



Berichte
des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 6 (2021)

ZfPBau-Verfahren für Ingenieurbauwerke aus Stahl und Umsetzung einer Logik für die Nutzung und den Abruf der Daten

ZfPBau Verfahrenskatalog Stahl (Los 1)

Berichte des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung, Nr. 6 (2021)
Projektnummer 2018-I-16-1210

ZfPBau-Verfahren für Ingenieurbauwerke aus Stahl und Umsetzung einer Logik für die Nutzung und den Abruf der Daten

ZfP-Bau Verfahrenskatalog Stahl (Los 1)

von

Alexander Taffe, Markus Krämer, Mathias Schiemann und Juliane Wiese

Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin

Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Impressum

HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10
01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Hochschule für Technik und Wirtschaft
10313 Berlin

ABSCHLUSS DER STUDIE

Dezember 2019

REDAKTION

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
Markus Reinhardt
Martin Friese

PUBLIKATION ALS PDF

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

ISSN 2629-7973

[doi: 10.48755/dzsf.210011.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210011.01)

Dresden, Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

Kurzbeschreibung	7
Vorwort	8
1 Einleitung	10
1.1 Struktur und Durchführung des Forschungsvorhabens	10
1.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis	11
2 Stand der Wissenschaft und Technik	12
2.1 Existierende ZfP-Kataloge.....	12
2.2 Vorstellung der Struktur vorhandener ZfPBau-Verfahrenskataloge	12
3 AP 1: Erfassung der relevanten Verfahren	14
3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche.....	14
3.2 Festlegung der Verfahren und der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs.....	17
3.3 Festlegung der Struktur des Formblatts	18
4 AP 2: Identifikation der relevanten Prüfaufgaben	20
4.1 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben	21
5 AP 3: Verknüpfung der Prüfaufgaben mit den ZfP-Verfahren	22
6 AP 4: Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben	23
7 AP 5: Konzeption eines geeigneten Datenmodells für einen webbasierten Datenabruf der ZfP-Verfahren	25
7.1 Entity Relationship Model ERM	25
7.2 Zuordnung ERM und Datenblatt	26
7.3 Beschreibung der Entitätstypen, Attribute und Beziehungstypen	28
7.3.1 Zusätzliche Entitätstypen	30
7.4 Programmablauf	33
7.4.1 Einstiegspunkt Verfahren	34
7.4.2 Einstiegspunkt Prüfaufgabe	34
7.4.3 Einstiegspunkt Messgeräte.....	34
8 AP 6: Prototypische Umsetzung des Datenbankmodells	35
8.1 Eingesetzte Technologien	35
8.1.1 PHP (Hypertext Preprocessor).....	35
8.2 Transformation ERM zum Relationsmodell.....	36
8.3 Implementierung der Datenbank	38

8.4	Prototypische Anwendung.....	38
9	Hinweise zur zukünftigen Nutzung	49
10	Abbildungsverzeichnis	50
11	Tabellenverzeichnis.....	51
12	Quellenverzeichnis	52
13	Anhänge	53
13.1	Sichtprüfung	55
13.2	Endoskopie: Boreskope.....	59
13.3	Endoskopie: Fiberskope	63
13.4	Endoskopie: Videoskope.....	67
13.5	Abreißversuch	71
13.6	Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung.....	75
13.7	Keilschnitt.....	79
13.8	Eindringprüfung PT.....	83
13.9	Mobile Härteprüfung HT Rückprallverfahren nach Leeb	87
13.10	Mobile Härteprüfung HT nach dem UCI-Verfahren.....	91
13.11	Mobile Härteprüfung HT nach dem TIV-Verfahren	95
13.12	Mobile Härteprüfung HT nach dem Rockwell-Prinzip.....	99
13.13	Klopfprobe.....	103
13.14	Schallemissionsprüfung AT.....	106
13.15	Ultraschallprüfung UT.....	110
13.16	Magnetfeldänderung (Schichtdickenbestimmung).....	115
13.17	Magnetpulverprüfung MT	119
13.18	Wirbelstromprüfung ET	123
13.19	Infrarotthermographieprüfung TT	127
13.20	Durchstrahlungsprüfung RT	131
13.21	Optische Emissionsspektroskopie OES.....	136
13.22	Röntgenfluoreszenzanalyse RFA	139

Kurzbeschreibung

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

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

Auf der Basis einer eingängigen Literaturrecherche werden die Möglichkeiten und Grenzen der ZfPBau-Verfahren identifiziert und die geeigneten Verfahren herausgestellt. Mit der Formulierung der praxisrelevanten und baustoffspezifischen Prüfaufgaben wird eine Bewertung hinsichtlich der Eignung der Verfahren erarbeitet und in Matrixform dokumentiert. Zusätzlich wird eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) für den webbasierten Datenabruf der in den Bereichen Stahl, Stahlbeton und Mauerwerk erzeugten Daten erstellt.

Hinweise zur Nutzung (siehe auch Kapitel 9)

Bei möglichen Prüfaufgaben an Stahl ist zu beachten, dass der ZfP-Katalog kein Ersatz für die zfp- und bauprodukt-spezifischen Normen sowie für die Ausbildung inkl. der Lehrgangsunterlagen in der ZfP metallischer Komponenten/Werkstoffe darstellt; deren Umfang ist weitaus größer als hier angegeben. Die erarbeiteten Verfahrensdatenblätter konzentrieren sich auf mögliche Prüfaufgaben an Stahlbauteilen im Bauwesen. Deshalb wurde beispielsweise auf bestimmte Prüftechniken, die primär in den Bereichen Eisenbahnwesen, Luftfahrt und Automotive angewendet werden, nicht eingegangen. Auch ist zu beachten, dass die praktisch relevanten ZfP-Verfahren im Bereich Stahl Qualifizierung und Zertifizierung von Prüfpersonal nach ISO 9712 erfordern. Daher dienen die für den Werkstoff Stahl absichtlich kurz gehaltenen Verfahrensdatenblätter primär den Akteuren aus dem Bauwesen, um geeignete Verfahren zu identifizieren und die zerstörungsfreien Prüfungen von entsprechend zertifiziertem Personal durchführen zu lassen.

Hinweise zum Urheberrecht

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

Vorwort

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

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

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

1 Einleitung

1.1 Struktur und Durchführung des Forschungsvorhabens

Die HTW hat sich um die Durchführung des Loses 1 (Stahl) beworben und mit einem Schreiben vom 21.12.2017 (Az.: 1143-11vb/032-0099#013) die Zuschlagserteilung erhalten.

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

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

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

Die zu vergebenden Lose sind:

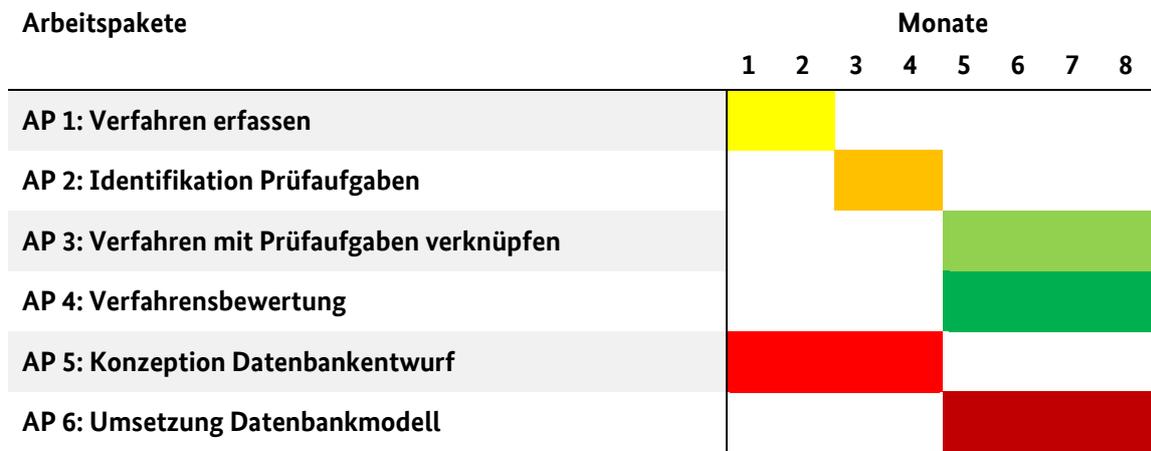
1. Los: **Stahl**: Verfahren zur Untersuchung der Konstruktionsteile aus Stahl, inkl. Schweißnähten, Schraubverbindung, Anstrichen und Beschichtungen
2. Los: **Beton**: Verfahren zur Untersuchung der Konstruktionsteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
3. Los: **Mauerwerk**: Verfahren zur Untersuchung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

In den Bieterinformationen sind die Arbeitspakete für das Los 1 Stahl wie folgt vorgegeben worden:

- **AP 1**: Erfassung & Darstellung der relevanten Verfahren
- **AP 2**: Identifikation der relevanten Prüfaufgaben
- **AP 3**: Verknüpfung der Prüfaufgaben mit den ZfP-Verfahren
- **AP 4**: Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben
- **AP 5**: Konzeption einer GUI für einen webbasierten Datenabruf der ZFP-Verfahren
- **AP 6**: Umsetzung der GUI

Die Einteilung der Arbeitspakete wird nach dem Zeitplan für Los 1 (Stahl) in Tabelle 1 umgesetzt. Der 01.03.2018 markiert den Beginn des Vorhabens in der nachfolgend dargestellten Tabelle. Das Projektende wurde vorerst für den 31.10.2019 festgelegt und kostenneutral zum 31.12.2019 verlängert.

TABELLE 1: VORGEHENSWEISE IN LOS 1 (STAHL)



Als Gesamtarbeitszeit für Los 1 werden 10 Monate angesetzt. Die Arbeitspakete 1 bis 4 mit den bautechnischen Inhalten werden mit einem/ einer wissenschaftlichen Mitarbeiter(in) zu 100 % für die ersten 8 Monate und zu 60 % für die letzten beiden Monate erarbeitet. Die Arbeitspakete 5 und 6 mit den programmiertechnischen Inhalten werden mit einem/ einer weiteren wissenschaftlichen Mitarbeiter(in) zu 25% erarbeitet.

1.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis

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

Der Arbeitskreis befasste sich mit der Auswahl der Prüfaufgaben und Verfahren, ebenso die Aufbereitung der Detailinformationen zu den Verfahren. Die Struktur des Formblatts wurde von dem parallel laufendem Forschungsprojekt Beton und Mauerwerk (Lose 2 und 3) übernommen. Weiterhin wurden das Datenmodell und grundsätzliche Aspekte der Abfragelogik diskutiert und hierzu Festlegungen getroffen.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Existierende ZfP-Kataloge

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

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

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

- In den Jahren 2003 und 2004 wurde durch Prof. Taffe, damals wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BAM, in dem Forschungsvorhaben „Entwicklung eines RI-EBW-PRÜF-kompatiblen Verfahrenskatalogs innerhalb der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ eine Verknüpfung von Brückenschäden und Verfahren des ZfPBau-Kompendiums als sog. „**BASt-Kompendium**“ entwickelt, das heute noch über den Installationsdatenträger der Brückenprüfer **Software SIB-Bauwerke** bereitgestellt wird.
- Im Jahr 2014 wurde vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein (DBV) das **DBV-Merkblatt „Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen“** ([6]) veröffentlicht. Es enthält 1) eine kurze Verfahrensbeschreibung, 2) nennt zehn Prüfaufgaben und 3) mehrere bauartbedingte Prüfungen. Die möglichen Verfahren werden priorisiert und Ergebnisse werden beispielhaft beschrieben.

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

2.2 Vorstellung der Struktur vorhandener ZfPBau-Verfahrenskataloge

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

Basierend auf den Ausführungen von Heft 574 DAfStb ([4]) (Anhang B) sind die Verfahren gemäß der eingebrachten Energie (mechanisch, thermisch, elektrisch, magnetisch, chemisch und Strahlung; zusätzlich: optische und handwerkliche Verfahren) strukturiert. Tabelle 4 aus ([4]) zeigt, dass damit alle Verfahren des ZfPBau-Kompendiums erschlagen werden können. Die Tabelle 2 zeigt eine mögliche Strukturierung der Verfahren nach eingebrachter Energie (erste Spalte) und Zuordnung der im ZfPBau-Kompendium aufgelisteten Verfahren (übrige Spalten) und ist aus ([4]) entnommen.

TABELLE 2: HEFT 574 DAFSTB

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

* Röntgen-Diffraktometrie; + EDX = Energiedispersive Analyse

Die Einteilung gemäß Tabelle 2 hinsichtlich der eingebrachten Energie wurde bei der späteren Strukturierung der Verfahren in Kap. 3 verwendet.

3 AP 1: Erfassung der relevanten Verfahren

3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

In der **DIN EN ISO 9712: Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung** sind die zehn klassischen zerstörungsfreien Verfahren aufgelistet. Dazu zählen die Schallemissionsprüfung, Wirbelstromprüfung, Infrarotthermographieprüfung, Dichtheitsprüfung, Magnetpulverprüfung, Eindringprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Dehnungsmessstreifenprüfung, Ultraschallprüfung, Sichtprüfung.

Die Dichtheitsprüfung dient zur Lecksuche an Leitungen, Anlagen und Behältern und entfällt damit als relevantes Verfahren für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schiene. Die Dehnungsmessstreifenprüfung wird überwiegend für Dauermessungen an Bauwerken eingesetzt und dient somit dem Monitoring von Bauwerken. Deshalb entfällt ebenfalls die klassische Dehnungsmessstreifenprüfung.

Für die Standard-Verfahren der klassischen zerstörungsfreien Prüfung existiert eine Vielzahl an **Deutschen Normen**. Auch weitere Verfahren wie der Abreißversuch, die Gitterschnittprüfung, die Härteprüfung und die Emissionsspektroskopie sind genormt. Eine übersichtliche Suche nach entsprechenden Normen bietet die *International Classification for Standards (ICS)*. Über die ICS-Nummer erfolgt die Zuordnung von Normen zu Sachgruppen. Zu verwenden sind also hauptsächlich die Normen der Sachgruppen: Terminologie (ICS 01.040.19), Zerstörungsfreie Prüfungen (ICS 19.100), Schweißverbindungen (ICS 25.160.40) und Mechanische Prüfung von Metallen (ICS 77.040.10).

Zu den Verfahren Emissionsspektroskopie und Röntgenfluoreszenzanalyse existieren Normen. Allerdings existiert wenig bis keine weitere verwertbare Literatur in Bezug auf das Bauwesen. Bei diesen Verfahren besteht folglich in Bezug auf die Baupraxis und den Einsatz vor Ort noch Forschungsbedarf. Beim Verfahren Gitterschnittprüfung liefert auch die **Amerikanische Norm** ASTM D3359 weitere Informationen. Die Normen gelten i.d.R. allgemein, werkstoffspezifisch und nicht bauwesenspezifisch.

Eine allgemeingültige Norm zur Prüfung von Bauwerken ist die **DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung**.

