <ul style="list-style-type: none"> - Detektion von Inhomogenitäten (Risse, Poren) [DIN EN ISO 15549] - Messen der Dicke von Beschichtungen und Schichten [DIN EN ISO 15549] - Prüfung von Schweißverbindungen - "Visualisieren von Anrissen oder Kerben in Nietlöchern mittels rotierender Sonde"[1] - Überprüfung/ Zustandserfassung von Nietlöchern auf Rissfreiheit und Kerben (bei Entfernung alter Niete und dem geplanten Einsatz von neuen vorgespannten Schrauben) [1] - Detektion von Oberflächenfehlern in Bahnschienen [5,6] 			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) <ul style="list-style-type: none"> - Einsatz nur bei elektrisch leitfähigen Materialien - begrenzte Prüftiefe wegen abnehmender Wirbelströme in Tiefenrichtung [DIN EN ISO 15549] - Beeinflussung des Messergebnisses durch: Leitfähigkeit des Werkstoffes, Permeabilität des Werkstoffes; Größe und Geometrie des Prüfgutes und Geometrie zwischen dem Wirbelstromsensor und dem Prüfgut [DIN EN ISO 15549] - Beeinflussung durch: Oberflächenqualität [DIN EN ISO 15549] - Risstiefenbewertung in gewissen Grenzen mit Hilfe einer Kalibrierung an künstlichen Referenzfehlern möglich [3,4] - Bekanntsein von zu erwartenden Fehlern zur vergleichenden Bestimmung 			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) <ul style="list-style-type: none"> - Unterschung von Nietlöchern: Bestimmung des Elements eines Stahlplattenpaketes in einem zusammen gesetzten Querschnitt, in dem ein Riss aufgetreten ist, mit Hilfe einer rotierenden Sonde [1] <p>"Voraussetzung für eine hohe Aussagegenauigkeit wäre eine konfektionierte rotierende Wirbelstromsonde. D. h., die Sonde muss an den Durchmesser des Nietloches angepasst sein. Nur bei Verwendung einer angepassten Sonde wären alle Kerben oder Anrisse gleichzeitig auf dem Oszillografen zu sehen. Das bedeutet zunächst hohe Investitionskosten. Konfektionierte Wirbelstromsonden standen für den Versuch im Rahmen dieser ersten Machbarkeitsstudie nicht zur Verfügung." [1]</p>			
Bauseitige Voraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> - Entfernen von Schmutz; Zunder; nichtleitende Schichten, besonders, wenn deren Dicke schwankt; andere elektrisch leitfähige Oberflächenschichten; Schweißspritzer sowie Öl, Fett oder Wasser [DIN EN ISO 15549] 			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Wirbelstromprüfung wird "die Oberfläche des Prüfmaterials [...] einem magnetischen (Wechsel-)Feld ausgesetzt, wodurch im Prüfgegenstand eine elektrisch Spannung erzeugt wird. Angetrieben von dieser elektrischen Spannung können im Prüfmaterial elektrische Ströme fließen, die aufgrund ihrer ringförmigen Ausprägung Wirbelströme genannt werden. Diese Wirbelströme breiten sich im Prüfmaterial aus und erzeugen dabei ebenfalls Magnetfelder, die von außen wieder gemessen werden können. Aus den Signalen, die beim Messen dieser Magnetfelder gewonnen werden, können Rückschlüsse auf die Eigenschaften und den Zustand des Prüfgegenstandes gezogen werden." [2] Fehlerstellen und Inhomogenitäten im Prüfgegenstand können durch die Änderung der Ausbreitung der Wirbelströme und über die damit verbundene Änderung der Mess-Spannung detektiert werden. Diese Veränderungen bilden bei der Auswertung die Grundlage für die definierten Vergleichsfehler. Für die definierten Vergleichsfehler müssen vergleichende Messungen an Probekörpern mit definierten Fehlerstellen und Inhomogenitäten (Referenzkörper) durchgeführt werden. Daher ist die Wirbelstromprüfung ein Vergleichsfehlerverfahren . [7]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) <ul style="list-style-type: none"> + Anwendung im Gegensatz zur Magnetpulver- und Eindringprüfung auch mit Beschichtung möglich + Anwendung kontaktlos möglich [DIN EN ISO 15549] + kein Koppelmittel erforderlich [DIN EN ISO 15549] + schnelle Anwendung/ hohe Durchlaufgeschwindigkeiten [DIN EN ISO 15549] + sehr sensitiv - Rückschluss auf Fehler mittels Vergleichsmessungen, zu erwartende Fehler müssen bekannt sein 			

