

Qualifizierung und Zertifizierung von ZfPBau Prüfpersonal

Sascha FEISTKORN¹, Daniel ALGERNON², Ralf W. ARNDT³, Gino EBELL⁴,
Martin FRIESE⁵, Christian U. GROSSE⁶, Ralf HOLSTEIN¹,
Ernst NIEDERLEITHINGER⁴, Martin SCHICKERT⁷, Sebastian SCHULZE⁸,
Alexander TAFFE⁹, Andrei WALTHER¹⁰, Julia WOLF¹¹, Andreas ZOËGA¹²,
Michael ZWANZIG¹

¹ DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin

² Schweizerischer Verein für Technische Inspektionen (SVTI), Wallisellen, Schweiz

³ FH Erfurt, Erfurt

⁴ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

⁵ Deutsches Zentrum für Schienenforschung (DZSF), Dresden

⁶ Technische Universität München, München

⁷ Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar
(MFPA), Weimar

⁸ hupfer ingenieure Bauwerksuntersuchungen GmbH, Hamburg

⁹ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin

¹⁰ kiwa GmbH, Berlin

¹¹ DB Engineering & Consulting GmbH, Bremen

¹² TFI Aachen GmbH, Aachen

Kontakt E-Mail: fe@dgzfp.de

Kurzfassung. Die zerstörungsfreie Prüfung, insbesondere von Betonbauteilen, nimmt im Bauwesen eine zunehmend wichtige Rolle (ZfPBau) ein. Der Einsatz der unterschiedlichen Prüfverfahren ist unter anderem erforderlich, wenn Informationen über die innere Konstruktion, eine (schadensbedingte) Zustandsbewertung oder Angaben zu Materialeigenschaften benötigt werden.

Zuverlässigkeit sowie Messunsicherheit und damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse hängen neben den spezifischen Randbedingungen, der Prüfausrüstung und der Prüfanweisung wesentlich vom Prüfpersonal ab, welches die Prüftechnik anwendet und die Ergebnisse aus- und bewertet. Um eine hohe Aussagesicherheit bei der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen sicherzustellen und die Unsicherheit durch das Prüfpersonal auf ein Minimum zu reduzieren, ist eine strukturierte und einheitliche theoretische und praktische Schulung des Prüfpersonals unerlässlich.

Um diese Lücke zu schließen, hat der Unterausschuss Ausbildung (UA-A) des Fachausschusses ZfP im Bauwesen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) in den letzten Jahren an der Entwicklung eines einheitlichen Ausbildungsstandards für die ZfPBau gearbeitet.

Gemeinsam mit dem zuständigen Arbeitsausschuss NA 062-08-21 AA des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) wurde die nationale Norm DIN 4871 "Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)" entwickelt und im September 2022 veröffentlicht. Darüber hinaus ist eine weitere Norm DIN 4873 "Zerstörungsfreie Prüfung – Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)" in Vorbereitung.



Im Rahmen dieses Vortrages wird ein Überblick über die Normungsaktivitäten, die Konzepte der beiden Normen und ihre Verbindungen zur ISO 9712 sowie zu anderen Normen vorgestellt. Weiterhin wird ein erster Ausblick auf ein mögliches Schulungsangebot gegeben.

1 Einführung

Die zerstörungsfreie Prüfung von Betonbauteilen nimmt als Instrument für die Zustandserfassung, Schadensbeschreibung oder im Rahmen der Qualitätssicherung eine immer wichtigere Rolle ein. Insbesondere die Inspektion von sicherheitsrelevanten Komponenten wie unter anderem Containment-Strukturen gewinnt durch die Diskussion um die Lebensdauererweiterung und die damit zu beschreibende Alterung an Bedeutung. Zusätzlich sind relevante Infrastrukturbauwerke wie Brücken mit einer erhöhten Verkehrslast konfrontiert, sodass eine Nachrechnung im Bestand erforderlich sein kann. Daher ist die Gewinnung zuverlässiger Informationen von entscheidender Bedeutung, um die Integrität und Sicherheit dieser Bauwerke zu gewährleisten.