VDI/VDE-Richtlinien herausgegeben vom *Verein Deutscher Ingenieure* stellen ebenfalls eine praktische Arbeitsunterlage dar. Für den Schutz von und in Gebäuden im Allgemeinen (ICS 91.120.01) gilt die **VDI 6200: Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung**. Für das Verfahren Härteprüfung existiert beispielsweise die Richtlinie VDI/VDE 2616: Härteprüfung an metallischen Werkstoffen.

Die **Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes (RÜV)** herausgegeben vom *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung* ist eine weitere allgemeingültige Richtlinie zur Überwachung von baulichen Anlagen des Bundes.

Die **Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI-ERH-ING)** ebenfalls herausgegeben vom *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung* enthalten fünf Richtlinien, u.a. die Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 RI-EBW-PRÜF und die Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten RI-ERH-KOR. Diese Richtlinien beziehen sich konkret auf Stahlbrücken.

Die **Richtlinie 821.2007 Oberbau Inspizieren – Inspektion von Schienen in Gleisen und Weichen** der DB Netz AG enthält verschiedene Vorgaben zur zerstörungsfreien Prüfung von Schienen in Gleisen und Weichen, die sinngemäß auf andere Stahlbauteile übertragen werden können.

Die **Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING)** herausgegeben von der *Bundesanstalt für Straßenwesen BAST* gelten für den Bau und die Erhaltung von Ingenieurbauwerken nach DIN 1076. **Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau** besteht aus fünf Abschnitten: Stahlbau, Stahlverbundbau, Korrosionsschutz von Stahlbauten, Brückenseile und Korrosionsschutz von Brückenseilen.

Veröffentlichte **Berichte der BAST** liefern weiterführende bauspezifische Erfahrungsinformationen: Heft B 45 Erfahrungssammlungen: Schäden an Stahlbrücken – wetterfeste Stähle – Seile und Heft B 48 Scannende Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung für Brückenbauwerke.

Die Buchreihe **Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung** (Schiebold, 2014/2015) umfasst Einzelausgaben zu den Verfahren: Eindringprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Ultraschallprüfung, Magnetpulverprüfung und Sichtprüfung.

Die 13 bändige Informationsschriften-Reihe **ZfP-kompakt und verständlich** (Deutsch et al., 2006) umfasst verschiedene Einzelausgaben zu den Verfahren: Ultraschallprüfung, Magnetpulverprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Eindringprüfung, Wirbelstromprüfung, Schallemissionsprüfung sowie zur Emissionsspektrometrie.

Beide Buchreihen befassen sich nicht speziell mit der Anwendung der Verfahren auf das Bauwesen. Dennoch bieten sie einen guten Überblick über die Verfahren und die physikalischen Grundlagen der Verfahren.

Die Bücher **Handbuch Bauwerksprüfung** (Mertens, 2015), **Handbuch der Brückeninstandhaltung** (Vollrath & Tathoff, 2002) und **Handbuch Brücken** (Mehlhorn & Curbach, 2014) befassen sich mit typischen Schäden, Schadensursachen, Schwachstellen sowie Schadenserfassungen an Ingenieurbauwerken – insbesondere Brücken - aus Stahl.

Der Beitrag *Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und deren Bewertung im Stahlbau* (Fischer & Schmeink, 2006) im **Stahlbau-Kalender 2006** befasst sich mit den Verfahren: Magnetpulverprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Eindringprüfung und Ultraschallprüfung. Außerdem mit der Sichtkontrolle und der Bewertung von Schweißnähten.

Der Beitrag *Moderne bildgebende Ultraschall-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Schweißnähten* (Steinhausen, Pientschke & Strauß, 2017) im **Stahlbau-Kalender 2017** beschäftigt sich ebenfalls intensiv mit der Prüfung von Schweißnähten.

Der Forschungsbericht 271 **Alte Stähle und Stahlkonstruktionen – Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003** von Dr.-Ing. Rosemarie Helmerich (2005) herausgegeben von der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)* befasst sich eingehend mit den Themenbereichen Materialuntersuchungen, Messungen am Bauwerk und Ermüdungsrisserkennung durch Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethoden.

Der Bericht **Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life** von B. Kühn, M. Lukić, A. Nussbaumer, H.-P. Günther, R. Helmerich, S. Herion, M.H. Kolstein, S. Walbridge, B. Androic, O. Dijkstra und Ö. Bucak (2008) herausgegeben vom *Office for Official Publications of the European Communities* befasst sich mit der Beurteilung von Stahlbauten und gibt Empfehlungen zur Schätzung der verbleibenden Lebensdauer des Bauwerks an. In dem Zusammenhang werden die klassischen zerstörungsfreien Prüfungen mit Vor- und Nachteilen beschrieben.

Die **Zeitschrift Stahlbau** mit zwölf Ausgaben pro Jahr herausgegeben vom **Ernst & Sohn-Verlag** beinhaltet je nach Themenschwerpunkt der jeweiligen Ausgabe verwertbare Fachbeiträge zu zerstörungsfreien Prüfungen an Stahl.

Insbesondere bei dem Verfahren Härteprüfung bieten viele **Gerätehersteller** (wie Proceq oder PCE Instruments) informative und verwertbare Produktinformationen; sie veröffentlichen im Internet geräte-spezifische Trainingsvideos und Live-Webinare mit weiterführenden Informationen zu internationalen Normen und Vorschriften.

Veröffentlichungen verschiedener Veranstaltungsreihen der **Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung DGZfP** bieten fachspezifische Informationen. Es existieren die Fachreihen Thermographie-Kolloquium, Kolloquium Schallemission und Fachtagung Optische Prüf- und Messverfahren. Außerdem finden regelmäßig DGZfP Jahrestagungen und DGZfP-DACH-Jahrestagungen mit Fachbeiträgen statt, die in Berichtsbänden veröffentlicht werden. Zudem haben die Mitglieder der DGZfP Fachauschüsse mehrere Regelwerke zu bestimmten ZfP-Methoden erarbeitet. Verfahren wie Ultraschall, Thermographie und Endoskopie sind in den Merkblättern der B-Reihe enthalten; die Richtlinien und Merkblätter zur Oberflächenrissprüfung der EM-Reihe beziehen sich speziell auf die Magnetpulver- und Eindringprüfung sowie die Wirbelstromprüfung. Die Richtlinie MC 01 enthält Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten.

Im **Grundkurs Stufe 3, Modul 1, Grundlagenkenntnisse BC 3 M1** an der *Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfungen DGZfP* werden die Sichtprüfung, Ultraschallprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Magnetpulverprüfung und Eindringprüfung behandelt. Die Kursinhalte beziehen sich ebenfalls nicht speziell auf das Bauwesen, dennoch bieten der Kurs und die Unterlagen für den Unterricht umfassende Informationen über die Verfahren und die physikalischen Grundlagen.

Im **Lehrgang Stahl- und Stahlverbundbrücken für Ingenieure der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 (Wahlpflichtlehrgang zur Zertifikatsverlängerung)** von der *Bauakademie Hessen-Thüringen in Abstimmung mit dem Verein für Ingenieure der Bauwerksprüfung (VFIB)* werden zum einen typische Schadensbeispiele und ihre Bewertung an Stahl- und Stahlverbundbrücken und zum anderen insbesondere die zerstörungsfreien Prüfverfahren Eindringprüfung, Magnetpulverprüfung, Ultraschallprüfung und Wirbelstromprüfung in Bezug auf die Prüfung von Brücken mit praktischen Vorführungen behandelt.

Für die klassischen Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung existieren Quellen in Form von Normen und Büchern (Sammelwerke) im großem Umfang, oft ist jedoch der direkte Bezug zum Bauwesen nicht hergestellt. Besonders die Fachbeiträge der DGZfP stellen die Verbindung zum Bauwesen her.

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

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

Im Laufe der Bearbeitung des Projekts sind für das Los 1 Stahl insgesamt über 150 literarische Werke gesammelt worden.

3.2 Festlegung der Verfahren und der Struktur des neuen Verfahrenskatalogs

Die Auswahl der relevanten Verfahren für den Verfahrenskatalog ergibt sich aus den Ergebnissen der Literaturrecherche. Die Struktur des Katalogs unterteilt sich gemäß den physikalischen Messprinzipien bzw. gemäß der eingebrachten Energie ähnlich wie in der zuvor aufgeführten Tabelle aus [4].

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

- **Optische Verfahren**
 - (1) Sichtprüfung VT
 - (2) Endoskopie: Boreskope
 - (3) Endoskopie: Fiberskope
 - (4) Endoskopie: Videoskope
- **Mechanische (handwerkliche) Verfahren**
 - (5) Abreiß-Versuch
 - (6) Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung
 - (7) Keilschnitt
 - (8) Eindringprüfung PT
- **Mechanisch angeregte Verfahren**
 - (9) Härteprüfung HT nach dem Leeb-Verfahren
 - (10) Härteprüfung HT nach dem UCI-Verfahren
 - (11) Härteprüfung HT nach dem TIV-Verfahren
 - (12) Härteprüfung HT nach dem Rockwell-Prinzip
 - (13) Klopfrage
 - (14) Schallemissionsprüfung AT
 - (15) Ultraschallprüfung UT
- **Magnetische Verfahren**
 - (16) Magnetfeldänderung (Schichtdickenbestimmung)
 - (17) Magnetpulverprüfung MT
 - (18) Wirbelstromprüfung ET
- **Elektromagnetische Verfahren**
 - Spektralbereich Infrarotstrahlung
 - (19) Infrarotthermographieprüfung TT
 - Spektralbereich Röntgenstrahlung
 - (20) Durchstrahlungsprüfung RT
- **Chemische Verfahren¹**
 - (21) Optische Emissionsspektroskopie OES

¹ Die ausgesandte Strahlung der Verfahren ist zwar elektromagnetisch, da die Strahlung jedoch von der Elektronenkonfiguration des untersuchten Elements abhängt, ist das Messprinzip auf der Anregungsseite „chemisch“.

3.3 Festlegung der Struktur des Formblatts

Die Struktur des Formblatts wurde bereits bei der Bearbeitung der Lose Beton und Mauerwerk bestimmt. An dieser Formblattstruktur sind keine Änderungen für das Los Stahl vorgenommen worden. So sind alle Formblätter einheitlich. Die Festlegung zur Struktur des Formblattes erfolgte wie nachfolgend beschrieben:

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

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

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

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

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

Neuer ZfPBau-Verfahrenskatalog

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

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

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

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

Die Inhalte des Formblattes sind wie folgt aufgebaut:

- 1) Einleitender Überblick
 - a) Messprinzip, Messverfahren und Messmethode in der Kurzbeschreibung sowie die physikalisch möglichen Prüfaufgaben
 - b) Standard-Anwendungsbereich und -grenzen sowie Sonder-Anwendungsmöglichkeiten und bauliche Voraussetzungen
- 2) Spezifische Informationen über das ausgewählte Verfahren
 - a) Ausführliche Verfahrensbeschreibung und Vergleich (Vor- und Nachteile bei gleicher Prüfaufgabe)
 - b) Messmethode und Verfahrensaufwand
 - Messmethode (Messaufbau, Messergebnisse, Messgeräte, Messgröße, Messdurchführung): Der Messaufbau und die Messergebnisse werden in Form von Fotos dargestellt; die Fotos werden überwiegend eigene Aufnahmen von Prüfungen sein
 - Verfahrensaufwand (Technik, Zeit, Kosten, Fachwissen): Für den Verfahrensaufwand werden 1 bis 5 Punkte vergeben, wobei 1 Punkt den geringsten Aufwand und 5 Punkte den höchsten Aufwand beschreiben.
- 3) Weiterführenden Informationen
 - a) Gerätehersteller ²,
 - b) verwandte Verfahren und
 - c) Literaturangaben – unterteilt in Fachliteratur und Regelwerke.

² Die Aufzählung der Geräte-Hersteller hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4 AP 2: Identifikation der relevanten Prüfaufgaben

In der **NDT-Toolbox ([5])** werden in verschiedenen Kapiteln (5.2, 5.3, 7.2) Prüfaufgaben und typische Schäden insbesondere für Brückenbauwerke aus Stahl aufgeführt. Die Prüfaufgaben werden im Kapitel 7.5 gezielt für genietete bzw. geschraubte Konstruktionen sowie für geschweißte Konstruktionen unterschieden.

Im **Handbuch Brücken** (Mehlhorn & Curbach, 2014) werden im Kapitel 12.4.3 typische Schwachstellen u.a. in Bezug auf Tragwerk und Bauteile, Fahrbahnbeläge, Korrosionsschutz, Schweißnähte, Niete und Schrauben sowie Seile und Zugelemente beschrieben, woraus sich entsprechende Prüfaufgaben ergeben.

Im **Handbuch Brückeninstandhaltung** (Vollrath & Tathoff, 2002) sind im Kapitel 3 Prüfung von Stahlbrücken Prüfungen zu den verschiedenen Bau- und Konstruktionsteilen wie Beschichtung, Niet- und Schraubenverbindungen und Schweißnähte beschrieben, woraus sich ebenfalls spezifische Prüfaufgaben ergeben.

Im **Handbuch Bauwerksprüfung** (Mertens, 2015) sind im Kapitel 1.3.1 Stahlbrücken Schadensursachen und Schwachstellen von Stahlkonstruktionen beschrieben. Auch hier leiten sich entsprechende Prüfaufgaben ab.

Insbesondere diese Fachliteratur sowie die weiteren Normen und Richtlinien aus Arbeitspaket 1 dienen als Grundlage für die umfassende Identifikation der relevanten Prüfaufgaben in diesem Arbeitspaket.

Im Laufe der Bearbeitung zur Strukturierung der Prüfaufgaben hat sich ergeben, dass zunächst der **Prüfgegenstand** definiert und unterteilt werden muss, um eine sinnvolle Übersicht und Zuordnung der **Prüfaufgaben** zu erhalten. Bei den Prüfaufgaben selbst ist ebenfalls eine Unterteilung sinnvoll, um darstellen zu können, dass sich die **Prüfaufgaben aus verschiedenen Einzelprüfungen und einer Prüfabfolge** zusammensetzen. So kann die Lösung einer komplexen Prüfaufgabe später modular zusammengesetzt werden. Aus diesen Überlegungen ergibt sich folgende Liste der praxisrelevanten Prüfaufgaben: Der **Prüfgegenstand** wird unterteilt in **Werkstoffeigenschaften** und **Bauteilkonstruktion**. Die Prüfaufgaben für die Werkstoffeigenschaften betreffen den inneren Zustand, also Baustoff- und Materialeigenschaften, des zu untersuchenden Objekts. Die Bauteilkonstruktion umfasst den generellen Aufbau mit Anschlüssen des zu untersuchenden Objekts.

Die **Prüfaufgaben** unterteilen sich in die **qualitative Bestimmung** durch **Detektion** und die **quantitative Bestimmung** durch **Messung** des zu untersuchenden Objekts.

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

Im Kapitel 4.1 sind die praxisrelevanten Prüfaufgaben tabellarisch formuliert und dargestellt.