Messmethode			
Messaufbau		Messergebnisse	
<p>Messgeräte</p> <p>Prüfgerät nach DIN EN ISO 15549:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wirbelstromgerät - Sensoren/ Sonden - Verbindungskabel - Bezugskörper/ Referenzkörper mit definierten Fehlern ("zum Einrichten des Prüfsystems für Funktionsprüfungen, zum Nachweis der Wirksamkeit der Prüfung und für die Ermittlung von Kalibrierkurven") - Stromversorgung: Batterien oder lokale Wechselnetzspannung nach DIN EN ISO 15548-1 			
<p>Messgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zielgröße: Abweichungen vom Normalwert (Messung von absoluten Werten ist irrelevant) und Rückschluss auf Fehler mittels Vergleichsmessungen [2] - Messgröße: Änderung der Spannung U und der Phase ϕ bzw. der Stromstärke I und der Phase ϕ (bei konstanter Frequenz sowie Führung der Spule mit gleichförmiger Geschwindigkeit und konstantem Abstand zur Oberfläche über das Werkstück) [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, 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 Prüfbereich oder nicht prüfbarer Bereich; Abtastrichtung; Art und Größe des Sensors; Prüfgeschwindigkeit und Spurbreite des Sensors nach DIN EN ISO 15549 - Vorbereitung der Prüffläche <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifizierungsverfahren nach den drei Stufen der DIN EN ISO 15549 <p>4. Auswertung und Dokumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung und des Messergebnisses - Anzeigenbeurteilung innerhalb der vereinbarten Zulässigkeitsgrenzen - 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> <p>- Rohmann GmbH: Elotest-Reihe, z.B. M2 V3 oder M3 [https://www.rohmann.com/produkte/?category=handgeraete]</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>- Oberflächenprüfverfahren</p> <p><u>Mechanische Verfahren</u></p> <p>- Eindringprüfung PT (bei nicht magnetischen Werkstoffen)</p> <p><u>Magnetische Verfahren</u></p> <p>- Magnetpulverprüfung MT (bei ferromagnetischen Werkstoffen)</p> <p>- Wirbelstromprüfung ET (bei leitenden Werkstoffen)</p>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Helmerich, Rosemarie (Hrsg.) (2005): Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.</p> <p>[2] Fehlerprüfung mit Wirbelstrom. Band 8 (2006). Unter Mitarbeit von Karlheinz Schiebold und Thomas Knöll. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 8.</p> <p>[3] Casperson, Ralf; Heideklang, René; Myrach; Philipp, Onel, Yener; Pelkner, Matthias; Pohl, Rainer et al.: Vergleich konventioneller und neuer Oberflächenprüfverfahren für ferromagnetische Werkstoffe. In: DACH-Jahrestagung 2015, Bd. 152, S. 1-11. Online verfügbar unter https://opus4.kobv.de/opus4-bam/files/34426/mi2b4.pdf.</p> <p>[4] Pohl, Rainer; Thomas, Hans-Martin; Casperson, Ralf: Mögliche Fehlerquellen und deren Einflüsse bei der Risstiefenbestimmung mit Wirbelstrom. In: DACH-Jahrestagung 2009, S. 1-11. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp2009/Inhalt/di2b2.pdf.</p> <p>[5] Dey, Anika; Casperson, Ralf; Pohl, Rainer; Thomas, Hans-Martin: Die Klassifizierung von Oberflächenfehlern in Schienen mit der Wirbelstromprüfung. In: DACH-Jahrestagung 2009, S. 1-9. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp2009/Inhalt/di2b3.pdf.</p> <p>[6] Dey, Anika; Casperson, Ralf; Pohl, Rainer; Thomas, Hans-Martin; Heyder, René: Erfahrungen mit der Wirbelstromprüfung beim Einsatz an unterschiedlichen Schienenstahlsorten. In: DACH-Jahrestagung 2011, S. 1-10. Online verfügbar unter https://jt2011.dgzfp.de/Portals/jt2011/BB/di2a4.pdf.</p> <p>[7] Bauakademie Hessen-Thüringen E.V. (Hrsg.) (2019): Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der</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 12718, 2018-07: Zerstörungsfreie Prüfung – Wirbelstromprüfung – Terminologie.</p> <p>Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)</p> <p>- 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> <p>Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100)</p> <p>- DIN 54140-3, 1989-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Induktive Verfahren - Darstellung und allgemeine Eigenschaften von Spulensystemen. <i>[Teil 1 und 2 sind zurückgezogen]</i></p> <p>- DIN EN ISO 15548-1:2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 1: Kenngrößen von Prüfgeräten und deren Verifizierung</p> <p>- DIN EN ISO 15548-2:2014-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 2: Kenngrößen von Sensoren und deren Verifizierung</p> <p>- DIN EN ISO 15548-3:2009-01: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Teil 3: Kenngrößen des Systems und deren Verifizierung</p> <p>- DIN EN ISO 15549, 2018-07: Zerstörungsfreie Prüfung - Wirbelstromprüfung - Allgemeine Grundlagen.</p> <p>- DIN EN ISO 20339, 2017-08: Zerstörungsfreie Prüfung - Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung - Kenngrößen von Sensorarrays und deren Verifizierung.</p>

Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)

- DIN EN ISO 5817, 2014-07: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten.
- DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe.
- DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen.
- DIN EN ISO 17643, 2015-12: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Wirbelstromprüfung von Schweißverbindungen durch Vektorauswertung.

Beschichtungsstoffe (Lacke und Anstrichstoffe) (87.040)

- DIN EN ISO 2808, 2018-07: Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Schichtdicke.

Regelwerke DGZfP - Richtlinien und Merkblätter zur Oberflächenrissprüfung (EM-Reihe)

- DGZfP-EM5, 2002-11: Merkblatt über Schutzmaßnahmen beim Umgang mit elektromagnetischen Feldern in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.
- DGZfP-EM6, 2012-01: Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren - Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung.
*[zurückgezogen: EM0, 2005: Richtlinie über die Durchführung von Magnetpulverprüfungen
EM1, 2003: Richtlinie über die Sehfähigkeit des Prüfpersonals für die Oberflächenverfahren der ZfP
EM2, 1988: Richtlinie über Betrachtungsbedingungen bei Magnetpulver- und Eindringprüfung
EM3, 1994: Richtlinie zur Kontrolle von Prüfparametern bei der Magnetpulverprüfung*

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Elektromagnetisches Messprinzip	
Verfahren Infrarotthermographieprüfung engl.: Infrared Thermographic Testing TT		Prüfaufgabe - Oberflächen-Inhomogenitäten, - Korrosion - Konstruktionselemente: Materialstärke - Beschichtungsstoffe: Schichtdicke - Anschluss Nietverbindungen: Sitz der Niete - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahttrisse	
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur bildgebenden Erfassung von Inhomogenitäten im oberflächennahen Bereich eines Bauteils durch einen künstlich erzeugten, gezielt veränderlichen Wärmefluss und lokale Temperaturunterschiede im Bauteil. - Oberflächenverfahren			
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - Erkennung von Unregelmäßigkeiten (z. B. Hohlräume, Risse , Einschlüsse, Schichtablösungen) [DIN EN 17119] - Bestimmung der Dicke einer Schicht oder eines Bauteils [DIN EN 17119] - Prüfung von Schweißnähten - Prüfung von Nietverbindungen [10] - Detektion von Korrosion (unter Lackschichten) [4] - Typische Anwendungen unterschieden nach Anregungsquelle nach DIN EN 17119, Anhang A: - Blitzlicht: Nachweis von Schichtablösungen nahe der Oberfläche und Volumenfehlern - Laser: Nachweis von Rissen senkrecht zur Oberfläche sowie Schichtablösungen - Mechanische Anregung (z.B. Ultraschall): Nachweis von Rissen an und unterhalb der Oberfläche - Induktion: Nachweis von Oberflächenfehlern			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Risse, die senkrecht zur Prüfoberfläche verlaufen, lassen sich bei flächenhafter Anregung mit <i>klassischer</i> aktiver Thermographie nicht detektieren [1]; Laser Thermographie detektiert Risse senkrecht zur Oberfläche - Laser Thermographie (Flying-Spot-Thermografie): Nachweis von Oberflächenrissen in Stahl mit Breiten im Bereich von ca. 200 µm bis hinunter in den Sub-µm-Bereich und mit Tiefen bis nur etwa 10 µm [6] - Induktiv angeregte Thermografie nur an elektrisch leitenden Prüfobjekten anwendbar [DIN 54183]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)			
Bauseitige Voraussetzungen - einseitig zugängliche Fläche			
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 thermischen Anregungstechniken, die entsprechend der Anwendung und Anforderungen ausgewählt werden, 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." [3] Diese gezielten Erwärmungs- oder anschließenden Abkühlprozesse werden thermografisch analysiert. Nach aktuellem Praxis- und Forschungsstand werden folgende Verfahrensvarianten nach Art der zeitlichen Anregung unterschieden: - 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 (durch lange Aufnahmezeiten u.U. nicht praxisgerecht für das Bauwesen), DIN 54185 - Impuls-Thermografie (IT): Anregung durch einen thermischen Impuls mit einer großen Anzahl an unterschiedlichen Frequenzen und Auswertung im Zeitbereich über die Temperaturdifferenz, DIN 54184 - 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) + berührungslos [1] + keine Verbrauchsmaterialien [1], kein Einsatz von chemischen Hilfsstoffen im Vergleich zu MT und PT + keine Oberflächenpräparation [3] + Prüfung großer Flächen in einem Schritt + im Vergleich zur Durchstrahlungsprüfung muss nur eine Prüfseite zugänglich sein und die Prüfung erfolgt ohne ionisierende Strahlung			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p>Aktive Thermografie: Schema © A. Taffe, HTW Berlin [11]</p>		<p>Messergebnisse</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 - ggf. Stromanschluss und Kabeltrommel - Thermische Anregungsquelle nach DIN EN 17119: <ul style="list-style-type: none"> - Absorption optischer Strahlung (Sonneneinstrahlung, Infrarotstrahler, Halogenlampe, Blitzlampe, Laser) und/ oder Mikrowellen - Konvektion (Heizlüfter, Heißluftpistole, Bautrockner, Blower Door) - Wärmeleitung (Heizmatten, Kühlkissen) - elektromagnetische Induktion und/ oder elektrischer Strom - Umwandlung von mechanischen Wellen (z.B. Ultraschall) 			
<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 - IT: Auswertung über Zeitraum mit Temperatur-Zeit-Kurven (Transienten als quantitative Informationen) - PPT: Auswertung über Frequenzraum mit Amplituden- und Phasenbildern 			
<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"> - 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 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Thermographieprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme der Thermogramme 4. Auswertung und Dokumentation <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 5. Weiteres 			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
3/5	2/5	4/5	5/5