Damit die Prüfaussagen so präzise und zuverlässig wie möglich sind, muss die Leistungsfähigkeit des Prüfsystems, welches die Prüftechnik, die Prüfanweisung und das Prüfpersonal umfasst, genau bekannt sein. Aus diesem Grund wurden vor einigen Jahren die erforderlichen Werkzeuge für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit wie der GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [1] oder der POD(a)-Ansatz (Probability of Detection) [2], [3] erfolgreich auf die zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) übertragen [4], [5].

Neben der ausgewählten Prüftechnik und der entwickelten Prüfanweisung hängt die Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse maßgeblich vom Prüfpersonal ab, welches die zerstörungsfreien Prüfverfahren anwendet. Damit die ZfPBau für die Überwachung des Herstellungsprozesses oder für die wiederkehrende Prüfung von Betonbauteilen unverzichtbar wird, ist eine standardisierte Qualifizierung und Zertifizierung des ZfPBau Prüfpersonals erforderlich, um die durch das Personal verursachte Unsicherheit so gering wie möglich zu halten.

Aus diesem Grund wurde der Unterausschuss Ausbildung (UA-A) im DGZfP-Fachausschuss ZfP im Bauwesen im Jahr 2018 reaktiviert. In diesem Unterausschuss (siehe Abbildung 1) haben Expert:innen von Hochschulen, Dienstleistern, Forschungsinstituten und anderen öffentlichen Einrichtungen in den letzten Jahren gemeinsam daran gearbeitet, einen einheitlichen Ausbildungsstandard zu entwickeln, der die Besonderheiten der zerstörungsfreien Betonprüfung erfüllt. Dieser Standard wurde im letzten Jahr mit der DIN 4871 [11] veröffentlicht.



Abb. 1. Organisationen im Unterausschuss Ausbildung

2 Spezifische Anforderungen an die DIN 4871

Eine Besonderheit, die es in der ZfPBau und damit bei der Entwicklung der DIN 4871 zu berücksichtigen galt, ist die Tatsache, dass es sich bei Stahl- oder Spannbetonbauteilen in der Regel um Unikate handelt, so dass die meisten Inspektionsszenarien als Einzelfallprüfung

zu betrachten sind. Zusätzlich muss sich die ZfPBau aufgrund des im Vergleich zu Stahl relativ preisgünstigen Materials Beton in den meisten Fällen mit der zerstörenden Prüfung messen, was dazu führt, dass eine gewisse Kosteneffizienz berücksichtigt werden muss.

Weil deshalb sowohl Schulungszeiten als auch Stufendefinitionen der DIN EN ISO 9712 [6] keine Akzeptanz im Bauwesen finden würden, ist ein anderer Ansatz zu entwickeln, auch unter dem Aspekt, dass in der DIN EN ISO 9712 [6] nicht alle im Bauwesen angewendeten Verfahren geregelt sind. Zudem ist der erforderliche normative Unterbau der zerstörungsfreien Prüfverfahren im Bauwesen nicht vorhanden. Auf der anderen Seite hingegen existieren im Bauwesen diverse Inspektionsstandards wie u.a. die DIN 1076 [8], die VDI-Richtlinie 6200 [9] oder die RI-ZFP-TU [10], die insofern zu berücksichtigen sind, als dass eine Parallelnormung mit diesen existierenden Regelwerken genau wie eine Doppelnormung von Verfahren (wie z.B. VT - Visuelle Prüfung, RT - Radiografische Prüfung oder TT - Thermografie) zu vermeiden ist.

Daher verfolgte der UA-A das Ziel, eine Norm zu entwickeln, welche diese spezifischen Besonderheiten des Bauwesens berücksichtigt. Trotzdem sollten jedoch die bestehenden Ansätze der DIN EN ISO 9712 [6] und der DIN CEN ISO/TS 25107 [7] - u. a. die Definition von Verantwortlichkeiten, ein nach Tätigkeiten und Verantwortlichkeiten gegliedertes Stufensystem, erforderliche Schulungszeiten oder eine einheitliche Struktur der Schulungsinhalte usw. - berücksichtigt werden.