4.1 Darstellung der praxisrelevanten Prüfaufgaben

Tabelle 3 zeigt die baustoffspezifischen Prüfaufgaben für das Los Stahl - unterteilt in **Werkstoffeigen-schaften**- und die **Bauteilkonstruktion** betreffend sowie weiter in **qualitative** und **quantitative Prüf-aufgaben**. Die qualitative Bestimmung beschreibt die generelle Detektionswahrscheinlichkeit eines Ob-jekts. Die quantitative Bestimmung beschreibt die messbare Charakterisierung eines Fehlers und die Messunsicherheit.

TABELLE 3: STRUKTURIERUNG PRAXISRELEVANTER PRÜFAUFGABEN STAHL

Prüfgegen- stand	Detektion:	
	Qualitative Bestimmung	Messung: Quantitative Bestimmung
Baustoffeigenschaften: Zustand/Oberfläche	Elementzusammensetzung (Stahlsorte)	Elementgehalt
	(Änderung der) Werkstoffeigen-schaften (mech. Eigenschaft)	Härte (Umwertung in Zugfes-tigkeitswerte)
	Oberflächen-Inhomogenitäten: Risse (i.d.R. betriebsinduziert)	Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe)
	Volumen-Inhomogenitäten: Lunker, Poren, Einschlüsse (i.d.R. herstel-lungsbedingt)	Lage und Fehlergröße (Länge, Breite, Tiefe)
	Korrosion (Rostflecken, Anrostungen, Unterrostung)	Korrosionsangriffstiefe
Bauteilekonstruktion: Aufbau/Geometrie	Konstruktionselemente	Materialstärke/ Blechdicke (Rest-wanddicke)
	Ausbeulungen/ Verformungen an Konstruktionselementen	Lage und Abweichung
	Beschichtungsstoffe	Schichtdicke (Schichtenanzahl)- Haftfestigkeit
	Anschluss Nietverbindungen: Sitz der Niete	-
	Anschluss Schraubverbindungen: Sitz der Schrauben	-
	Anschluss Schweißverbindungen: Schweißnahttrisse	Fehlergröße (Position, Länge, Breite, Tiefe)
	Seile und Zugelemente: Äußere/ innere Drahtbrüche	-

6 AP 4: Bewertung geeigneter Verfahren für Prüfaufgaben

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

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

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

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

[Mertens, Martin (Hrsg.) (2015): Handbuch Bauwerksprüfung. Zustandsprüfung im Bestand: Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit. Köln: Rudolf Müller.; Kapitel 4.2]

Darauf aufbauend wurde die Klassifizierung wie folgt festgelegt:

„-“: Anwendung des Verfahrens physikalisch nicht möglich

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

„o“: Anwendung des Verfahrens mit Einschränkungen möglich

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

„+“: Anwendung des Verfahrens gut geeignet

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

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

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

Abbildung 1 zeigt, dass in einem ERM grob in drei Hauptelemente unterschieden wird:

- Entitätstyp
 - Zusammenfassung von eindeutig identifizierbaren Objekten des gleichen Typs z.B.: Prüfaufgabe, Verfahren
 - Darstellung in *Abbildung 1*: Türkise Rechtecke
- Attribut
 - Beschreibende Eigenschaften z.B.: Der Entitätstyp Prüfaufgabe hat die Eigenschaft Name mit dem Wert Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse und beschreibt eine konkrete Ausprägung
 - Darstellung in *Abbildung 1*: Weiße Ovale
- Beziehungstyp
 - Beschreibt das Verhältnis von Entitätstypen untereinander z.B.: Eine Prüfaufgabe mit dem Wert Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse ist dem Verfahren mit dem Wert Magnetpulverprüfung zugeordnet.
 - Kardinalitäten: Genauere Eingrenzungen werden über Kardinalitäten realisiert, welche zum Beispiel besagen, ob eine Prüfaufgabe zu einem oder mehreren Verfahren zugeordnet werden kann. Dies hat entscheidende Auswirkungen für die Struktur der zu entwickelnden Datenbank.
 - Darstellung in *Abbildung 1*: Gelbe Rauten

7.2 Zuordnung ERM und Datenblatt

In den folgenden Abbildungen wird anhand des entwickelten ER-Modells und den erarbeiteten Datenblättern am Beispiel der Magnetpulverprüfung grafisch die Zuordnung und strukturierte Abbildbarkeit des Datenmodells aufgezeigt, um diese Informationen in der Datenbank ablegen und Datenblätter im System generieren zu können.

- Kontrolle der Prüfmittel: Empfindlichkeit anhand Vergleichskörper nach DIN EN ISO 9934-2
3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.)
 - Lokale Aufmagnetisierung und Aufbringen der Anzeigen
 - Anzeigenbeurteilung: Nachweis der Magneten
 - Entmagnetisierung
4. Auswertung und Dokumentation
 - Dokumentation von Länge, Breite, Orientierung, Position, Form, Anordnung der Anzeigen
 - Protokollierung der Durchführung und Bewertung der Ergebnisse in einem
5. Weiteres
 - besondere Aufmerksamkeit gilt Schmelzanzeigen, die meistens ein „verwaschenes“ Aussehen haben
 - Wiederholung der Prüfung bei einem uneindeutigen Ergebnis oder Anwendung eines weiteren Verfahrens

Verfahrensaufwand			
Technik	Zeit	Kosten	Fachwissen
x/5	x/5	x/5	x/5

Abbildung 4: Zuordnung ERM zu Datenblatt "Magnetpulverprüfung" Teil 3

7.3 Beschreibung der Entitätstypen, Attribute und Beziehungstypen

Nachfolgend werden die einzelnen Entitätstypen, die dazugehörigen Attribute, Beziehungstypen beschrieben und anhand von Beispielen verdeutlicht.

Jeder Entitätstyp besitzt hier ein Attribut „ID“ welcher immer eindeutig zur Identifikation eines Datensatzes vergeben wird. Diese werden in der Modellbeschreibung nicht zusätzlich erwähnt.

Ein Los Stahl kann zu vielen Verfahrensgruppen gehören, während eine Verfahrensgruppe genau einem Los zugeordnet werden kann. Zu dem Los Stahl können gehören bspw. magnetische Messprinzipien und mechanische Verfahren, das magnetische Messprinzip aber nur zu dem Los Stahl.

TABELLE 5: ENTITÄTSTYP LOS

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Los	Name	Stahl
		Beton

Zu einer Verfahrensgruppe „Magnetisches Messprinzip“ können mehrere Verfahren, wie z.B.: „Magnetpulverprüfung“ oder „Wirbelstromprüfung“ gehören“. Die „Magnetpulverprüfung“ gehört aber immer zum „Magnetischem Messprinzip“

TABELLE 6: ENTITÄTSTYP VERFAHRENSGRUPPE

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Verfahrensgruppe	Name	Magnetisches Messprinzip
		Optisches Messprinzip

Zu einem Verfahren „Magnetpulverprüfung“ kann es mehrere Prüfaufgaben, wie z.B.: „Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse“ oder „Anschluss: Schweissverbindungen“ geben, während „Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse“ ebenfalls zu mehreren Verfahren, wie z.B.: „Wirbelstromprüfung“ zugeordnet sein kann.

TABELLE 7: ENTITÄTSTYP VERFAHREN

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Verfahren	Name	Magnetpulverprüfung
	englName	Magnetic Particle Testing MT

TABELLE 8: ENTITÄTSTYP PRÜFAUFGABE

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Prüfaufgabe	Name	Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse
		Anschluss: Schweissverbindungen

Eine Prüfaufgabe ist genau einem Prüftypen z.B. Quantitativ zugeordnet, jeder Prüftyp kann dabei mehreren Prüfaufgaben wie z.B. „Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse“ oder „Risse“ zugeordnet werden.

TABELLE 9: ENTITÄTSTYP PRÜFTYP

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Prüftyp	Inhalt	Quantitativ
		Qualitativ

Eine Prüfaufgabe ist genau einem Prüfkategorie z.B. Bauteil zugeordnet, jede Prüfkategorie kann dabei vielen Prüfaufgaben „Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse“ oder „Risse“ zugeordnet werden.

TABELLE 10: ENTITÄTSTYP PRÜFKATEGORIE

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Prüfkategorie	Inhalt	Bauteil
		Baustoff

Bewertungsskala dient der Zuordnung der in der Matrix (vgl. Tabelle 4) ermittelten Ergebnisse. So kann dem Verfahren „Magnetpulverprüfung“ in Kombination mit der Prüfaufgabe „Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse“ die Eignung „gut geeignet“ zugeordnet werden

TABELLE 11: ENTITÄTSTYP BEWERTUNGSKALA

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Bewertungsskala	Wert	Physikalisch nicht möglich
		Physikalisch möglich, technisch eingeschränkt geeignet

7.3.1 Zusätzliche Entitätstypen

Die nachfolgenden Entitätstypen dienen der zusätzlichen Informationsaufnahme und Bereitstellung, um die erarbeiteten Datenblätter strukturiert erzeugbar zu realisieren.

Der Aufwand ist für jedes Verfahren spezifisch ermittelt und gehört daher immer genau zu einem Verfahren und ein Verfahren kann genau einen spezifischen Aufwand haben und ist im Datenblatt eine spezielle Zeile.

TABELLE 12: ENTITÄTSTYP AUFWAND

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Aufwand	Fachwissen	1
	Technik	4
	Zeit	4
	Kosten	1

Der Zeilentyp gibt an, ob es sich aus dem Datenblatt bspw. um die „Kurzbeschreibung“ oder „bauseitige Voraussetzungen“ handelt. Der Inhaltstyp gibt Informationen über den gewünschten Content des zu erzeugenden Feldes. Bilder werden dabei via Pfad Angabe auf dem System abgelegt und über den Inhaltstypen erkannt.

TABELLE 13: ENTITÄTSTYP ZEILENTYP

Entitätstyp	Attribut	Beispiel
Zeilentyp	Name	Bauseitige Voraussetzung
	Inhaltstyp	Text

Die Zeile ist der konkrete Inhalt eines Zeilentypes und wird Zeilenweise abgebildet um die Reihenfolge darstellen zu können.

TABELLE 14: ENTITÄTSTYP ZEILENTYP

Entitätstyp	Attribut	Beispiel	Erläuterung
Zeile	Inhalt	gleichmäßige Beleuchtung [...]	
	Reihenfolge	1	Erste Zeile in einem Zeilentypen hier Bauseitige Voraussetzungen um Reihenfolge abzubilden
	Parentzeile	5	Diese Zeile ist ein Unterpunkt der fünften Zeile „Betrachtungsbedingungen für die nichtfluoreszierende [...]“
	Markup		MarkupCodes um später bei der Datenblatterzeugung bspw. Einträge fett zu markieren

Eine Quelle „Magnetpulverprüfung (MT) ()2018. In Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (HG).“ Kann zu einer bestimmten Zeile in einem Zeilentyp gehören.

TABELLE 15: ENTITÄTSTYP QUELLE

Entitätstyp	Attribut	Beispiel	Erläuterung
Quelle	Inhalt	Magnetpulverprüfung (MT) ()2018. In Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (HG).	
	Ziffer	1 oder DIN	Zur Identifikation mehrere Quellen zu einer Zeile gehören

7.4 Programmablauf

Im Folgenden wird der Standard-Programmablauf anhand einer Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK), unter Berücksichtigung der vom Auftraggeber zusätzlich bereitgestellten Kriterien, in Abbildung 5 veranschaulicht und drei Abfrage-Szenarien für die Einstiegspunkte Verfahren, Prüfaufgabe und Messgerätauordnung zu einem Verfahren erläutert.

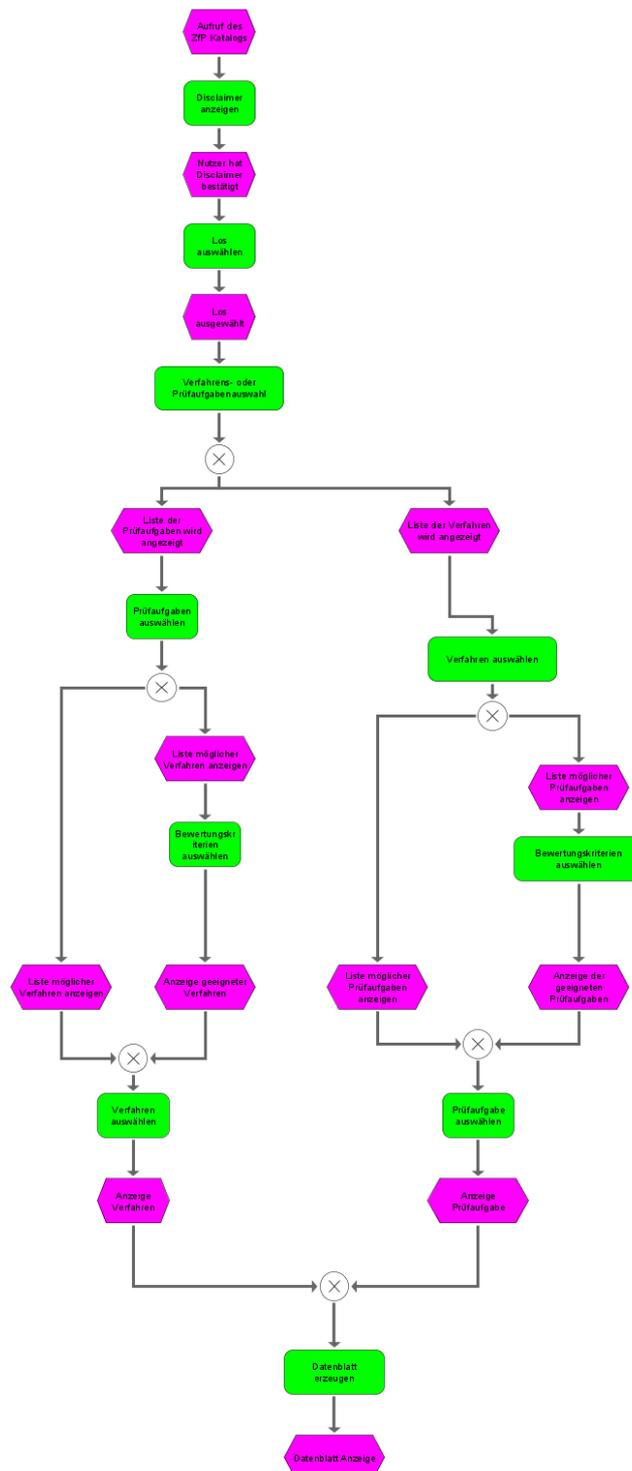


Abbildung 5: Ablaufplan

7.4.1 Einstiegspunkt Verfahren

Für das Abfrageszenario Verfahren wird nach dem Starten der Anwendung und dem Bestätigen des Disclaimers das Los Stahl und die Auflistung der Verfahren ausgewählt. Der Nutzer entscheidet sich für ein bestimmtes Verfahren. Daraufhin wird diesem eine Liste der Prüfaufgaben, die mit dem gewählten Verfahren assoziiert sind, angezeigt. Es kann nun gewählt werden, ob eine bestimmte Prüfaufgabe näher betrachtet oder aber Prüfaufgaben nach Kriterien wie z.B. physikalisch möglich gefiltert und dann ausgewählt werden sollen (vgl. ERM Entitätstypen Verfahren, Prüfaufgabe, Bewertungsskala). Am Ende wird dem User auf Basis dieser Entscheidungen vom System das entsprechende Datenblatt generiert.