Weiterführende Informationen
Gerätehersteller, Software - InfraTec GmbH [https://www.infratec.de/thermografie/anwendungsgebiete/aktive-thermografie/] - edevis GmbH [https://www.edevis.com/content/de/active_thermography.php] - Flir Systems, Inc. [https://www.flir.de/instruments/science/ndt-materials-testing/]
Verwandte Verfahren/ Messvarianten
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Maierhofer, Christiane; Ziegler, Mathias: Neue Normen und Richtlinien für die Thermografie in der zerstörungsfreien Prüfung. In: Thermographie-Kolloquium 2017, S. 1-2. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp-irt-2017/papers/p2.pdf . [2] Casperson, Ralf; Heideklang, René; Myrach, Philipp; Onel, Yener; Pelkner, Matthias; Pohl, Rainer et al.: Vergleich konventioneller und neuer Oberflächenprüfverfahren für ferromagnetische Werkstoffe. In: DACH-Jahrestagung 2015, Bd. 152, S. 1-11. Online verfügbar unter https://opus4.kobv.de/opus4-bam/files/34426/mi2b4.pdf . [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. [4] Riegert, G.; Kunz, G.; Nothhelfer-Richter, R.; Busse, G.: Früherkennung von Korrosionsschäden unter Lackschichten mit lockin-thermografischen Methoden. Vortrag 8. In: Thermographie-Kolloquium 2003, DGZfP-Berichtsband 86-CD, S. 75-82. Online verfügbar unter https://www.dgzfp.de/Portals/24/PDFs/Bbonline/BB_86-CD/pdfs/V08Riegert.pdf . [5] Menner, Philipp; Hess, Axel; Grill, Stefan; Saal, Daniel; Mayr, Peter: Aktuelle Anwendungen der Laserthermografie. In: Thermographie-Kolloquium 2017, S. 1-12. Online verfügbar unter https://www.dgzfp.de/Portals/thermo2017/BB/8.pdf . [6] Ziegler, Mathias; Myrach, P., Neding, B.: Wärmebehandlung und zerstörungsfreie Prüfung: Oberflächenrisse mit der Laser-Thermografie finden. In: HTM Journal of Heat Treatment and Materials, 70 (2015), S. 190-195. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Mathias_Ziegler2/publication/282897301_Warmebehandlung_und_zerstorungsfreie_Prufung_Oberflächenrisse_mit_der_Laser-Thermografie_finden/links/57e3891708ae52ba52cbd2f4.pdf?origin=publication_list . [7] Plum, R.: Rissdetektion an massiven Stahlbauteilen mit Hilfe ultraschallangeregter Thermografie. In: DAST-Kolloquium 2010, Tagungsband, S. 14-18. Online verfügbar unter https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000020833/1532018 . [8] Plum, Robin; Medgenberg, Justus; Ummenhofer, Thomas: Ultraschallangeregte Thermografie an massiven Stahlbauteilen. Poster 1. In: Thermographie-Kolloquium 2007, S. 1-7. Online verfügbar unter https://www.ndt.net/article/dgzfp-irt-2007/Inhalt/p01.pdf . [9] Ummenhofer, Thomas; Plum, Robin (2011): Ultraschallangeregte Thermografie zur Risserkennung im Stahlbau - Ein Verfahren auf dem Prüfstand. In: Stahlbau 80 (4), S. 233-239. DOI: 10.1002/stab.201101411. [10] Spiessberger, Christian; Zweschper, Thomas; Dillenz, Alexander: Rissprüfung mittels aktiver Thermografieverfahren: Induktions- und Ultraschallanregung im Vergleich. Vortrag 7. In: Thermographie-Kolloquium 2011, S. 1-8. Online verfügbar unter http://www.dgzfp.de/Portals/thermo2011/BB/v07.pdf . [11] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hrsg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller, S. 255-280.

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.