Das auf diesen Gegebenheiten entwickelte Konzept wurde 2019 im zuständigen Arbeitsausschuss NA 062-08-21 AA des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) vorgestellt. Nach intensiver Diskussion und interner Abstimmung wurde Mitte 2020 das Normungsprojekt „DIN 4871“ eingerichtet, an dem die kommenden Monate konzentriert gearbeitet wurde. Neben der hohen Motivation und Identifikation mit diesem Thema im UA- A kann auch die Corona-Pandemie als ein Treiber der Norm betrachtet werden. In den folgenden Monaten fanden mehr als 20 Online-Sitzungen statt, in denen das Regelwerk entwickelt wurde. Im Rahmen des regulären Veröffentlichungsprozesses zur Erarbeitung einer DIN-Norm und der dazugehörigen Beratung im zuständigen Arbeitsgremium wurde im September 2021 der Entwurf der DIN 4871 veröffentlicht. In der zweimonatigen Einspruchsphase gingen zahlreiche Kommentare und Stellungnahmen ein, die anschließend diskutiert und teilweise übernommen wurden. Nach weiterer Überarbeitung wurde im Mai 2022 erfolgreich über das Regelwerk abgestimmt. Das Normungsprojekt „DIN 4871: Qualifizierung von Personal der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)“ ist mit Veröffentlichung der Norm im September 2022 erfolgreich abgeschlossen [11].

3 Überblick über die DIN 4871 [11]

Basierend auf den in Kapitel 2 erläuterten Randbedingungen werden die grundlegenden Anforderungen an die Schulung und Qualifizierung von Personal, das zerstörungsfreie Prüfungen an Beton-, Stahlbeton oder Spannbetonbauteilen (ZfPBau) ausführt, in den folgenden Verfahren (a bis f) bzw. Prüfaufgaben (g bis h) geregelt:

- a) Rückprallhammer;
- b) magnetisch-induktive Verfahren;
- c) Potentialfeldmessung;
- d) Radar;
- e) Ultraschall;
- f) Impakt-Echo;
- g) Druckfestigkeitsnachweis;
- h) Bewehrungsnachweis.

Um das erforderliche Grundlagenwissen zu vermitteln, sind weiterhin die nachfolgenden Grundlagenmodule definiert worden, die vor einer erstmaligen Qualifizierung in der ZfPBau Stufe 1 bzw. der ZfPBau Stufe 2 zu absolvieren sind:

- Überblick ZfPBau Verfahren
- Messtechnik
- Wellenlehre und physikalische Grundlagen
- Schadensmechanismen und konstruktive Besonderheiten
- Qualitätssicherung
- Verfahrenskombination

Einen allgemeinen Überblick über den Aufbau der DIN 4871 ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

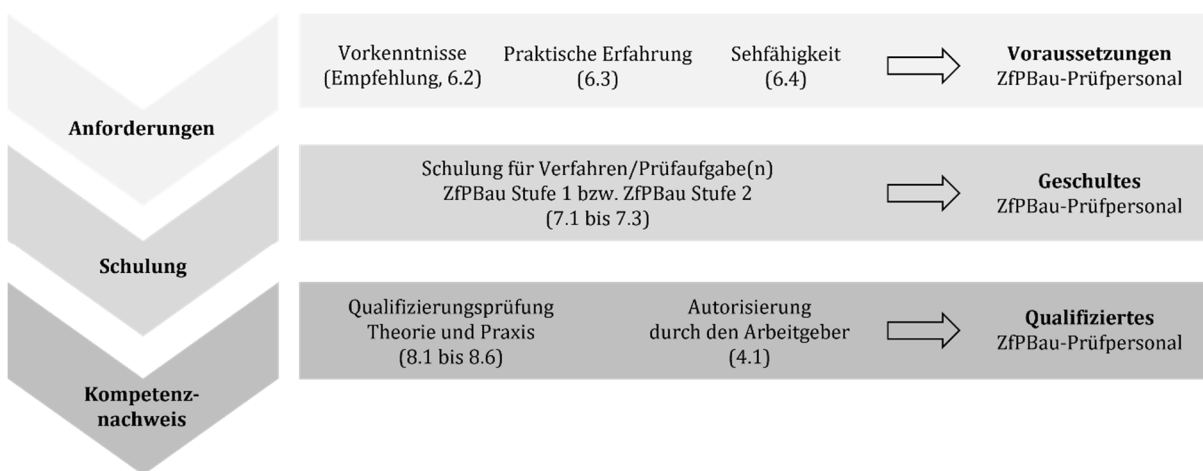


Abb. 2. Struktur der DIN 4871 [11]