7.4.2 Einstiegspunkt Prüfaufgabe

Das Abfrageszenario Prüfaufgabe wird ähnlich durchlaufen. Nach dem Starten der Anwendung und Bestätigen des Disclaimers sowie der Losauswahl wird die Auflistung der Prüfaufgaben ausgewählt. Der User entscheidet sich für eine bestimmte Prüfaufgabe. Im Anschluss wird eine Liste der Verfahren, die mit der gewählten Prüfaufgabe assoziiert sind, angezeigt. Es kann nun gewählt werden, ob eine bestimmtes Verfahren näher betrachtet oder aber Verfahren nach Kriterien wie z.B. physikalisch möglich gefiltert und dann ausgewählt werden sollen (vgl. ERM Entitätstypen Verfahren, Prüfaufgabe, Bewertungsskala). Am Ende wird dem User auf Basis dieser Entscheidungen vom System das entsprechende Datenblatt generiert.

7.4.3 Einstiegspunkt Messgeräte

Der Anwender möchte gerne wissen, welche Verfahren für ein von ihm spezifiziertes Messgerät geeignet sind. Bei Messgeräten handelt es sich nach Definition des ER-Modells um einen bestimmten Zeilentyp mit mindestens einer zugeordneten Zeile. Am Beispiel der Magnetpulverprüfung könnte dies Magnetpulver-Suspension sein. Nun ist es auf Grund der Datenstruktur per Abfrage vom System möglich alle Zeilen zu ermitteln, die zum Zeilentyp Messgeräte gehören und in deren Inhalt die Zeichenkette „Magnetpulver-Suspension“ enthalten ist. Durch die Zuordnung von Zeilen und Verfahren kann diese Abfrage weiter eingegrenzt werden, um alle entsprechend verknüpften Verfahren anzeigen und dann den User auswählen zu lassen.

8 AP 6: Prototypische Umsetzung des Datenbankmodells

Die Umsetzung des Datenbankmodells greift die Ergebnisse des Arbeitspakets 5 auf. Das AP zeigt anhand einer prototypischen Implementierung die technische Umsetzbarkeit des in AP5 entwickelten Datenmodells sowie eines ausgewählten Abfrage-Szenarios auf.

8.1 Eingesetzte Technologien

Für die prototypische Umsetzung des in AP entwickelten Datenmodells sollen geeignete webbasierte Technologien gewählt und eingesetzt werden. Diese werden in den nachfolgenden Punkten erläutert.

8.1.1 PHP (Hypertext Preprocessor)

Bei PHP handelt es sich im Wesentlichen um eine Skriptsprache, die zum Erstellen von dynamischen Webanwendungen verwendet wird. Sie stellt wie andere Sprachen Funktionen über integrierte Bibliotheken zur Verfügung, so dass das Prinzip des „Code Reuse“ Anwendung findet. Sie ist in Kombination mit HTML (Hypertext Markup Language) und JavaScript bestens dafür geeignet, die hier erwartete prototypische Anwendung zu realisieren und es basieren im Jahr 2019 noch ca. 78,9 % der erfassbaren Webseiten³ auf dieser Sprache.

8.1.2 Maria DB

Bei Maria DB handelt es sich um ein weitverbreitetes, open source basiertes relationales DatenbankManagementSystem (DBMS) und wird in diesem Zusammenhang für das Projekt gewählt.

8.1.3 XAMPP

Um eine Webanwendung zu realisieren, muss neben der gewählten Sprache und Datenbank zusätzlich ein Webserver bereitgestellt und betrieben werden, welcher die Anfragen über das Internet oder Netzwerk verstehen, bearbeiten und beantworten kann. Um sich den Konfigurationsaufwand in der ersten Entwicklungsphase zu sparen, kann die einfach zu installierende Softwareverteilung XAMPP, bestehend aus dem Webserver Apache, der Sprache PHP und der Datenbank Maria DB, genutzt werden. Diese ermöglicht mit den Standardeinstellungen das Betreiben und Entwickeln von Webseiten in einer lokalen Rechner-Umgebung.

³ Quelle: https://w3techs.com/technologies/overview/programming_language letzter Zugriff 11.12.2019

8.2 Transformation ERM zum Relationsmodell

Basierend auf dem in AP5 entwickelten ERM wird dieses in ein Relationsmodell überführt. In diesem werden nicht nur die ermittelten Zusammenhänge strukturiert dargestellt, sondern die mathematische Beschreibung ergänzt. Das Relationsmodell beinhaltet zum einen Datentypen, die der daraus resultierenden Datenbank vorgeben wie mit dem Inhalt verfahren werden soll und zum anderen Primär- und Fremdschlüssel, mit deren Hilfe die Zuordnung der Beziehungstypen erfolgt (vgl. dazu Abbildung 6 Relationsmodell und Tabelle 16 Relation Verfahren).

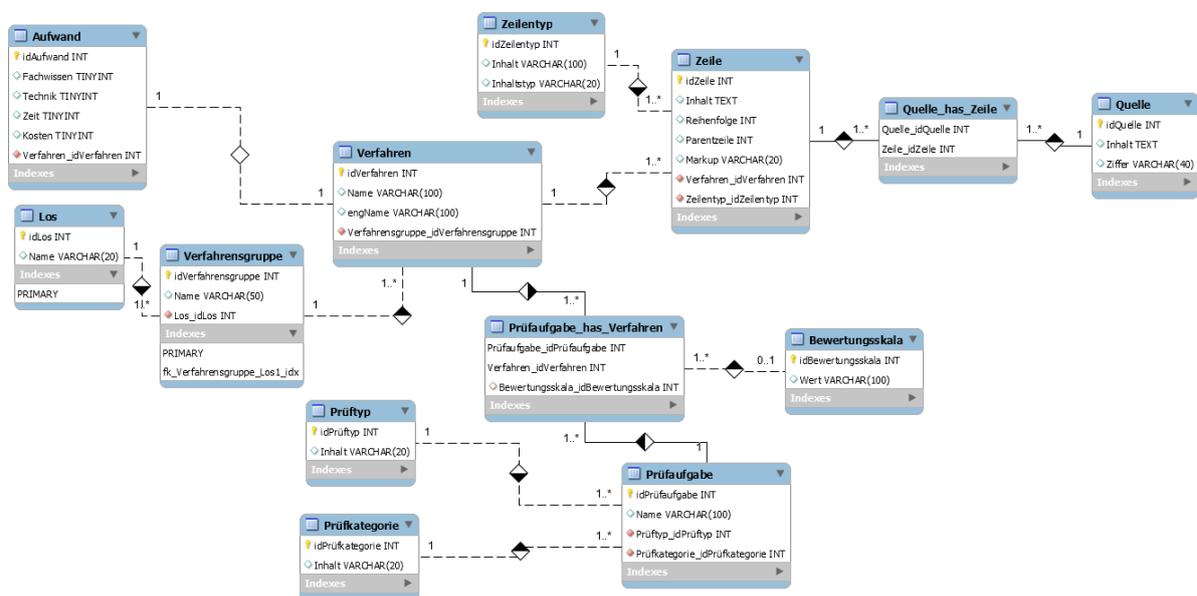


Abbildung 6: Relationsmodell

Bei der Transformation werden die unter 7.1 erläuterten Elemente Entitätstyp, Attribut, Beziehungstyp in Tabellen, Spalten, Primär- und Fremdschlüssel überführt. Aus dem Entitätstypen Verfahren wird die Relation Verfahren definiert. Aus den Attributen ID entsteht der Primärschlüssel idVerfahren, die Attribute Name und engName werden zu den gleichnamigen Spalten und Verfahrensgruppe_idVerfahrensgruppe bildet den Fremdschlüssel aus der gleichnamigen Tabelle ab. In Tabelle 16 Relation Verfahren ist dies im Detail dargestellt.

TABELLE 16: RELATION VERFAHREN

Spalte	Datentyp	Beschreibung
idVerfahren	INT ist ein ganzzahliger Datentyp	Primärschlüssel (Primarykey) dient der eindeutigen Zuordnung (Identifizierung) eines Datensatzes (Tupel) in einer Tabelle und im Zusammenhang mit einem Fremdschlüssel (Foreignkey) der Abbildung von Beziehungstypen aus dem ERM.
Name	varChar(100) ist ein variabler Datentyp für Zeichen (inkl. Sonderzeichen und Ziffern) mit einer Maximallänge von 100 aufeinanderfolgenden Zeichen, die zusammen eine sinngebende Zeichenkette bilden	Hier beispielsweise der Name des Verfahrens „Magnetpulverprüfung“
engName	varChar(100)	Hier beispielsweise der englische Name des Verfahrens „Magnetic Particle Testing MT“
Verfahrensgruppe_id-Verfahrensgruppe	INT ein ganzzahliger Datentyp	Fremdschlüssel (Foreignkey) dient der Zuordnung eines Datensatzes aus einer bestimmten Tabelle. Hier wird ein Datensatz der Tabelle Verfahrensgruppe (Physikalische Grundlage) mit einem (oder mehreren) Datensatz(en) der Tabelle Verfahren verknüpft, indem die ID's (Zahlen) verglichen. Wenn die Relationen über den Primärschlüssel 1 mit dem Fremdschlüssel 1 angegeben sind, dann gehören die Datensätze zusammen. Wenn der Fremdschlüssel 2 betragen würde, gehört der Datensatz nicht mit dem Primärschlüssel 1 zusammen

8.3 Implementierung der Datenbank

Basierend auf dem transformierten Relationsmodell im notwendigen Detailgrad kann entsprechender SQL-Code (Structured Query Language) geschrieben bzw. erzeugt werden, welcher wiederum vom gewählten DBMS interpretiert und ausgeführt werden kann. SQL ist eine für die Kommunikation mit Datenbanken entwickelte strukturierte Abfragesprache, mit deren Hilfe Strukturen definiert, Inhalte gehandhabt und Zugriffe geregelt werden können. In der folgenden Abbildung 7 ist die Strukturdefinition am Beispiel der ZfP-Datenbank dargestellt. In Zeile 21 wird die Tabelle „Verfahrensgruppe“ der Datenbank „ZfPDB“ erzeugt, in den Zeilen 22- 24 die Spalten nach Relationsmodell inklusive Datentypen definiert und ab Zeile 25 beispielsweise Primär- und Fremdschlüssel(-beziehungen) abgebildet (*kompletter Code im Dateianhang*).

```

12     CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `ZfPDB` DEFAULT CHARACTER SET utf8 ;
13
14     CREATE TABLE IF NOT EXISTS `ZfPDB`.`Los` (
15         `idLos` INT(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
16         `Name` VARCHAR(20) NULL DEFAULT NULL,
17         PRIMARY KEY (`idLos`))
18     ENGINE = InnoDB
19     DEFAULT CHARACTER SET = utf8;
20
21     CREATE TABLE IF NOT EXISTS `ZfPDB`.`Verfahrensgruppe` (
22         `idVerfahrensgruppe` INT(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
23         `Name` VARCHAR(50) NULL DEFAULT NULL,
24         `Los_idLos` INT(11) NOT NULL,
25         PRIMARY KEY (`idVerfahrensgruppe`),
26         INDEX `fk_Verfahrensgruppe_Los1_idx` (`Los_idLos` ASC) VISIBLE,
27         CONSTRAINT `fk_Verfahrensgruppe_Los1`
28         FOREIGN KEY (`Los_idLos`)
29         REFERENCES `ZfPDB`.`Los` (`idLos`)
30         ON DELETE NO ACTION
31         ON UPDATE NO ACTION)
32     ENGINE = InnoDB
33     DEFAULT CHARACTER SET = utf8;
34

```

Abbildung 7: Exemplarischer SQLCode zum Erzeugen der ZfP-Datenbank und Tabellen

8.4 Prototypische Anwendung

Nach Implementation der Datenbank, Konfiguration der Entwicklungsumgebung, entsprechender Programmierarbeit einer Weboberfläche und Abfragelogik wird anhand des Einstiegspunkts Verfahren (vgl. Kapitel 7.4.1) die Funktionsfähigkeit des Datenmodells aufgezeigt. In Abbildung 8 ist ein beispielhafter Disclaimer zum Anwendungsstart dargestellt. Erst nach Bestätigung wird es dem User gestattet Funktionalitäten zu wählen. Abbildung 9 zeigt eine Übersichtsseite, auf der die Startpunkte für die verschiedenen zu realisierenden Anforderungen aufgelistet sind. Der erste stellt dabei den gewünschten Einstiegspunkt „Verfahren“ dar, die darauf folgenden werden im Kapitel 8.4.2 näher erläutert.

Disclaimer Zfp - Tool

Haftung für Inhalte

Als Diensteanbieter sind wir gemäß § 7 Abs.1 TMG für eigene Inhalte auf diesen Seiten nach den allgemeinen Gesetzen verantwortlich. Nach §§ 8 bis 10 TMG sind wir als Diensteanbieter jedoch nicht verpflichtet, übermittelte oder gespeicherte fremde Informationen zu überwachen oder nach Umständen zu forschen, die auf eine rechtswidrige Tätigkeit hinweisen. Verpflichtungen zur Entfernung oder Sperrung der Nutzung von Informationen nach den allgemeinen Gesetzen bleiben hiervon unberührt. Eine diesbezügliche Haftung ist jedoch erst ab dem Zeitpunkt der Kenntnis einer konkreten Rechtsverletzung möglich. Bei Bekanntwerden von entsprechenden Rechtsverletzungen werden wir diese Inhalte umgehend entfernen.

Haftung für Links

Unser Angebot enthält Links zu externen Websites Dritter, auf deren Inhalte wir keinen Einfluss haben. Deshalb können wir für diese fremden Inhalte auch keine Gewähr übernehmen. Für die Inhalte der verlinkten Seiten ist stets der jeweilige Anbieter oder Betreiber der Seiten verantwortlich. Die verlinkten Seiten wurden zum Zeitpunkt der Verlinkung auf mögliche Rechtsverstöße überprüft. Rechtswidrige Inhalte waren zum Zeitpunkt der Verlinkung nicht erkennbar. Eine permanente inhaltliche Kontrolle der verlinkten Seiten ist jedoch ohne konkrete Anhaltspunkte einer Rechtsverletzung nicht zumutbar. Bei Bekanntwerden von Rechtsverletzungen werden wir derartige Links umgehend entfernen.

Urheberrecht

Die durch die Seitenbetreiber erstellten Inhalte und Werke auf diesen Seiten unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtes bedürfen der schriftlichen Zustimmung des jeweiligen Autors bzw. Erstellers. Downloads und Kopien dieser Seite sind nur für den privaten, nicht kommerziellen Gebrauch gestattet. Soweit die Inhalte auf dieser Seite nicht vom Betreiber erstellt wurden, werden die Urheberrechte Dritter beachtet. Insbesondere werden Inhalte Dritter als solche gekennzeichnet. Sollten Sie trotzdem auf eine Urheberrechtsverletzung aufmerksam werden, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis. Bei Bekanntwerden von Rechtsverletzungen werden wir derartige Inhalte umgehend entfernen.