Personalmanagement, berufliche Ausbildung (03.100.30)

- 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

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Elektromagnetisches Messprinzip	
Verfahren Durchstrahlungsprüfung engl.: Radiography/ Radiographic Testing		Prüfaufgabe - Volumen-Inhomogenitäten - Korrosion - Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahttrisse - Seile und Zugelemente	
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) - Nachweis innenliegender Fehler im Prüfgegenstand [3] - Detektion von Rissen in verdeckten Bauteilen [2] - Beobachtung von Risswachstum während Ermüdungsversuchen [2] - Prüfung von Schweißverbindungen (Poren und Schlackeneinschlüsse) [DIN EN ISO 17635, DIN EN ISO 17636-1/ -2] - Wanddickenmessung und Restwanddickenmessung [DIN EN ISO 20769-1/ -2] - Prüfung, wenn Ultraschallprüfung nur eingeschränkt durchgeführt werden kann			
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Qualität der Prüfung abhängig von: Fähigkeit und Erfahrung des Prüfpersonals (Humanfaktor) [2] - Einstrahlung aus mehreren Richtungen verbessert die Detektierbarkeit bzw. Abweichung des Einstrahlwinkels von nur 20 % zur Rissoberfläche verschlechtert die Detektierbarkeit der Risspitze [2] - Bildqualität der Aufnahme von folgenden Einflussparametern abhängig: - Kontrast: Strahlungsenergie, Schwärzung(Filmtechnik) - Unschärfe: Aufnahmeanordnung, - Bildkörnigkeit (Filmtechnik): Filmtyp/ Signal-Rausch-Verhältnis (Digitaltechnik) - Anwendungsbereich in Abhängigkeit der Energie bzw. des Isotops: bis zu 150 mm Dicke [1, DIN EN ISO 20769-1] - Verwendung digitaler Speicherfolien verkürzt die Belichtungszeit [2]			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)			
Bauseitige Voraussetzungen - Beachtung und Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen (StrlSchV Strahlenschutzverordnung) - Gefahrgutverordnung für Transport der Radionuklide - Absperrung des Prüfbereichs - beidseitige Zugänglichkeit zum Bauteil (für Strahlenquelle und Film)			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung Bei der Durchstrahlungsprüfung wird auf der einen Seite des zu untersuchenden Bauteils eine Strahlenquelle, Röntgenröhre oder radioaktive Strahlenquelle im Gammabereich, 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. Der Stahl wird auf Grund der höheren Dichte und größeren Absorption in helleren Grautönen; Hohlstellen (Poren, Risse, Lunker) hingegen werden auf Grund der geringeren Dichte dunkelgrau dargestellt. Auf der gegenüberliegenden Bauteilseite wird diese abgeschwächte Primärstrahlung mittels Röntgenfilmen, Speicherfolien, Fluoroskopen, Bildverstärkern oder Flachdetektoren detektiert und aufgenommen. [1, DBV-Merkblatt]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + keine Vorbereitung der Oberflächen [2] + dauerhafte Dokumentation auf Filmen [2] + Durchstrahlungsprüfung für die Prüfung der inneren Oberflächen, die für Magnetpulver- und Eindringprüfungen nicht zugänglich sind [2] - Absperrung des Prüfbereichs entsprechend der Strahlungsintensität der Strahlenquelle [2] - Durchführung der Prüfung ausschließlich von zugelassenen Stellen [2] - Verkehrseinschränkung während der Prüfung durch Strahlenschutz [2] - Transport von Gefahrgut [2] - hohe Kosten für Beschaffung der Geräte und Strahlenquelle sowie Strahlenschutz [2]			

Messmethode			
<p>Messaufbau</p> <p style="text-align: right;">Radiographie: Prinzipskizze © A. Taffe, HTW Berlin [6]</p>			
<p>Messgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strahlenquelle: <ul style="list-style-type: none"> - Röntgenröhre (mit Fernsteuerung) - Radionuklide (Iridium, Kobalt) - Steuereinheit zum Einstellen des Röhrenstroms, der Röhrenspannung und der Belichtungszeit - Aufnahmetechnik: Filme, digitalisierende Speicherfolien oder Detektoren - ggf. Software zur Bildbearbeitung am PC - Stromanschluss - Bestimmung der Durchstrahlungsdauer in Abhängigkeit der geometrischen Abmessungen, des Alters und des Abstands der Strahlenquelle zum Träger [2] 			
<p>Messgröße und Zielgröße</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, Rissbreite usw. 			
<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 [3]</p> <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 <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Durchstrahlungsprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analoge Filmtechnik: Filmverarbeitung (Entwicklung, Zwischenwässerung, Fixierung, Schlusswässerung, Netzmittelbad, Trocknung) - Anbringen des Bildgütestests <p>4. Auswertung und Dokumentation [3]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung der Durchführung - Kontrolle des erreichten Kontrasts mithilfe eines Bildgüteprüfkörpers - ggf. Bildbearbeitung der eingescannten Durchstrahlungsfilm mit Hilfe von speziellen Bildverarbeitungssystemen verbessert die Aussagekraft - Bewertung der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll <p>5 Weiteres</p>			
Verfahrensaufwand (von 1: geringer Aufwand bis 5: hoher Aufwand)			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
5/5	5/5	5/5	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>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Durchstrahlungsprüfung (RT) (2018). In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Hrsg.): BC 3 M1 Grundkurs Stufe 3. Modul 1. Grundlagenkenntnisse. Unterlagen für den Unterricht.</p> <p>[2] Helmerich, Rosemarie (Hrsg.) (2005): Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.</p> <p>[3] Fischer, Karl-Heinz; Schmeink, Helmut: Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau. In: Stahlbau Kalender 2006, S. 549-596.</p> <p>[4] Schiebold, Karlheinz (2015): Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung - Durchstrahlungsprüfung. 1. Auflage mit 252 Bildern und 66 Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.</p> <p>[5] Die Röntgen-(RT/RS)-Prüfung. Band 7 (2001). Unter Mitarbeit von Matthias Purschke. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 7.</p> <p>[6] Taffe, Alexander (2015): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen. In: Martin Mertens (Hg.): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf</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.

Schweißverbindungen (ICS 25.160.40)

- DIN EN ISO 17635, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe.
- DIN EN ISO 17636-1, Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken unter Anwendung von Filmen
- DIN EN ISO 17636-2, Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren
- DIN EN ISO 17637, 2017-04: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen.

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

Zerstörungsfreie Prüfung von Metallen (77.040.20)

- DIN EN ISO 5579, 2014-04: Zerstörungsfreie Prüfung – Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Film und Röntgen- oder Gammastrahlen – Grundlagen.

Regelwerke DGZfP - Richtlinien der D-Reihe

- DGZfP - D 03, 2015: Schweißnahtvermessung bei Zerstörungsfreier Prüfung und Filmkennzeichnung bei Durchstrahlungsprüfungen.

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten


- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.


Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage	Chemisches Messprinzip
Verfahren Optische Emissionsspektroskopie/ Emissionsspektrometrie OES engl.: Optical Emission Spectroscopy/ Spectrometry	Prüfaufgabe - Elementzusammensetzung: Elementgehalt
Kurzbeschreibung Zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung der Elemente durch Anregung einer Probe über eine externe Energiezufuhr, z. B. über eine Flamme, einen elektrischen Funken, einen Lichtbogen, einen Laser oder ein induktiv gekoppeltes Plasma (ICP-OES) , wodurch die Probe selbst eine charakteristische elektromagnetische Strahlung emittiert, deren Spektrum in einem Spektrometer untersucht wird. (Verfahren der Atom-Emissions-Spektroskopie AES)	
Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben) - qualitative und quantitative Bestimmung der Legierung von metallischen Werkstoffen - Anwendung zur "Mehrelementbestimmung" [DIN10351] - Analyse von unlegierten und niedrig legierten Stählen mittels optischer ICP-Emissionsspektrometrie – Bestimmung von Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Co, Al (gesamt) und Sn nach DIN EN 10351 - Analyse von unlegierten und niedrig legierten Stählen mittels optischer ICP-Emissionsspektrometrie – Bestimmung von Si, Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo und Sn nach DIN EN 10355	
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - anwendbar auf die in der Norm aufgeführten Elemente und angegebene Bereiche eines bestimmten Masseanteils [DIN EN 10351, DIN EN 10355] - Analyse unlegierter und niedrig legierter Stähle, die einen Eisengehalt von mindestens 95 % haben [DIN EN 10351, DIN EN 10355]	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - Anwendung auch möglich, wenn weitere Elemente enthalten sind. Diese Elemente und ihre Massenanteile sollten jedoch unter Berücksichtigung möglicher Störungen, der Empfindlichkeit, der Auflösung und der Linearitätskriterien für jedes ICP-Emissionsspektrometer und für jede Wellenlänge sorgfältig überprüft werden [DIN EN 10351] - Verwendung von flüssigen Proben (Umwandlung in ein Aerosol und Injizierung in das Plasma) oder Verwendung von festen Proben (direkte Analyse, wenn ein Verdampfungsmittel zur Verfügung steht, z.B. Laserablation (LA-ICP-OES) oder elektrothermische Verdampfung (ETV)) [https://www.spectro.de/icp-oes-prinzip]	
Bauseitige Voraussetzungen/ Vorbereitungen - Entfernen von Beschichtungen und Erzeugen einer metallisch blanken Oberfläche der Probeentnahmestelle - Probeentnahme aus dem Bauteil (Bohrung: ca. 1 mm Durchmesser, Probemenge: wenige Milligramm)	
Verfahrensbeschreibung	
Langbeschreibung Bei der optischen Emissions-Spektrometrie mit Plasmaanregung wird Plasma als Anregungsquelle zur Emission von charakteristischer Strahlungsenergie einer Probe verwendet. Im sogenannten Plasmabrenner, bestehend aus drei konzentrischen Quarzrohren, wird die Probe vom inneren Rohr durch eine Zerstäubereinheit als Aerosol, Dampf oder feines Pulver mit Hilfe eines Argonstroms über das mittlere Rohr in das heiße Argon-Plasma, das sich im äußereren Rohr befindet, eingebracht. Das Argon-Plasma ist ein ionisiertes Gas, das neben Atomen auch Elektronen und Ionen enthält. In dem Plasma herrschen Temperaturen von 6000 bis 8000 °C, wodurch die Probe getrocknet wird und verdampft. Dabei werden die Atome in einen energetisch angeregten Zustand überführt. Wenn das Atom wieder in seinen Grundzustand zurückgeht, gibt es die freiwerdende Energie in Form von Licht (polychromatische Strahlung) ab. Durch ein Gitter wird die polychromatische Strahlung spektral zerlegt und über die Wellenlängen die enthaltenen Elemente identifiziert. Die Intensität des emittierten Lichts dient der Bestimmung des Elementgehalts. Dazu wird das Gerät mit synthetischen Lösungen bekannten Gehalts kalibriert. [1,2]	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + schnelle Ermittlung der enthaltenen Elemente - Labormethode	

Messmethode			
<p>Messaufbau Laborgerät ICP-OES T. Schwarze, HTW Berlin/ KIWA Berlin</p>			
<p>Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel)</p> <ul style="list-style-type: none"> -Stromanschluss für Laborgeräte - präparierte Probe <p>Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung ICP-OES im Simultanspektrometer [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plasmabrenner (Hochfrequenz-Generator) mit Zerstäubereinheit als Anregungsquelle mit induktiv gekoppeltem Hochfrequenzplasma ICP - holographisches Gitter und Polychromator für die spektrale Zerlegung und gleichzeitige Fokussierung der Strahlung - Photomultiplier als Detektionseinheit 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufspaltung der Strahlung in Wellenlängen - Darstellung des Gesamtspektrums mit Spektrallinien der verschiedenen Elemente in Diagramm: Wellenlänge in [nm] auf x-Achse; Intensität in [w.E.] auf y-Achse [1] 			
<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) 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Prüfbereiche bzw. Probeentnahmestelle 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Chemische Analyse von Eisenwerkstoffen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma [DIN EN 10351, DIN EN 10355] <ul style="list-style-type: none"> - Probenpräparation: Lösen der Probe - Durchführen der Analyse im Laborgerät 4. Dokumentation und Auswertung <ul style="list-style-type: none"> - Auswerten der Spektren und Bestimmen der Elemente - Dokumentation der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres <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
5/5	4/5	4/5	5/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectro Analytical Instruments GmbH [https://www.spectro.de/produkte/icp-oes-aes-spektrometer] - Thermo Fischer Scientific: iCAP-Series [https://www.thermofisher.com/de/de/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/trace-elemental-analysis/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometry-icp-oes.html]
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Übersicht der atomspektrometrischen Verfahren [1]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Atomabsorptionsspektrometrie AAS 2. Atomemissionsspektrometrie AES <i>unterschieden nach Art der Anregung in:</i> <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 I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Schwedt, Georg (2007): Taschenatlas der Analytik. 3., überarb. und erw. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verl.</p> <p>[2] Skoog D.A., Leary J.J. (1996): Emissionsspektroskopie auf Basis von Plasma-, Bogen- und Funkenatomisierung. In: Instrumentelle Analytik. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg</p> <p>[3] Optische Emissionsspektrometrie. Band 11. In: Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung - ZfP - kompakt und verständlich, Bd. 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 1330-02, 1998-12: Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden. <p>Chemische Analyse von Metallen (77.040.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 10351, 2011-05: Chemische Analyse von Eisenwerkstoffen - Analyse von unlegierten und niedrig legierten Stählen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma - Bestimmung von Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Co, Al (gesamt) und Sn. - DIN EN 10355, 2013-11: Chemische Analyse von Eisenwerkstoffen - Analyse von unlegierten und niedrig legierten Stählen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma - Bestimmung von Si, Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo und Sn nach Lösen in Salpeter- und Schwefelsäure. - DIN EN ISO 14284, 2003-02: Eisen und Stahl - Entnahme und Vorbereitung von Proben für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung
<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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. <p>Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> - RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38. <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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.
<p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar</p>