4 Qualifizierungsstufen nach DIN 4871 [11]

Nach intensiver Diskussion über eine adäquate Stufendefinition für die ZfPBau, die sowohl die Ansätze der DIN EN ISO 9712 [6] als auch die Besonderheiten des Bauwesens berücksichtigt, kam der Unterausschuss Ausbildung (UA-A) zu dem Ergebnis, dass zwei Stufen diese Kriterien erfüllen und im Gegensatz zu den drei Stufen der DIN EN ISO 9712 [6] die relevanten Verantwortlichkeiten des ZfPBau Prüfpersonals in der Praxis abbilden. Zusätzlich können damit die Schulungszeiten optimiert werden.

Nach DIN 4871 zeichnet sich Prüfpersonal der ZfPBau Stufe 1 für die Messdurchführung nach Prüfanweisung verantwortlich. Hierbei darf das ZfPBau Stufe 1 Personal ZfPBau-Geräte einstellen, Messungen durchführen und diese an Randbedingungen anpassen. Im Zuge der Datenaufnahme ist das ZfPBau Stufe 1 Personal dazu befähigt, die Messergebnisse zu dokumentieren, sie vorläufig aufgrund schriftlicher Kriterien einzuordnen sowie über die Messergebnisse der ZfPBau Stufe 2 zu berichten.

ZfPBau-Prüfpersonal der Stufe 1 darf keine eigenständige Auswahl des Verfahrens oder der Prüftechnik vornehmen sowie keine Verantwortung für die abschließende Auswertung und Bewertung übernehmen.

ZfPBau Prüfpersonal der Stufe 2 nach DIN 4871 ist dazu qualifiziert, Messergebnisse der ZfPBau Stufe 1 auswerten und zu bewerten sowie als Prüfaufsicht tätig zu sein. Das ZfPBau Stufe 2 Personal trägt somit die fachliche Verantwortung für das aus den Messergebnissen und deren Bewertung generierte Prüfergebnis. Neben allen Tätigkeiten, für die das ZfPBau Stufe 1 Personal qualifiziert ist, darf das ZfPBau Stufe 2 Prüfpersonal sowohl

Verfahren als auch Prüftechnik auswählen sowie die Anwendungsgrenzen festlegen. Zusätzlich zur Dokumentation sowie der Anleitung und Beaufsichtigung von ZfPBau Stufe 1 Personal ist die ZfPBau Stufe 2 dazu qualifiziert, Regelwerke und Merkblätter auszulegen sowie Prüfanweisungen aufzustellen.

Es wird deutlich, dass das Werkzeug der Prüfanweisung, welches in der ZfPBau-Praxis noch nicht überall Anwendung findet, eine Schlüsselrolle in der Schulung von ZfPBau Prüfpersonal einnimmt. Großer Dank gilt an dieser Stelle dem Unterausschuss Qualitätssicherung, der in den letzten Jahren eine Richtlinie [15] zur Erstellung von Prüfanweisungen entwickelt hat. Der Leitfaden wurde im letzten Jahr veröffentlicht und kann kostenfrei über die Website der DGZfP bezogen werden.

5 Zulassungsvoraussetzungen und Schulungszeiten nach DIN 4871 [11]

Um die Einstiegshürde in die ZfPBau möglichst gering zu halten, wurden Mindestanforderungen an die Vorkenntnisse in Form einer technischen Berufsausbildung bzw. eines relevanten Studiums nur als Empfehlung definiert. Die Anforderungen an die Sehfähigkeit sind ebenfalls geringgehalten und deshalb in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Arbeitgebers festzulegen.

Die praktische Mindesterfahrung wurde für die unterschiedlichen Verfahren und Prüfaufgaben wie in Tabelle 1 angegeben definiert. Wenn ein Kandidat die Schulung in mehr als einem Verfahren bzw. einer Prüfaufgabe anstrebt, dann muss die Gesamterfahrungszeit gleich der Summe der Erfahrungszeiten in jedem Verfahren bzw. jeder Prüfaufgabe sein.