[Disclaimer bestätigen](#)

Abbildung 8: Beispielhafter Disclaimer zum Anwendungsstart

Bitte wählen Sie Ihren nächsten Schritt.

Einstiegspunkt "Verfahren:"	Zur Losauswahl
Abfrage: "Zeige alle Verfahren die dem Los "Stahl" zugeordnet sind."	Abfrage starten
Abfrage: "Zeige alle Zeilen aus dem Feld "Bauseitige Voraussetzungen" und dem Verfahren "Magnetpulverprüfung."	Abfrage starten
Abfrage: Zeige alle Verfahren die "physikalisch möglich, technisch eingeschränkt geeignet" sind.	Abfrage starten
Abfrage: Zeige die Zeilen "Messgeräte", die Magnetpulver-Suspension beinhalten.	Abfrage starten
Abfrage: Zeige alle benutzen Quellen in einem Verfahren an.	Abfrage starten
Einen neuen Beispieldatensatz (Zeilen/Zeilentypen) für ein Verfahren in einem zu wählenden Los und Verfahrensguppe erzeugen	Daten eingeben
	weiter

Abbildung 9: Auswahl der nächsten Funktionen gemäß prototypischer Anforderungen

8.4.1 Einstiegspunkt Verfahren

Nachdem der Button zur Losauswahl betätigt wurde, werden alle vorhandenen Lose aus der Datenbank abgefragt und in einem durchsuchbaren Feld dargestellt (Abbildung 10 und 11). Im nächsten Schritt werden die Verfahren sortiert nach physikalischen Grundlagen durchsuchbar angezeigt (Abbildung 12). Abbildung 13 listet die dem gewählten Verfahren Magnetpulverprüfung zugeordneten möglichen Prüfaufgaben auf und im nächsten Schritt könnte das entsprechende Datenblatt aus der Datenbank generiert und dem Nutzer angezeigt werden. Die Anwendung liefert an dieser Stelle das gewählte Verfahren und die dazugehörige Prüfaufgabe aus der Datenbank zurück (vgl. Abbildung 14).

The screenshot shows a dark grey header with the text "Bitte wählen Sie ein Los aus, für das mögliche Verfahren aufgelistet werden sollen." Below this, on the left, is the label "Los auswählen". To the right is a search input field containing "Stahl" and a dropdown menu with "Stahl" selected and highlighted in blue.

Abbildung 10: Losauswahl gefiltert nach Stahl

The screenshot shows the same dark grey header with the text "Bitte wählen Sie ein Los aus, für das mögliche Verfahren aufgelistet werden sollen." Below this, on the left, is the label "Los auswählen". To the right is a search input field containing "Stahl" and a dropdown menu with "Stahl" selected. Below the dropdown is a green button labeled "weiter".

Abbildung 11: Los Stahl ausgewählt

The screenshot shows a dark grey header with the text "Wählen Sie bitte ein Verfahren aus, für welches die möglichen Prüfaufgaben angezeigt werden sollen." Below this, on the left, is the label "Verfahren auswählen". To the right is a search input field with a dropdown menu open, showing a list of inspection methods categorized by physical principle:

- Magnetische Verfahren
 - Magnetpulverprüfung
- Mechanische Verfahren
 - Abreiβversuch
- Optische Verfahren
 - Sichtprüfung

Abbildung 12: Die dem Los Stahl zugeordneten Verfahren, gegliedert nach physikalischer Grundlage

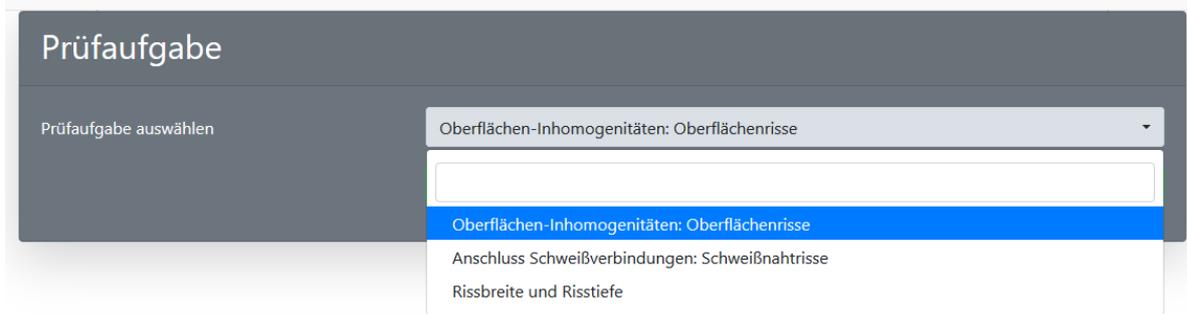


Abbildung:13: Anzeige der Prüfaufgaben, die dem Verfahren Magnetpulverprüfung zugeordnet sind



Abbildung 14: Anwendung liefert das ausgewählte Verfahren und Prüfaufgabe zurück

8.4.2 Abfragelogik anhand von SQL-Abfragen

Im nachfolgenden Abschnitt werden fünf verschiedene SQL-Abfragen zum Nachweis der Leistungsfähigkeit des Datenmodells anhand des Codes aufgezeigt und die Ergebnisse grafisch dargestellt (vgl. Abbildung 15).

8.4.2.1 SQL-Abfrage 1

Es sollen alle Verfahren, die dem Los Stahl zugeordnet sind, angezeigt werden. Dazu werden zuerst alle Verfahren aus der Datenbank angezeigt und darunter nur die, die dem Los Stahl zugeordnet wurden (vgl. Abbildung 15).

SQL-Code Alle Verfahren:

```
SELECT verfahrensgruppe.Name AS Verfahrensgruppenname, verfahren.idVerfahren, verfahren.Name,
verfahren.engName FROM (los INNER JOIN verfahrensgruppe ON los.idLos = verfahrensgruppe.Los_id-
Los) INNER JOIN verfahren ON verfahrensgruppe.idVerfahrensgruppe = verfahren.Verfahrens-
gruppe_idVerfahrensgruppe;
```

SQL-Code Alle Verfahren Stahl:

```
SELECT verfahrensgruppe.Name AS Verfahrensgruppenname, verfahren.idVerfahren, verfahren.Name,
verfahren.engName FROM (los INNER JOIN verfahrensgruppe ON los.idLos = verfahrensgruppe.Los_id-
Los) INNER JOIN verfahren ON verfahrensgruppe.idVerfahrensgruppe = verfahren.Verfahrens-
gruppe_idVerfahrensgruppe WHERE (((los.Name)='Stahl'));
```

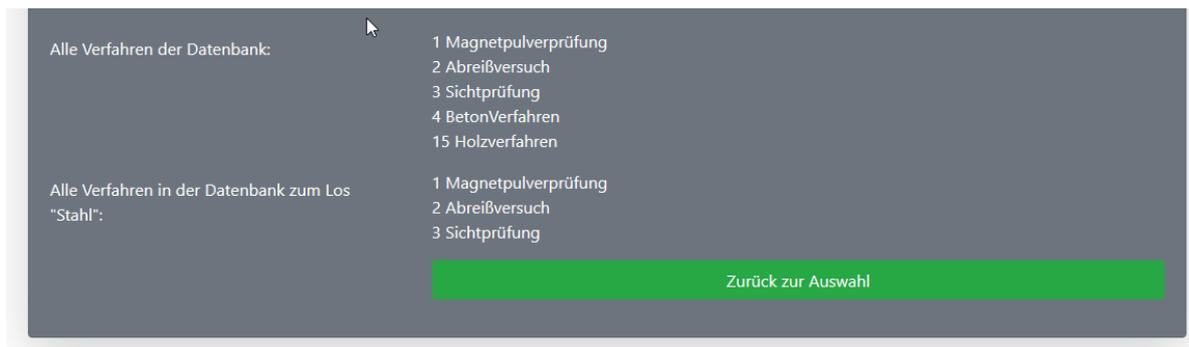


Abbildung 15: Ergebnis Abfrage 1

8.4.2.2 SQL-Abfrage 2

Es sollen alle Zeilen aus dem Datenbankfeld Bauseitige Voraussetzungen und dem Verfahren Magnetpulverprüfung angezeigt werden (vgl. Abbildung 16).

SQL-Code Alle Zeilen:

```
SELECT los.Name AS losName, verfahrensgruppe.Name, verfahren.Name AS verfahrenName, zeile.Inhalt AS zeileInhalt, zeilentyp.Inhalt, quelle.Ziffer FROM ((zeilentyp INNER JOIN (((los INNER JOIN verfahrensgruppe ON los.idLos = verfahrensgruppe.Los_idLos) INNER JOIN verfahren ON verfahrensgruppe.idVerfahrensgruppe = verfahren.Verfahrensgruppe_idVerfahrensgruppe) INNER JOIN zeile ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren) ON zeilentyp.idZeilentyp = zeile.Zeilentyp_idZeilentyp) LEFT JOIN quelle_has_zeile ON zeile.idZeile = quelle_has_zeile.Zeile_idZeile) LEFT JOIN quelle ON quelle_has_zeile.Quelle_idQuelle = quelle.idQuelle WHERE zeile.idZeile<10;
```

SQL-Code Nur die Zeilen aus dem Feld Bauseitige Voraussetzungen:

```
SELECT los.Name AS losName, verfahrensgruppe.Name, verfahren.Name AS verfahrenName, zeile.Inhalt AS zeileInhalt, zeilentyp.Inhalt, quelle.Ziffer FROM ((zeilentyp INNER JOIN (((los INNER JOIN verfahrensgruppe ON los.idLos = verfahrensgruppe.Los_idLos) INNER JOIN verfahren ON verfahrensgruppe.idVerfahrensgruppe = verfahren.Verfahrensgruppe_idVerfahrensgruppe) INNER JOIN zeile ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren) ON zeilentyp.idZeilentyp = zeile.Zeilentyp_idZeilentyp) LEFT JOIN quelle_has_zeile ON zeile.idZeile = quelle_has_zeile.Zeile_idZeile) LEFT JOIN quelle ON quelle_has_zeile.Quelle_idQuelle = quelle.idQuelle WHERE (((verfahren.Name)='Magnetpulverprüfung') AND ((zeilentyp.Inhalt)='Bauseitige Voraussetzungen'));
```

<p>Zeilenanzahl <10 der Datenbank :</p>	<p>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 Magnetpulverteichen auf der Prüfoberfläche. - Oberflächenverfahren 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 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 Magnetpulverteichen auf der Prüfoberfläche. - Oberflächenverfahren Quelle Sichtbarmachen von Oberflächeninhomogenitäten (insbesondere Risse) bei allen ferromagnetischen Werkstoffen Quelle 2 Sichtbarmachen von Oberflächeninhomogenitäten (insbesondere Risse) bei allen ferromagnetischen Werkstoffen Quelle DIN EN ISO 9934-1 Nachweis von spaltartigen Materialtrennungen (Tiefenlage t < 0,2 mm) Quelle 1 Sichtbarmachen von Rissen unter Nietköpfen Quelle 2 Anrisskontrolle an falsch gesetzten Bohrungen, die nachträglich mit heißem Material verfüllt wurden Quelle 2 Qualitätskontrolle für die Ausführung von „Stop-holes“, Bohrlöchern zum Stoppen von Ermüdungsrisswachstum Quelle 2</p>
<p>Alle Bauseitigen Zeilen gemäß Feld für das Verfahren Magnetpulverprüfung:</p>	<p>Oberfläche frei von Rost, Zunder, Fetten und Ölen Quelle 1 Oberfläche frei von Rost, Zunder, Fetten und Ölen Quelle DIN EN ISO 9934-1 Oberfläche durch Bürsten oder vorsichtiges Schleifen von Farb- und Korrosionsschutzschichten befreien Quelle 2 Entfernung von Farbanstrichen und Zinkbeschichtungen mit Dicken > 50 µm; Beschichtungsstärken bei Brücken liegen i.d.R. > 320 µm Quelle 7 Abschattung des zu untersuchenden Bereichs Quelle 2 Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Prüfung mit Magnetpulver Quelle 1 Betrachtungsbedingungen für die nichtfluoreszierende Magnetpulverprüfung [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Hellbereich): Quelle gleichmäßige Beleuchtung der Prüffläche, Vermeiden von Blendwirkungen und Reflexionen Quelle Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Prüfung Quelle Betrachtungsbedingungen für fluoreszierende Verfahren [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Dunkelbereich; ggf. Einhausung) : Quelle gleichmäßige Bestrahlung (UV-A-Strahlung) der Prüffläche Quelle Umgebungslicht < 20 lx bei der Prüfung Quelle Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung Quelle</p>

Abbildung 16: Abfrage 2

8.4.2.3 SQL-Abfrage 3

Es sollen die Zeilen Messgeräte aller Datenblätter durchsucht werden, in denen die Magnetpulver-Suspension erwähnt wird (vgl. Abbildung 17).

SQL-Code Alle Messgeräte:

```
SELECT verfahren.Name, zeilentyp.Inhalt, zeile.Inhalt as zeileInhalt FROM verfahren INNER JOIN (zeilentyp INNER JOIN zeile ON zeilentyp.idZeilentyp = zeile.Zeilentyp_idZeilentyp) ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren WHERE (((zeilentyp.Inhalt)='Messgeräte'));
```

SQL-Code nur die Messgerätezeilen mit Magnetpulver-Suspension:

```
SELECT verfahren.Name, zeilentyp.Inhalt, zeile.Inhalt as zeileInhalt FROM verfahren INNER JOIN (zeilentyp INNER JOIN zeile ON zeilentyp.idZeilentyp = zeile.Zeilentyp_idZeilentyp) ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren WHERE (((zeilentyp.Inhalt)='Messgeräte') AND ((zeile.Inhalt)='Magnetpulver-Suspension'));
```

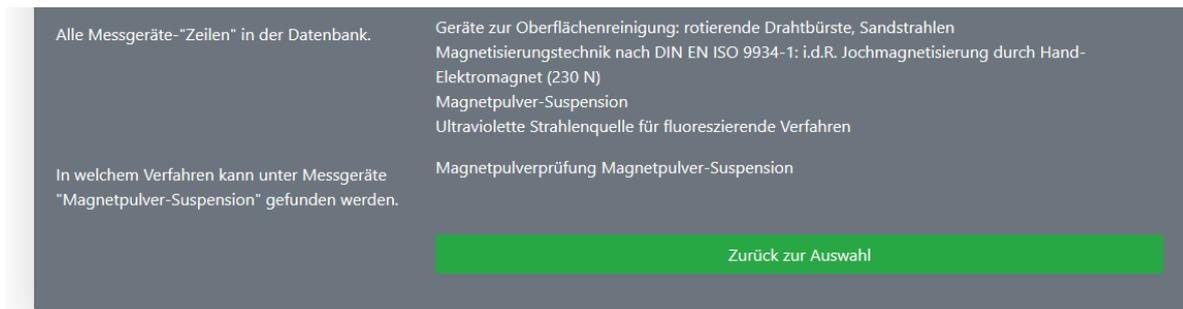


Abbildung 17: Abfrage 3

8.4.2.4 SQL-Abfrage 4

Es sollen alle benutzen Quellen in einem Verfahren angezeigt werden, da im System nur das Datenblatt der Magnetpulverprüfung hinterlegt wurden, sind hier die Ergebnisse trotz unterschiedlicher Abfrage gleich (vgl. Abbildung 18).