Physikalische Grundlage	Chemisches Messprinzip
Verfahren Röntgenfluoreszenzanalyse RFA/ Röntgenfluoreszenzspektroskopie RFS engl.: X-Ray Fluorescence Spectroscopy XRF	Prüfaufgabe - Elementzusammensetzung: Elementgehalt
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. (Röntgenemissionsspektroskopie)	
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]	
Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich) - Nachweis von Elementen leichter als Bor (Ordnungszahl Z=5) nicht möglich [DIN 51418-2] ; Nachweis mit zuverlässigen Analysenwerten ab Fluor (Z = 9) [DIN 51418-1], gute Werte ab Natrium (Z=11) , möglich bis Uran (Z=92)	
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)	
Bauseitige Voraussetzungen/ Vorbereitungen - entweder optisch zugängliche Untersuchungsfläche mit portablen 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	
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 ED-RFA: "Spektrometer, bei dem die Zerlegung der Probenstrahlung nach ihrer Energie durch den Detektor auf elektronischem Wege erfolgt" [DIN 51418-1] Die energiedispersive Messung kann mit einem Handspektrometer durchgeführt werden, was eine in situ-Analyse ermöglicht. [DIN 51418-2] - <u>Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse WD-RFA: "Röntgenspektrometer, bei dem die Dispersion der Probenstrahlung durch Beugung an einem Kristall erfolgt" [DIN 51418-1]</u>	
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + mit portablen Gerät muss nur optische Zugänglichkeit zur untersuchenden Oberfläche gewährleistet sein + durch Anwendung vor Ort keine Probenveränderung + Ergebnisse unmittelbar verfügbar (weniger als 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 - Labor: Präparieren der Probe für das Analysegerät, wie Herstellen der notwendigen Geometrie und einer ebenen Messfläche	

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: ED-RFA- Handspektrometer (Handheld-Spektrometer)			
Messgröße und Zielgröße - EDRFA: Energie in [keV] und Intensität in [w.E.], Messung sämtlicher Energien in energieproportionalen Spannungsimpulsen - WDRFA: <i>Wellenlänge in [nm] und Intensität in [w.E.], Aufspaltung der Strahlung in Wellenlängen</i> - Darstellung des Gesamtspektrums mit Spektrallinien der verschiedenen Elemente in Diagramm: Energie bzw. <i>Wellenlänge</i> 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	Zeit	Kosten	Fachwissen
4/5	3/5	5/5	5/5

Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Helmut Fischer GmbH: XAN 500 [Link: http://www.helmut-fischer.de/fileadmin/documents/broc/DE/BROC_X-RAY_Produktlinie_951-008_de.pdf] - Spectro Analytical Instruments GmbH: Handheld-Produktfamilie SPECTRO xSORT [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 Röntgenanalyse = Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung - Spezialanwendungen: Mikro-RFA, Totalreflexions-RFA [DIN 51418] <p><u>Übersicht der atomspektrometrischen Verfahren [1]</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Atomabsorptionsspektrometrie AAS 2. Atomemissionsspektrometrie AES <i>unterschieden nach Art der Anregung in:</i> <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 I (Fachliteratur)</p> <p>[1] Schwedt, Georg (2007): Taschenatlas der Analytik. 3., überarb. und erw. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verl.</p> <p>[2] 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>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>Chemische Analyse von Metallen (77.040.30)</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIN EN 10315, 2006-10: Standardverfahren zur Analyse von hochlegiertem Stahl mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) unter Anwendung eines Vergleichs-Korrekturverfahrens. <p>Physikochemische Analysenmethoden/ Instrumentelle Analytik (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 Kleinströmröhre (IEC 62495:2011) Ausgabedatum: 2011-12-00 <p>Oxide (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

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 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten

- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.


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 (Hrsg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1-13.

Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Teil 2 – Prüfverfahren Beton

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 - Betonabspregungen 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			
- ggf. Hilfsmittel wie Spiegel, Linsen, Endoskope oder Foto- und Videotechnik			
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"> - 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 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 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 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	
Verfahren Endoskopie: Fiberskope (flexible Endoskope) engl.: Endoscopy: Fiberscope 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 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) - 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 - grobe Abschätzungen von Größen und Abmessungen (bei einfachen Geräten) - geringere Auflösung bei kleineren Durchmessern durch geringere Zahl an Bildpunkten			
Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben) - 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: - 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			
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 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]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + 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 genickt 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

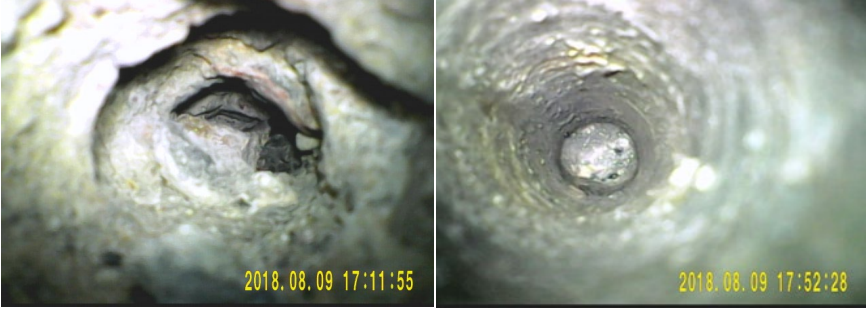
Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olympus - Karl Storz NDTec
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtprüfung VT - Endoskopische Verfahren: <ul style="list-style-type: none"> - Boreskope (starre 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 - 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]: - 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 ± 1 mm) - Abzugsvorrichtung mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit von $0,5 \pm 0,2$ kN/s			
Messgröße und Zielgröße - Messung der Ausziehkraft in [N] - Berechnung der Bruchfläche A in [mm ²] - Berechnung der Ausziehfestigkeit f_p in [N/ mm ²] - Umrechnung der Ausziehfestigkeit in Druckfestigkeit mittels Korrelationskurven [DIN EN 12504-3:2005-07]			
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 - 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 - 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 - 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 3/5	Zeit 4/5	Kosten 3/5	Fachwissen 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 J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>Anzeige der Abreißfestigkeit J. Wiese, HTW Berlin</p> 	
<p>Messgeräte und Zubehör</p> <p>Prüfzubehör 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 Prüfstempels 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, Inspektionsflächen, Mindestanzahl an Prüfung in Abhängigkeit der Größe der Inspektionsfläche - 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 Prüfstempels: 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 schädigen. 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