Tab. 1. Mindestanforderungen an die praktische Erfahrung [11]

ZfPBau Verfahren bzw. ZfPBau Prüfaufgabe	Praktische Erfahrung in Tagen ^a	
	ZfPBau Stufe 1	ZfPBau Stufe 2
Rückprallhammer	5	20
magnetisch-induktive Verfahren	10	30
Potentialfeldmessung	10	30
Radar	10	30
Ultraschall	10	30
Impakt-Echo	10	30
Druckfestigkeitsnachweis	15	30
Bewehrungsnachweis	15	30

^a Die Dauer eines Tages beträgt mindestens sieben Stunden, die an einem Tag oder durch akkumulierte Stunden erreicht werden können. Die maximal zulässige Stundenzahl an einem Tag beträgt 12 Stunden. Die Erfahrung in Tagen wird ermittelt, indem die Gesamtzahl der akkumulierten Stunden durch 7 geteilt wird.

Die Mindestdauer der Schulung ist in Tabelle 2 für das jeweilige ZfPBau Verfahren bzw. die jeweilige ZfPBau Prüfaufgabe angegeben. Die Dauer basiert darauf, dass der Kandidat über angemessene mathematische Fähigkeiten sowie über Kenntnisse von Baustoffeigenschaften und Herstellungsverfahren verfügt. Schulungszeiten umfassen sowohl praktischen als auch theoretischen Unterricht.

Tab. 2. Mindestanforderungen an die Schulung [11]

ZfPBau Verfahren bzw. ZfPBau Prüfaufgabe	Schulungszeit in Tagen ^a	
	ZfPBau Stufe 1	ZfPBau Stufe 2
Rückprallhammer	1	2
magnetisch-induktive Verfahren	2	2
Potentialfeldmessung	1	2
Radar	2	2
Ultraschall	2	2
Impakt-Echo	2	2
Druckfestigkeitsnachweis	2	2
Bewehrungsnachweis	2	2

^a Die Dauer eines Tages beträgt mindestens sieben Stunden, die an einem Tag oder durch akkumulierte Stunden erreicht werden können. Die maximal zulässige Stundenzahl an einem Tag beträgt 12 Stunden. Die Schulungszeit in Tagen wird ermittelt, indem die Gesamtzahl der akkumulierten Stunden durch 7 geteilt wird.

Vor der erstmaligen Qualifizierung in der ZfPBau Stufe 1 muss das eintägige Grundlagenmodul „Überblick ZfPBau Verfahren“ absolviert werden. Vor der erstmaligen Qualifizierung in der ZfPBau Stufe 2 müssen alle weiteren Grundlagenmodule absolviert werden. Die Grundlagenmodule der ZfPBau Stufe 2 umfassen die Themengebiete, wie sie nachfolgend in Tabelle 3 dargestellt sind.

Tab. 3. Mindestanforderungen an die Schulung der Grundlagenmodule ZfP Bau Stufe 2 [11]

Grundlagenmodule für die ZfPBau Stufe 2	Schulungszeit in Tagen ^a
Messtechnik	1
Wellenlehre und physikalische Grundlagen	1
Schadensmechanismen und konstruktive Besonderheiten	1
Qualitätssicherung	1
Verfahrenskombination	1
Gesamt	5

^a Die Dauer eines Tages beträgt mindestens sieben Stunden, die an einem Tag oder durch akkumulierte Stunden erreicht werden können. Die maximal zulässige Stundenzahl an einem Tag beträgt 12 Stunden. Die Schulungszeit in Tagen wird ermittelt, indem die Gesamtzahl der akkumulierten Stunden durch 7 geteilt wird.

6 Weitere Aktivitäten zur Förderung der ZfPBau-Qualifizierung und -Zertifizierung

Auch auf internationaler Ebene wird eine Standardisierung der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen angestrebt. Da sowohl auf EN- als auch auf ISO-Ebene keine relevanten Regelwerke für die ZfPBau mit Ausnahme des Rückprallhammers [12], [13] vorliegen, wurde national das Ziel verfolgt, die DIN 4871 ins Englische zu übersetzen. Damit wird eine normative Grundlage für eine internationale Qualifizierung von ZfPBau Prüfpersonal gelegt. Zusätzlich können basierend auf den in der DIN 4871 beschriebenen Lehrinhalten erste Ansätze für die Regelung einzelner Prüfverfahren abgeleitet werden.