SQL-Code Alle Quellen:

```
SELECT DISTINCT quelle.Inhalt, quelle.Ziffer, verfahren.Name FROM ((verfahren INNER JOIN zeile ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren) INNER JOIN quelle_has_zeile ON zeile.idZeile = quelle_has_zeile.Zeile_idZeile) INNER JOIN quelle ON quelle_has_zeile.Quelle_idQuelle = quelle.id-Quelle WHERE (((quelle.Inhalt) Is Not Null));
```

SQL-Code Alle Quellen Magnetpulverprüfung:

```
SELECT DISTINCT quelle.Inhalt, quelle.Ziffer, verfahren.Name FROM ((verfahren INNER JOIN zeile ON verfahren.idVerfahren = zeile.Verfahren_idVerfahren) INNER JOIN quelle_has_zeile ON zeile.idZeile = quelle_has_zeile.Zeile_idZeile) INNER JOIN quelle ON quelle_has_zeile.Quelle_idQuelle = quelle.id-Quelle WHERE (((quelle.Inhalt) Is Not Null) AND ((verfahren.Name)='Magnetpulverprüfung'));
```



Abbildung 18: Abfrage 4

8.4.3 Testdateneintrag anhand des Datenblatts „Magnetpulverprüfung“

Für die prototypische Anwendung wurde das erarbeitete Datenblatt der Magnetpulverprüfung komplett in der Datenbank über das Datenbankmanagementtool PHPmyadmin abgebildet. Um prototypisch einen möglichen durch einen Eingabeassistenten unterstützten Eintrag für einen User abzubilden wurden dazu entsprechend eine Weboberfläche entwickelt. Ziel war es die Zuordnung von Verfahren zu den entsprechenden Zeilentypen (Feldtypen) und Zeilen darzustellen und deren Funktionsweise zu belegen.

Durch die Auswahl des letzten Menüpunktes in Abbildung 9 wird der Eingabeassistent gestartet.

Man wird als erstes dazu aufgefordert ein bestehendes Los auszuwählen oder ein neues anzulegen (vgl. Abbildung 14)

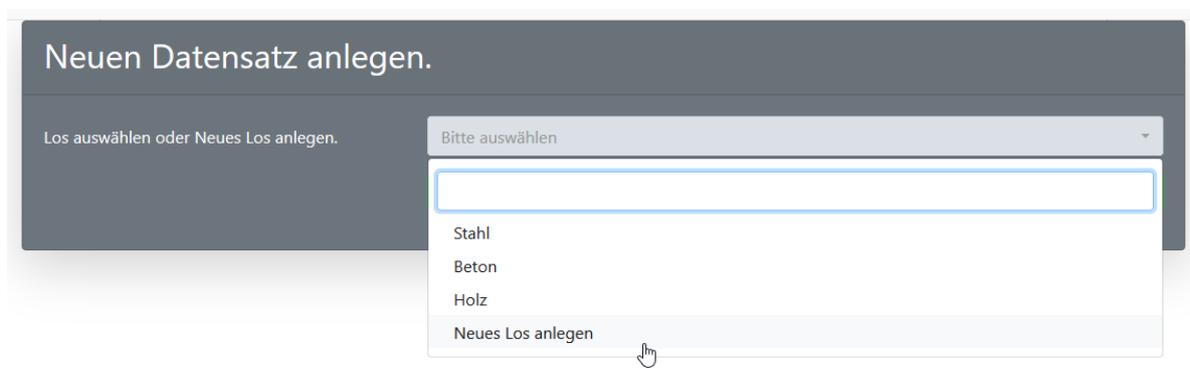


Abbildung 19: Losauswahl oder neues Los hinzufügen

In Abbildung 20 wird der Eingabemechanismus aufgezeigt und nach der Bestätigung „Anlegen“ in Abbildung 21 im Auswahlmechanismus angezeigt. Durch die Auswahl kann im nächsten Fenster eine bestehende physikalische Grundlage verwendet oder eine neue hinzugefügt werden (vgl. Abbildung 22).

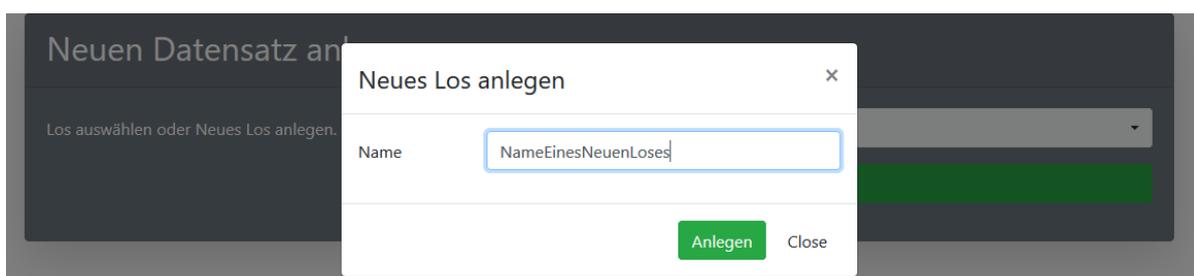


Abbildung: 20 Neues Los anlegen

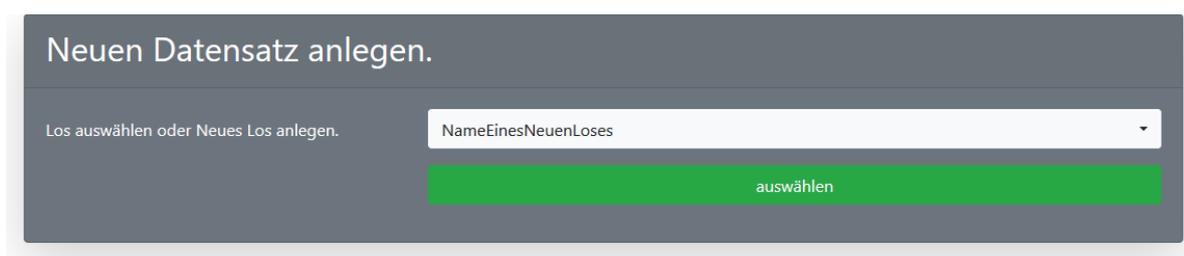


Abbildung 21: Neues Los eingefügt

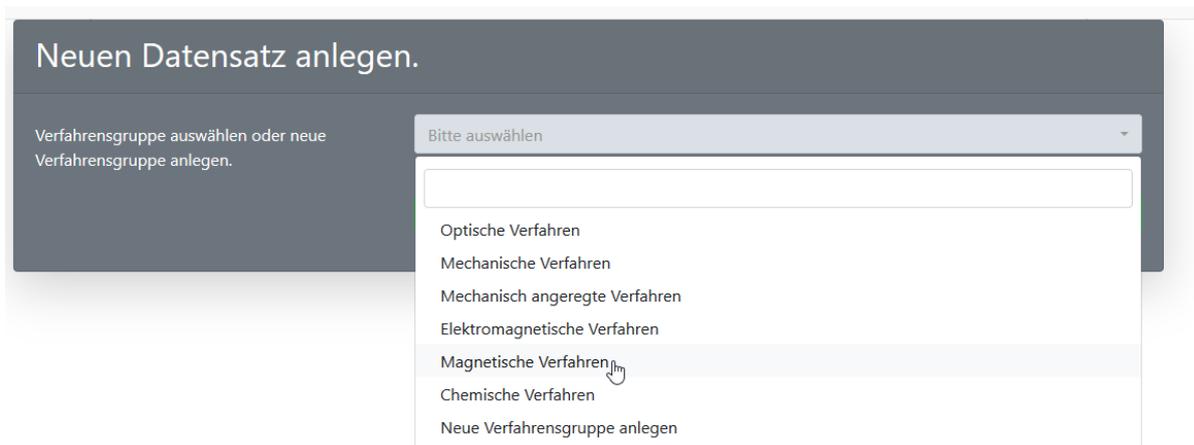


Abbildung 22: Auswahl bestehende Verfahrensgruppe oder Hinzufügen neue Verfahrensgruppe

Abbildung 23 zeigt die Auswahl eines Verfahrens. Auch an dieser Stelle kann ein neues in die Datenbank eingefügt werden.

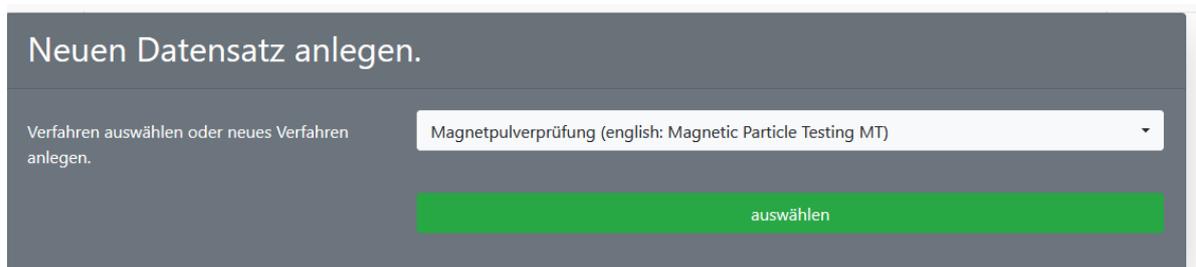


Abbildung 23: Verfahrenswahl

In Abbildung 24 wird die Zeilentypbestimmung zum Beispiel „Bauseitige Voraussetzungen“ dargestellt.

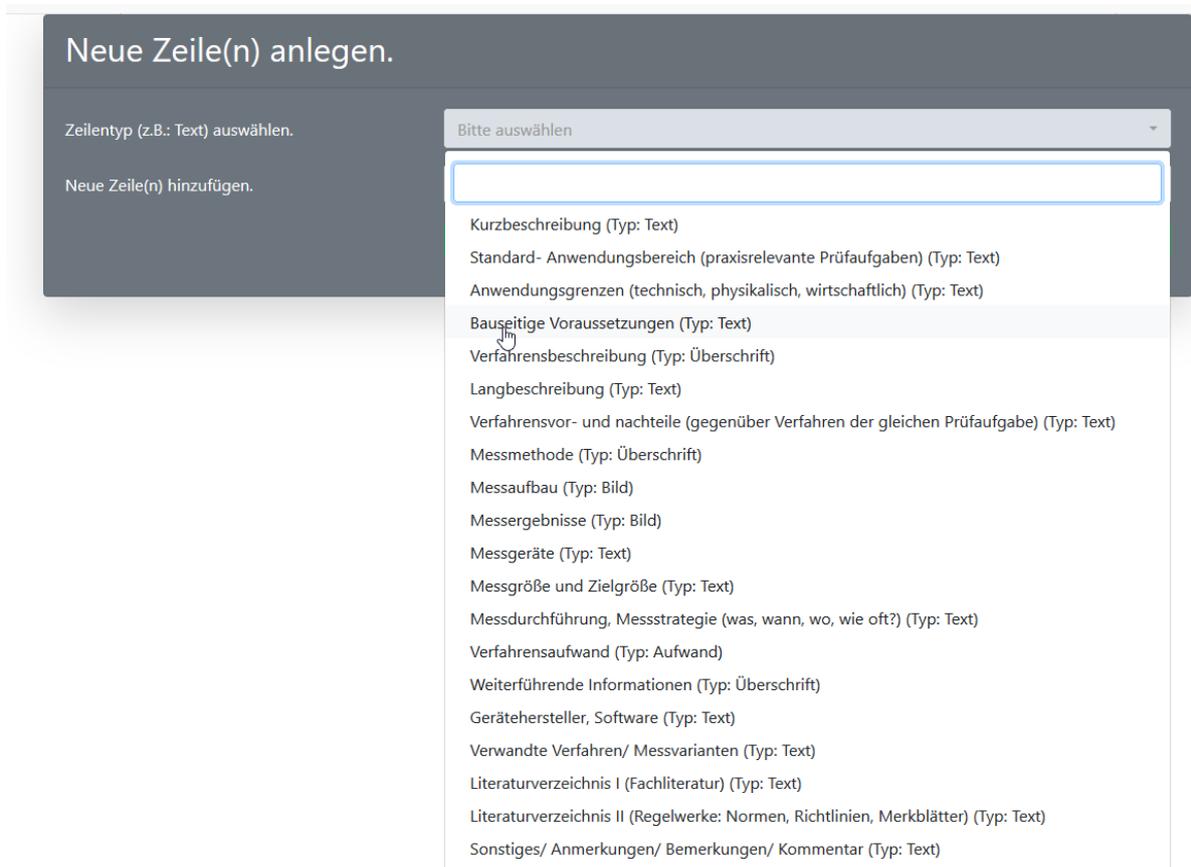


Abbildung 24: Zeilentyp auswählen

Die Abbildung 25 ermöglicht eine Sicht auf die Eingabe eines neuen Zeileninhaltes, über die Reihenfolge und übergeordnete Zeile lässt sich eine gewünschte Einrückung automatisiert realisieren.

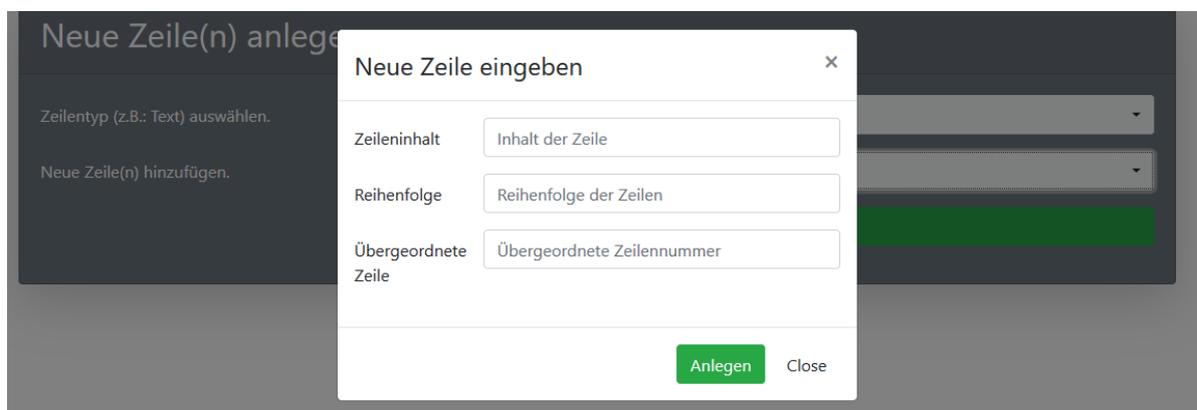


Abbildung 25: Eingabe von neuem Zeileninhalt

In Abbildung 26 werden sämtliche Zeilen eines gewählten Verfahrens (hier: Magnetpulverprüfung) und eines bestimmten Feldtyps des Datenblattes (hier: Bauseitige Voraussetzungen). Die Einrückung ist über die Zeichenfolge < - - - > dargestellt.