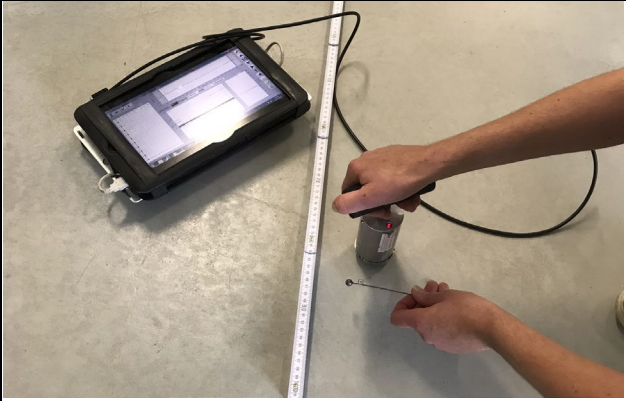
Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Proceq: Schmidt Rückprallhammer [Vgl. Proceq: SilverSchmidt oder Original Schmidt; https://www.proceq.com/de/vergleichen/schmidt-ruckprallhammer/]</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe</p> <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 Bohrkernentnahmen entnommen werden und daran die Betondruckfestigkeit bestimmt wird.</p>

Physikalische Grundlage Mechanisch angeregtes Messprinzip	
Verfahren Klopfprobe/ 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 - Klopfprobe 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 Klopfprobe 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 Impakt-Echo keine absoluten Werte	

Messmethode			
Messaufbau Klopfprobe 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.): Klopfprobe <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>Standicherheit 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, Spannkäle) 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 Bauwerkelemente. 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: Einkerben des Pfahls; weitere Alternative: Aufbringen des Sensors seilich 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: Pfahllänge/ 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


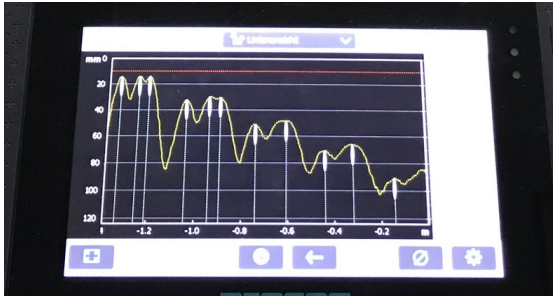
Weiterführende Informationen
<p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- Pile Dynamics Inc.: Hersteller für Messtechnik, Hard- und Software für Pfahlprüfungen; in Deutschland repräsentiert von GSP Gesellschaft für Schwingungsuntersuchungen und dynamische Prüfmethode mbH</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</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.dggg.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 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 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


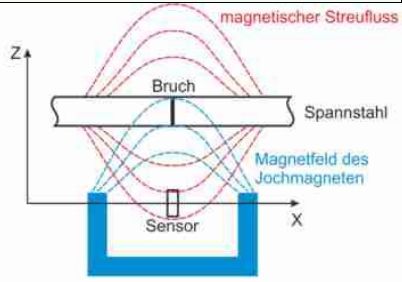
- Hinweis zum Nachweis der Mindestbetondeckung: DBV-Merkblatt: **Betondeckung und Bewehrung. Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2 (2015)**. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) (DBV Deutscher Beton- und 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 Czielski (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. - <i>Unterscheidung korrodierter und nicht korrodierter oberflächennaher Bewehrung (in USA publiziert)</i>			
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			
Messaufbau Radar an Betontestkörper J. Wiese, HTW Berlin		Messergebnisse Radar an Betontestkörper: Auswertung J. Wiese, HTW Berlin	
			
Messgeräte Radarmessgerät mit Antennenfrequenz: - $f_{\text{Radar}} > 1$ 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			
Messgröße und Zielgröße - 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)			
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, 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. 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] 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>	
<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 Bewehrungsart
<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 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>[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.; Kapphahn, 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] Kapphahn, G. (2005): Vergleich verschiedener ZfP - Verfahren zur Bewehrungsart. 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; Orlowsky, 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 J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>Potentialfeldmessung an Betontestkörper: Auswertung 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> <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 [1] <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 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) [1] <ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung der Messeinrichtung und der Bezugselektrode: Kalibrierung der Bezugselektroden 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 4. Dokumentation [1] <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 5. Weiteres <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis: Flüssigkeit aus Bezugselektrode 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 2/5	Zeit 2/5	Kosten 2/5	Fachwissen 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

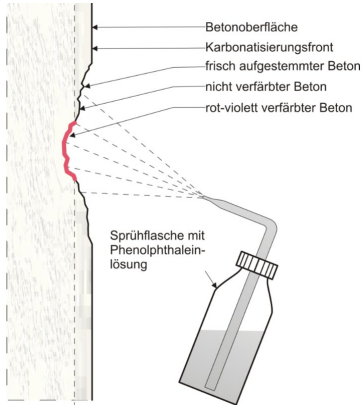
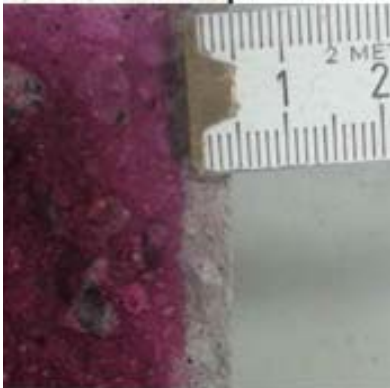
- ZTV-ING - Teil 3 - Massivbau. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.

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.