Das Dokument in englischer Sprache ist im März 2023 erschienen und kann unter anderem auf den Seiten des Beuth-Verlags bezogen werden [14].

	DIN 4871	DIN
ICS 03.100.30; 19.100; 91.010.01		
<p>Non-destructive testing - Qualification of NDT personnel in Civil Engineering (NDT-CE), English translation of DIN 4871:2022-09</p> <p>Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau), Englische Übersetzung von DIN 4871:2022-09</p> <p>Essais non destructifs - Qualification du personnel END en génie civil, Traduction anglaise de DIN 4871:2022-09</p>		

Abb. 3. Deckblatt der englischen Übersetzung der DIN 4871 [14]

Parallel ist ein weiteres Normungsprojekt - „DIN 4873: Zertifizierung von Personal der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)“ - im zuständigen Arbeitsausschuss NA 062-08-21 AA des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) eingerichtet worden. Das Ziel dieser Norm ist es, einen Zertifizierungsprozess für ZfPBau Prüfpersonal zu entwickeln und bei Bedarf einzusetzen, um eine vergleichbare Personalqualifizierung sicherzustellen. Es ist geplant, einen ersten Normentwurf für die Einspruchsphase Mitte des laufenden Jahres zu veröffentlichen.

In Ergänzung zu diesen normativen Aktivitäten kam aus dem Unterausschuss Ausbildung die Anregung, den eingeschlagenen Weg konsequent weiterzugehen und die entwickelte Ausbildungsnorm in die Praxis umzusetzen. In intensiven und kontroversen Diskussionen, wie solch ein Schulungsangebot nach DIN 4871 organisatorisch auf den Weg gebracht werden kann, wurde deutlich, dass die notwendigen Investitionen in Schulungsunterlagen, Geräte und Testkörper eine mittlere sechsstelliger Größe erreichen werden. Die Refinanzierung dieser Kosten durch Schulungen ist bestenfalls längerfristig zu erwarten und wird derzeit von keiner Institution mit Nähe zum Bauwesen zu leisten sein. Daher hat sich die DGZfP entschieden, die notwendigen Investitionen zu tätigen und ein Schulungsangebot nach DIN 4871 zu entwickeln, welches voraussichtlich Ende 2023 in Berlin angeboten wird.

Referenzen

- [1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. (deutsche Übersetzung: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen) Beuth-Verlag, Berlin, 1995
- [2] Department of Defence: MIL-HDBK-1823A Nondestructive Evaluation System Reliability Assessment. 7. April 2009
- [3] A. P. Berens: NDE Reliability Analysis, Reprinted from Metals Handbook Volume 17, 9th Edition: Nondestructive Evaluation and Quality Control. University of Dayton Research Institute, ASM International, 1989
- [4] S. Feistkorn: Gütebewertung qualitativer Prüfaufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen am Beispiel des Impulsradars. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 603, Beuth Verlag, Berlin, 2012, Dissertation
- [5] A. Taffe: Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 574, Beuth Verlag, Berlin, 2008, Dissertation
- [6] DIN EN ISO 9712:2022-09: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2021); Deutsche Fassung EN ISO 9712:2022
- [7] DIN CEN ISO/TS 25107:2022-04: Zerstörungsfreie Prüfung - Leitfaden für Ausbildungs-Syllabus der zerstörungsfreien Prüfung; Deutsche Fassung CEN ISO/TS 25107:2019

- [8] DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung
- [9] VDI 6200:2010-02: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung
- [10] RI-ZFP-TU:2002-03: Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen
- [11] DIN 4871:2022-09: Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)
- [12] DIN EN 12504-2:2021-10: Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung - Bestimmung der Rückprallzahl; Deutsche Fassung EN 12504-2:2021
- [13] DIN EN 13791:2020-02: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung EN 13791:2019
- [14] DIN 4871:2022-09: Non-destructive testing – Qualification of NDT personnel in Civil Engineering (NDT-CE), English translation of DIN 4871:2022-09
- [15] Richtlinie B-LF 01: „Leitfaden zur Erstellung von Prüfanweisungen für die Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen (ZfP Bau)“, April 2022, Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.