Es werden Verfahren

Die gewählten Zeilen Einrückung wenn übergeordnete Zeile vorhanden:

- Oberfläche frei von Rost, Zunder, Fetten und Ölen (Reihenfolge: 1) (Parent:)
- Oberfläche durch Bürsten oder vorsichtiges Schleifen von Farb- und Korrosionsschutzschichten befreien (Reihenfolge: 2) (Parent:)
- Entfernung von Farbanstrichen und Zinkbeschichtungen mit Dicken > 50 µm; Beschichtungsstärken bei Brücken liegen i.d.R. > 320 µm (Reihenfolge: 3) (Parent:)
- Abschattung des zu untersuchenden Bereichs (Reihenfolge: 4) (Parent:)
- Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Püfung mit Magnetpulver (Reihenfolge: 5) (Parent:)
- Betrachtungsbedingungen für die nichtfluoreszierende Magnetpulverprüfung [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Hellbereich): (Reihenfolge: 6) (Parent:)
- < - - - > gleichmäßige Beleuchtung der Prüffläche, Vermeiden von Blendwirkungen und Reflexionen (Reihenfolge: 7) (Parent: 6)
- < - - - > Beleuchtungsstärke > 500 lx bei der Püfung (Reihenfolge: 8) (Parent: 6)
- Betrachtungsbedingungen für fluoreszierende Verfahren [DIN EN ISO 3059] (bei Anwendung im Dunkelbereich; ggf. Einhausung) : (Reihenfolge: 9) (Parent:)
- < - - - > gleichmäßige Bestrahlung (UV-A-Strahlung) der Prüffläche (Reihenfolge: 10) (Parent: 9)
- < - - - > Umgebungslicht < 20 lx bei der Prüfung (Reihenfolge: 11) (Parent: 9)
- < - - - > Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung (Reihenfolge: 12) (Parent: 9)

Zurück zur Auswahl

Abbildung 26: Ausgabe der Zeilen aus dem Verfahren Magnetpulverprüfung und dem Datenblattfeld Bauseitige Voraussetzungen

9 Hinweise zur zukünftigen Nutzung

Mit dem neuen ZfP-Katalog steht für mögliche Prüfaufgaben des Bauwesens eine Auswahlgrundlage für die Baustoffe Stahl sowie Beton und Mauerwerk⁴ zur Verfügung. Dabei ist zu beachten, dass die ZfPBau-Verfahren primär für den Einsatz an Beton als etabliert anzusehen sind. Für Mauerwerk gibt es aufgrund der stark heterogenen Struktur des Baustoffs weit weniger etablierte Standardanwendungen als für Beton, auch wenn 14 Verfahren angegeben werden. Die für Mauerwerk in Frage kommenden Verfahren müssen daher im Einzelfall auf die Eignung an dem konkreten Objekt und für die konkrete Prüfaufgabe geprüft werden.

Bei möglichen Prüfaufgaben an Stahl ist zu beachten, dass der ZfP-Katalog kein Ersatz für die zfp- und bauprodukt-spezifischen Normen sowie für die Ausbildung inkl. der Lehrgangsunterlagen in der ZfP metallischer Komponenten/Werkstoffe darstellt; deren Umfang weitaus größer ist als hier angegeben. Die erarbeiteten Verfahrensdatenblätter konzentrieren sich auf mögliche Prüfaufgaben an Stahlbauteilen im Bauwesen. Deshalb wurde beispielsweise auf bestimmte Prüftechniken, die primär in den Bereichen Eisenbahnwesen, Luftfahrt und Automotive angewendet werden, nicht eingegangen. Auch ist zu beachten, dass die praktisch relevanten ZfP-Verfahren im Bereich Stahl eine Qualifizierung und Zertifizierung von Prüfpersonal nach ISO 9712 erfordern. Daher dienen die für den Werkstoff Stahl absichtlich kurz gehaltenen Verfahrensdatenblätter primär den Akteuren aus dem Bauwesen, um geeignete Verfahren zu identifizieren und die zerstörungsfreien Prüfungen von entsprechend zertifiziertem Personal durchführen zu lassen.

⁴ Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung 7 (2021); <https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/>

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entity Relationship Model ZfP-Katalog	25
Abbildung 2: Zuordnung ERM zu Datenblatt "Magnetpulverprüfung" Teil 1.....	27
Abbildung 3: Zuordnung ERM zu Datenblatt "Magnetpulverprüfung" Teil 2.....	27
Abbildung 4: Zuordnung ERM zu Datenblatt "Magnetpulverprüfung" Teil 3.....	28
Abbildung 5: Ablaufplan	33
Abbildung 6: Relationsmodell(.....	36
Abbildung 7: Exemplarischer SQLCode zum Erzeugen der ZfP-Datenbank und Tabellen.....	38
Abbildung 8: Beispielhafter Disclaimer zum Anwendungsstart.....	39
Abbildung 9: Auswahl der nächsten Funktionen gemäß prototypischer Anforderungen.....	39
Abbildung 10: Losauswahl gefiltert nach Stahl.....	40
Abbildung 11: Los Stahl ausgewählt.....	40
Abbildung 12: Die dem Los Stahl zugeordneten Verfahren, gegliedert nach physikalischer Grundlage.....	40
Abbildung:13: Anzeige der Prüfaufgaben, die dem Verfahren Magnetpulverprüfung zugeordnet sind.....	41
Abbildung 14: Anwendung liefert das ausgewählte Verfahren und Prüfaufgabe zurück.....	41
Abbildung 15: Ergebnis Abfrage 1.....	42
Abbildung 16: Abfrage 2	43
Abbildung 17: Abfrage 3	44
Abbildung 18: Abfrage 4	44
Abbildung 19: Losauswahl oder neues Los hinzufügen	45
Abbildung: 20 Neues Los anlegen	45
Abbildung 21: Neues Los eingefügt.....	45
Abbildung 22: Auswahl bestehende Verfahrensgruppe oder Hinzufügen neue Verfahrensgruppe..	46
Abbildung 23: Verfahrenswahl.....	46
Abbildung 24: Zeilentyp auswählen.....	47
Abbildung 25: Eingabe von neuem Zeileninhalt	47
Abbildung 26: Ausgabe der Zeilen aus dem Verfahren Magnetpulverprüfung und dem Datenblatfeld Bauseitige Voraussetzungen	48

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgehensweise in Los 1 (Stahl)	11
Tabelle 2: Heft 574 DAfStb	13
Tabelle 3: Strukturierung praxisrelevanter Prüfaufgaben Stahl.....	21
Tabelle 4: Matrix Prüfaufgabe/ZfP-Verfahren Stahl	22
Tabelle 5: Entitätstyp Los	28
Tabelle 6: Entitätstyp Verfahrensgruppe.....	29
Tabelle 7: Entitätstyp Verfahren	29
Tabelle 8: Entitätstyp Prüfaufgabe.....	29
Tabelle 9: Entitätstyp Prüftyp.....	29
Tabelle 10: Entitätstyp Prüfkategorie.....	30
Tabelle 11: Entitätstyp Bewertungskala	30
Tabelle 12: Entitätstyp Aufwand	31
Tabelle 13: Entitätstyp Zeilentyp.....	31
Tabelle 14: Entitätstyp Zeilentyp.....	31
Tabelle 15: Entitätstyp Quelle.....	32
Tabelle 16: Relation Verfahren.....	37

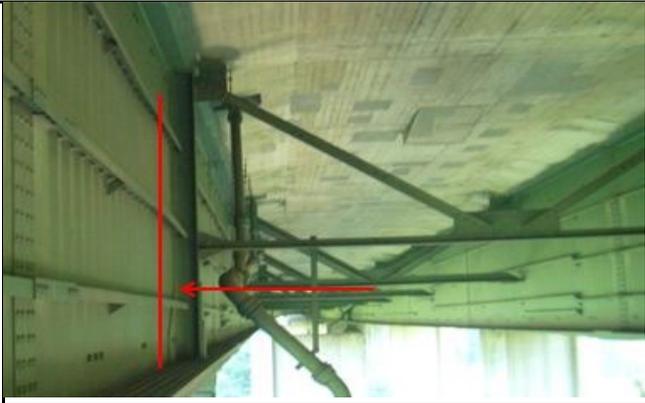
12 Quellenverzeichnis

- [1] **Krause M., Wiggenhauser, H. und G. Schickert:** ZfPBau-Datenbank für Ingenieurbauwerke. In: DGZfP (Hrsg.); Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Berlin 27.02.-01.03.1991, Berlin (1991), S. 293-301
- [2] **Schickert, G., Krause, M. und H. Wiggenhauser:** ZfPBau-Kompendium, Internetpräsenz: <http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm> (Letzte Überarbeitung 2004)
- [3] **Schickert, G.:** Systematik der ZfPBau-Verfahren. In: DGZfP (Hrsg.); Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Berlin 27.02.-01.03.1991, Berlin (1991), S. 1-16
- [4] **Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb):** Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung (Dissertation), Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth Verlag Berlin, Heft 574
- [5] **Helmerich, R., Bien, J. and P. Cruz:** A Guideline for Inspection and Condition Assessment including the NDT toolbox, Proceedings of Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and longer lives. Wrocław, 2007, pp. 93-104
- [6] **Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein;** DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, Eigenverlag, Berlin 2014
- [7] **Hillemeier, B. und A. Taffe:** Aktuelle Regelwerke der Bauwerksdiagnostik. In: Fouad, N. A. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2012; Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Kapitel A3, S. 57-101

Anhänge

13.1	Sichtprüfung	55
13.2	Endoskopie: Boreskope	59
13.3	Endoskopie: Fiberskope	63
13.4	Endoskopie: Videoskope	67
13.5	Abreißversuch	71
13.6	Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung	75
13.7	Keilschnitt	79
13.8	Eindringprüfung PT	83
13.9	Mobile Härteprüfung HT Rückprallverfahren nach Leeb	87
13.10	Mobile Härteprüfung HT nach dem UCI-Verfahren	91
13.11	Mobile Härteprüfung HT nach dem TIV-Verfahren	95
13.12	Mobile Härteprüfung HT nach dem Rockwell-Prinzip	99
13.13	Klopfprobe	103
13.14	Schallemissionsprüfung AT	106
13.15	Ultraschallprüfung UT	110
13.16	Magnetfeldänderung (Schichtdickenbestimmung)	115
13.17	Magnetpulverprüfung MT	119
13.18	Wirbelstromprüfung ET	123
13.19	Infrarotthermographieprüfung TT	127
13.20	Durchstrahlungsprüfung RT	131
13.21	Optische Emissionsspektroskopie OES	136
13.22	Röntgenfluoreszenzanalyse RFA	139

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 Übersichtsprüfung nach DIN EN 13018) - ausreichende Lichtverhältnisse (ggf. Hinzunahme von Beleuchtungsquellen mit mindestens 160 lx bei der Übersichtsprüfung und mit mindestens 500 lx bei der lokalen Sichtprüfung nach DIN EN 13018) - Vorbereiten der Oberfläche: ggf. Reinigung der Oberfläche für geringen Verschmutzungsgrad der Oberfläche			
Verfahrensbeschreibung			
Langbeschreibung 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
Gerätehersteller, Software -
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Endoskopische Verfahren: - Boreskope (starre Endoskope) - Fiberskope (flexible Endoskope) - Videoskope (flexible Video-Endoskope) - Oberflächenprüfverfahren: <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
<p>Verfahren</p> <p style="text-align: center;">Endoskopie: Fiberskope (flexible Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Fiberscope Inspection</p>	<p>Prüfaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen
<p>Kurzbeschreibung</p> <p>Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein Bündel von Glasfasern. [Indirekte Sichtprüfung]</p>	
<p>Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfaufgaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) - Untersuchung von Spanngliedern in Bezug auf Verpresszustand und Spannschlösser (i.d.R. über Bohrloch) - Überprüfung von Korrosionszuständen/ Lochfraßkorrosion (gezielt über Bohrlöcher) 	
<p>Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - 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 	
<p>Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfaufgaben)</p> <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 	
<p>Bauseitige Voraussetzungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25 mm als Zugang zum Hohlraum 	
<p>Verfahrensbeschreibung</p>	
<p>Langbeschreibung</p> <p>Das Fiberskop, auch Glasfaser-Endoskop genannt, besteht aus einem Bildleitsystem aus geordneten Glasfasern und einem Lichtleitsystem. Über die flexiblen Glasfasern wird das Bild vom Objektiv zum Okular übertragen. Je mehr Glasfasern vorhanden sind, desto besser ist die Bildauflösung. Das Glasfaserbündel wird auch Bildleitbündel genannt. Die Beleuchtung erfolgt über ein Lichtleiterbündel.</p> <p>Die Interpretation der kreisförmigen Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken, die ungewöhnliche Perspektive und die begrenzte Bildauflösung (Pixelanzahl) erschwert und erfordert Erfahrung bei der Deutung der Bilder. 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>	
<p>Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe)</p> <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
<p>Verfahren</p> <p style="text-align: center;">Endoskopie: Videoskope (flexible Video-Endoskope)</p> <p>engl.: Endoscopy: Videoscope Inspection</p>	
<p>Prüfungsaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächen-Inhomogenitäten: Oberflächenrisse - Korrosion - Ausbeulungen/ Verformungen 	
<p>Kurzbeschreibung</p> <p>Zerstörungsfreie Prüfung einer nicht zugänglichen Oberfläche oder eines Hohlraums über eine Öffnung zur Erkundung der inneren Struktur des zu prüfenden Bauteils mittels Bildübertragung über ein elektrisches Kabel mit CCD-Bildwandlerchip für Videoaufnahmen und einem Lichtleiter zur Beleuchtung. [Indirekte Sichtprüfung]</p>	
<p>Standard- Anwendungsbereich (praxisrelevante Prüfungsaufgaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visuelle Inspektion/ Erkundung nicht direkt zugänglicher Bauteilflächen wie Brückenlager - lokaler Einblick in regelmäßige Hohlräume und Spalten - Untersuchung der Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren (i.d.R. über Bohrloch) - Untersuchung von Spanngliedern in Bezug auf Verpresszustand und Spannschlösser (i.d.R. über Bohrloch) - Überprüfung von Korrosionszuständen/ Lochfraßkorrosion (gezielt über Bohrlöcher) 	
<p>Anwendungsgrenzen (technisch, physikalisch, wirtschaftlich)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zugänglichkeit bzw. Vorhandensein von Öffnungen - Feuchtigkeit (durch Schäden oder Nassbohren) sowie Bohrstaub (durch Trockenbohren) 	
<p>Sonder- Anwendungsmöglichkeiten (zusätzliche Prüfungsaufgaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> - "Einfrieren" von Bildern - Vermessung von Fehlstellen - Verifizierung von Verdachtsstellen eines Spannstahlbruchs (ggf. unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Abschaltautomatik) 	
<p>Bauseitige Voraussetzungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Öffnungen und Hohlräumen oder - Herstellen eines Bohrlochs mit Durchmesser von ca. 10 bis 25 mm als Zugang zum Hohlraum 	
<p>Verfahrensbeschreibung</p>	
<p>Langbeschreibung</p> <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>	
<p>Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfungsaufgabe)</p> <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> <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: Messplan, Inspektionsflächen, Mindestanzahl an Prüfung in Abhängigkeit der Größe der Inspektionsfläche - Festlegung des durchzuführenden Verfahrens: Gitterschnittprüfung oder Kreuzschnittprüfung 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 16276-2: Gitter- und Kreuzschnittprüfung <ul style="list-style-type: none"> - Messung und Aufzeichnung folgender Bedingungen während der Prüfung: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Oberflächentemperatur des beschichteten Bauwerks 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 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 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 16276-2, 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