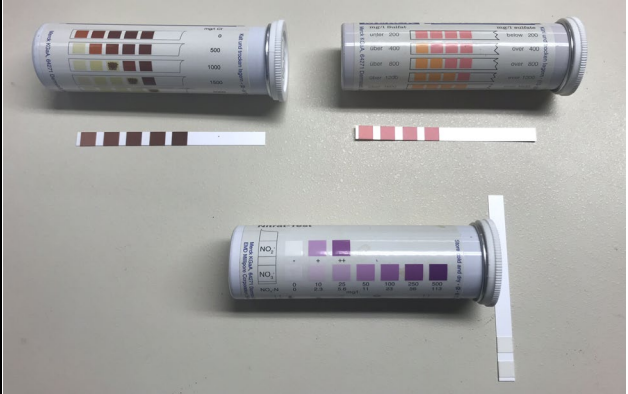
Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar

Physikalische Grundlage		Chemisches Messprinzip	
Verfahren <p style="text-align: center;">Indikatorverfahren: Phenolphthalein-Prüfung</p> engl.: Indicator Method: Phenolphthalein Test		Prüfaufgabe - Karbonatisierung: Karbonatisierungstiefe	
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
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[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.</p> <p>[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</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 14630: 2006-10: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung
<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/ 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			
<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, Bohrmehlentnahmeggerät für Probeentnahme 			
<p>Messgröße und Zielgröße</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salzgehalt als Masseanteil der Probe in Prozent [M- %] - ggf. Umrechnung auf M-% bezogen auf Zement - Chlorid-Profil 			
<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 nach [4] 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>- 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			
Messaufbau LIBS-Laborgerät (links), Portables LIBS im Einsatz (rechts) © T. Günther, BAM			
Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel) - 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			
Messgröße und Zielgröße - 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			
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 - 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.) - 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 - 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
<p>Gerätehersteller, Software</p> <p>- SECOPTA analytics GmbH [https://www.secopta.de/]</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p><i>LASER-induzierte Plasmaspektroskopie (= Anregung mit Laserstrahl, Emission von charakteristischer Fluoreszenzstrahlung des abgelösten Plasmas) funktioniert nach ähnlichem physikalischen Prinzip wie:</i></p> <p>- Röntgen- Fluoreszenzanalyse = Anregung mit Röntgenstrahlen, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung</p> <p>- Röntgenanalyse = Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung</p>
<p>Literaturverzeichnis I (Fachliteratur)</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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).</p> <p>[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).</p> <p>[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).</p> <p>[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/</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>

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 portablen 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 portablen 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>Keramikrohstoffe (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 Elementanalyse werden Elementverteilungsbilder aufgenommen. [1] Eine Alternative bezüglich der Auswertung 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 EDAX Inc. [https://www.edax.com/products/eds]</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten Röntgenanalyse (= Anregung mit Elektronenstrahl, Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung) funktioniert nach ähnlichem physikalischen Prinzip wie: - 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>
<p>Literaturverzeichnis (Fachliteratur, Merkblätter, Vorschriften, Normen, Regelwerke, Referenzen) [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. [2] Göske, Jürgen; Pöllmann, Herbert; Wenda, Richard (2007): Ettringit- und Thaumasitreiben in Betonwerkstoffen: Analytische Betrachtung und Ursachenermittlung mittels Röntgendiffraktometrie und Rasterelektronenmikroskopie. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (5), S. 321–329. DOI: 10.1002/best.200708200. [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. [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. [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. [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) 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 und Betonfertigteile (ICS 91.100.30) - ASTM C1723 - 16: Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscopy</p>
<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.</p>
<p>Sonstiges/ Anmerkungen/ Bemerkungen/ Kommentar 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>

Teil 3 - Prüfverfahren Mauerwerk

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 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 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

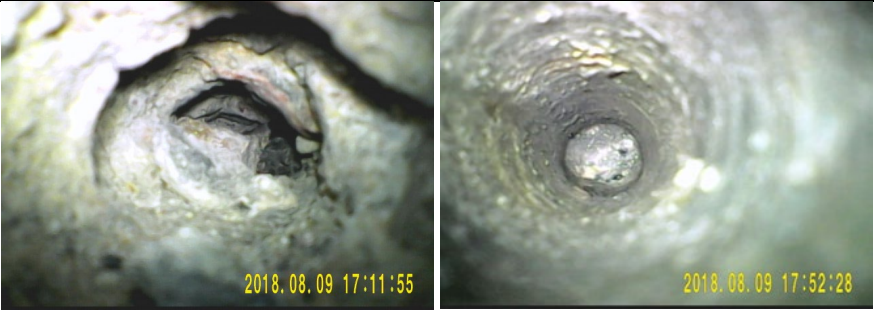
Weiterführende Informationen
Gerätehersteller, Software -
Verwandte Verfahren/ Messvarianten Endoskopische Verfahren: - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope)
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) [1] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie 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 <p style="text-align: center;">Endoskopie: Boreskope (starre Endoskope)</p> 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 Boreskope 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 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"> - 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

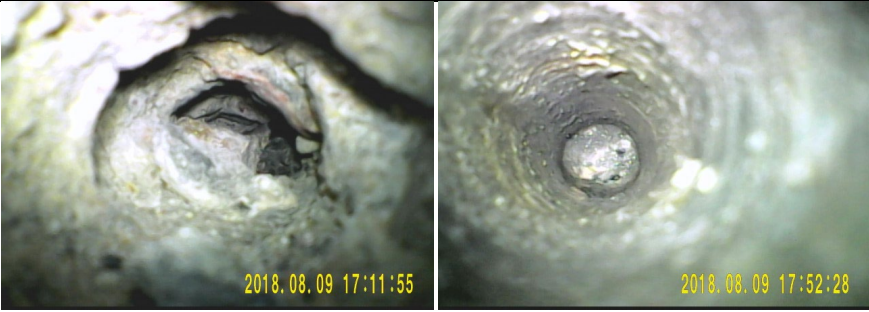
- RÜV. Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes, S. 1–13.

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 Videoskopern 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 Endoskopern + hohe Bruchsicherheit im Vergleich zu Fiberskopern 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 Klopfprobe/ 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 - Klopfprobe 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 Klopfprobe 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 Messsprinzip	
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>Geoelektrikapparat 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
Gerätehersteller, Software
Verwandte Verfahren/ Messvarianten Radar in Transmissionsanordnung mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des zu prüfenden Objekts wird für Spezialmessungen wie die Bestimmung materialbezogener Wellengeschwindigkeiten genutzt.
Literaturverzeichnis I (Fachliteratur) <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>
Literaturverzeichnis II (Regelwerke: Normen, Richtlinien, Merkblätter) <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.

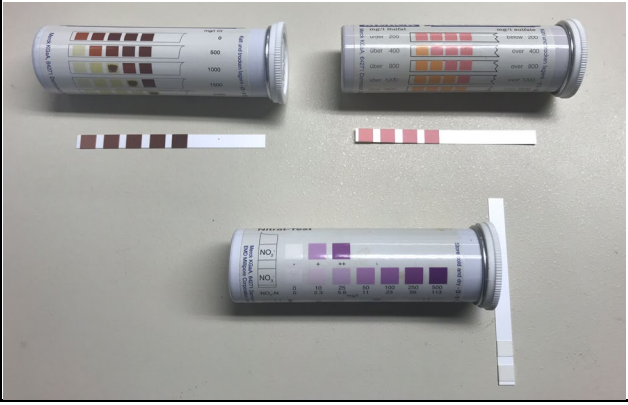
Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

- 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>