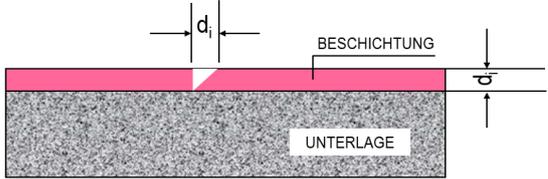
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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/anbohrbare) 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</p> <p>Keilschnittgerät auf Stahlplatte</p> <p>J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse</p> <p>Messung Schichtdicke mit Keilschnittgerät</p> <p>Haasis, haasis construction</p> <p>SCHNITT (MÖGLICHST) UNTER 45° GEFÜHRT</p> <p>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 - Messmikroskop (mit Beleuchtungseinrichtung, mindestens 40-facher Vergrößerung, einem Messbereich von mindestens 2 mm und einer Skalenteilung von höchstens 0,02 mm); <p><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]; $t_d = l * \tan \alpha$ <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> <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 (Hersteller, Material, Krümmung, etc.) - 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: 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] <p>3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach DIN EN ISO 19399: Keilschnitt-Prüfung</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>			
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> <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]
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"> 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
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>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/Eindringprüfung]
<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

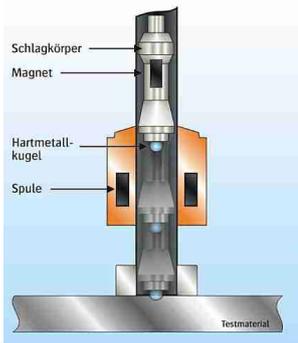
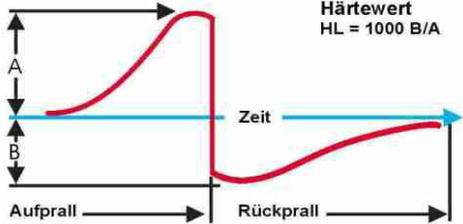
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 <p style="text-align: center;">Mobile Härteprüfung mit Rückprallverfahren nach Leeb</p> 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

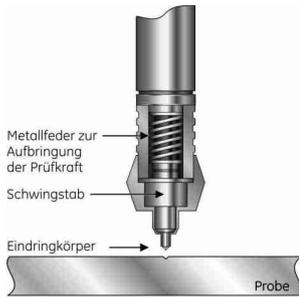
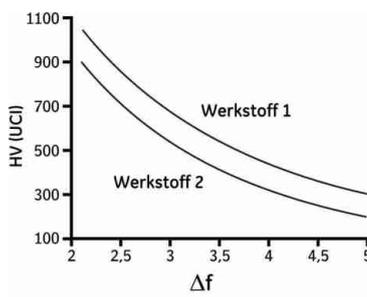
Anmerkung zur Bezeichnung Zerstörungsfreie Prüfung aus der DGZfP Richtlinie MC 1

"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
Gerätehersteller, Software - Proceq AG: Equotip 550 UCI - GE Inspection Technologies: Microdur MIC 10
Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1] <u>Dynamische Prüfung</u> a) Parallel zur Oberfläche: - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: - 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) <u>Statische Prüfung</u> a) Frequenzverschiebung: - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: - 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 - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
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. Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10) - 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] Merkblätter DGZfP - 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> <p>engl.: Through Indenter Viewing Hardness Testing TIV</p>		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 Prüfdruck 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

Messaufbau
 Härteprüfung nach dem Vickers-Verfahren und schematischer Aufbau einer TIV-Sonde
 [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 8.]

Messergebnisse
 TIV – Härteeindruck mit Messergebnis
 [DGZfP - MC 01, 2008-04: Richtlinie für Kriterien zur Auswahl von Härteprüfverfahren mit mobilen Geräten, Bild 9.]

x	278 HV
s	276 HV
n	4/10
Län.	182.1 µm
Län.	184.4 µm
Tiefe	28.1 µm
Handauswertung	
Bild speichern	

Kurve Histogramm Statistik TIV Live Neu

Messgeräte
 TIV-Härteprüfgerät bestehend aus [DGZfP MC 1]:

- Sonde (Höhe ca. 215mm) mit Vickersdiamanten, optischem System, CCD-Kamera und Mechanik/ Elektronik zum Aufbringen der Prüfkraft
- elektronische Mess- und Anzeigeeinheit

Messgröße und Zielgröße

- 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

- 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: Einhaltung von Mindestabständen nebeneinanderliegender Prüfeindrücke nach DIN EN ISO 6507-1
 - Angaben zum Prüfgerät
 - 3. Durchführung der Prüfung** (unter Berücksichtigung von 2.)
 - ggf. Korrektur der Härtewerte
 - 4. Auswertung**
 - Bestimmung der Härte nach TIV: Automatische Auswertung nach DIN EN ISO 6507-4: Tabellen zur Bestimmung der Härtewerte
 - 5. Dokumentation**
 - 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> <p>- GE Inspection Technologies: TIV</p>
<p>Verwandte Verfahren/ Messvarianten</p> <p>Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1]</p> <p><u>Dynamische Prüfung</u></p> <p>a) Parallel zur Oberfläche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ritzen <p>b) Senkrecht zur Oberfläche:</p> <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> <p>a) Frequenzverschiebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] <p>b) Elektrischer Widerstand:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] <p>c) Eindringtiefe:</p> <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] <p>d) Laterale Lage</p> <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> engl.: Portable Rockwell Hardness Testing		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
Gerätehersteller, Software - Proceq AG: Equotip 550 Portable Rockwell - Cisam-Ernst: Dynatest
Verwandte Verfahren/ Messvarianten // Verfahren mit derselben Prüfaufgabe Mobile Härteprüfung (mit Eindringkörper) [DGZfP MC 1] <u>Dynamische Prüfung</u> a) Parallel zur Oberfläche: - Ritzen b) Senkrecht zur Oberfläche: - 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) <u>Statische Prüfung</u> a) Frequenzverschiebung: - UCI-Verfahren [z.B. Microdur MIC 10 von GE Inspection] b) Elektrischer Widerstand: - Kraft-Widerstands-Messung [z.B. Esatest von Cisam-Ernst] c) Eindringtiefe: - 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 - TIV-Verfahren (Längenmessung unter Last) [z.B. TIV von GE Inspection] - Prüfzwingen (Längenmessung nach Entlastung)
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. Mechanische Prüfung von Metallen (77.040.10) - 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]
Merkblätter DGZfP - 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

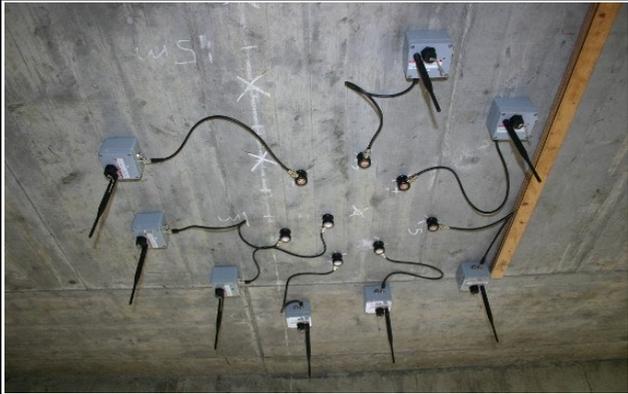
"Tragbare Härteprüfgeräte erlauben die Härteprüfungen an Proben, die zu groß oder zu schwer sind, um sie auf ortsfesten Härteprüfmaschinen zu prüfen. Da die klassischen Härteprüfverfahren wie Rockwell, Vickers, Brinell u. a. in tragbaren Geräten nicht oder nur schwer realisierbar sind, haben verschiedene 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 Ablopfen 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 1/5	Zeit 1/5	Kosten 1/5	Fachwissen 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			
Messaufbau Drahtlose SEA-Messungen an FMPA Rampe C. Grosse, TU München			
Messgeräte Prüfzubehör nach [DIN EN 13554, 1]: - 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>			
Messgröße und Zielgröße [DIN EN 13554, 1]: - 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>			
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 - Durchführung einer umfassenden Sichtprüfung - Festlegung der Prüfbereiche und einer Prüfsystematik: Erstellen einer Prüfanweisung - Prüfung von Hintergrundgeräuschen - Vorbereitung der Prüffläche: Oberflächenvorbereitung 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.): Schallemissionsprüfung nach DIN EN 13554 - 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 4. Auswertung und Dokumentation - 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>]

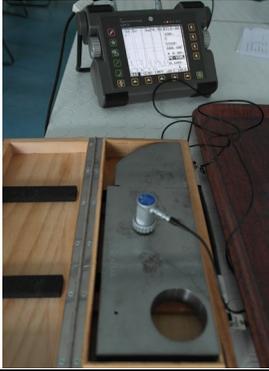
- EWGAE (European Working Group on Acoustic Emission): European Conference on Acoustic Emission

[<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: Einstellungsjustierung, 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

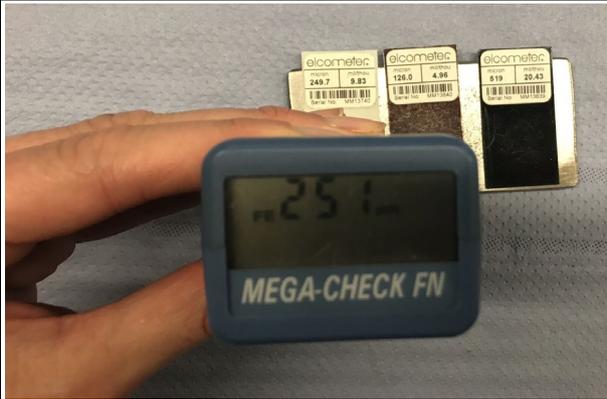
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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, Abhebeeffect (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			
Messaufbau Schichtdickenmessgerät auf Kalibrierfolien J. Wiese, HTW Berlin			
Messgeräte [ISO 2178, ISO 2808]: - 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) Kalibrierfolien Schichtdickenstandards Nullplatten			
Messgröße und Zielgröße [ISO 2178, ISO 2808]: - 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)			
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 - Festlegung des durchzuführenden Verfahrens 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) nach [ISO 2178] - Kalibrierung - Regelmäßige Kontrolle der Prüfkopfspitze auf Sauberkeit, um Abhebeeffekt zu verhindern 4. Auswertung und Dokumentation - 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]
<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"> <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
<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>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

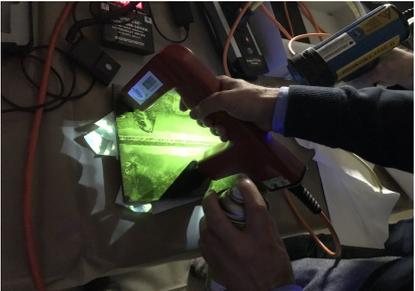
- RI-ERH-KOR. Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): RI-ERH-ING. Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, S. 1-38.

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 Oberflächenrisse [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 Magnetpulverprüfung an Stahlplatte J. Wiese, HTW Berlin</p> 		<p>Messergebnisse Magnetpulverprüfung an Stahlplatte: Anzeige 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> <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 [7] <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 3. Durchführung der Prüfung (unter Berücksichtigung von 2.) <ul style="list-style-type: none"> - Lokale Aufmagnetisierung und Aufbringen des Prüfmittels - Anzeigenbeurteilung: Nachweis der Magnetpulveranzeige durch visuelles Absuchen der Oberfläche - Entmagnetisierung 4. Auswertung und Dokumentation [7] <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 5. Weiteres [7] <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 3/5	Zeit 4/5	Kosten 3/5	Fachwissen 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> <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] 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 <h2 style="text-align: center;">Wirbelstromprüfung</h2> <p>engl.: Eddy Current Testing ET</p>		Prüfaufgabe - 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) - 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) - 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] - Ristiefenbewertung 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) - 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] "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]			
Bauseitige Voraussetzungen - 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 elektrische 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 Vergleichsverfahren . [7]			
Verfahrensvor- und nachteile (gegenüber Verfahren der gleichen Prüfaufgabe) + 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 <h2 style="text-align: center;">Infrarotthermographieprüfung</h2> <p>engl.: Infrared Thermographic Testing TT</p>		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			
Messaufbau Aktive Thermografie: Schema © A. Taffe, HTW Berlin [11]		Messergebnisse	
Messgeräte <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) 			
Messgröße und Zielgröße <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 			
Messdurchführung, Messstrategie (was, wann, wo, wie oft?) <ol style="list-style-type: none"> 1. Informationen zur Prüfaufgabe <ul style="list-style-type: none"> - Definition der Prüfaufgabe und Ziel der Prüfung - Sichtung von Prüfvorschriften-/ empfehlungen (Normen, Richtlinien, Merkblätter) - Angaben zum Prüfgegenstand (Umgebungsbedingungen, Anwendungsgrenzen, bauseitige Voraussetzungen) - Beschaffung der Informationen ggf. durch Sichtung von Alt- und Bestandsunterlagen 2. Prüfplanung <ul style="list-style-type: none"> - 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			
Messaufbau Radiographie: Prinzipskizze © A. Taffe, HTW Berlin [6]			
Messgeräte - Strahlenquelle: - 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]			
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, Rissbreite 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 [3] - 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 Bildgütestests 4. Auswertung und Dokumentation [3] - 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 5 Weiteres			
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			
Messaufbau Laborgerät ICP-OES T. Schwarze, HTW Berlin/ KIWA Berlin			
			
Messeinrichtung (Messgeräte und Prüfmittel) -Stromanschluss für Laborgeräte - präparierte Probe Emissionsspektrometrie mit Plasmaanregung ICP-OES im Simultanspektrometer [1] - 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			
Messgröße und Zielgröße - 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]			
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 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] - Probenpräparation: Lösen der Probe - Durchführen der Analyse im Laborgerät 4. Dokumentation und Auswertung - Auswerten der Spektren und Bestimmen der Elemente - Dokumentation der Ergebnisse in einem Prüfprotokoll 5. Weiteres - 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 Untersuchungsoberfläche mit portablem 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 portablem 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