

DIN CEN ISO/TS 25107

ICS 19.100

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Leitfaden für Ausbildungs-Syllabus der zerstörungsfreien Prüfung
(ISO/TS 25107:2019);
Deutsche Fassung CEN ISO/TS 25107:2019**

Non-destructive testing –
NDT training syllabuses (ISO/TS 25107:2019);
German version CEN ISO/TS 25107:2019

Essais non destructifs –
Programmes de formation en END (ISO/TS 25107:2019);
Version allemande CEN ISO/TS 25107:2019

Gesamtumfang 109 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (CEN ISO/TS 25107:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-21 AA „Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Technische Spezifikationen sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Eine Technische Spezifikation ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens von DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden Technischen Spezifikation wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser Technischen Spezifikation sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nmp@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
----------	-------	-----------------

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

Deutsche Fassung

**Zerstörungsfreie Prüfung —
Leitfaden für Ausbildungs-Syllabus der zerstörungsfreien
Prüfung (ISO/TS 25107:2019)**

Non-destructive testing —
NDT training syllabuses (ISO/TS 25107:2019)

Essais non destructifs —
Programmes de formation en END
(ISO/TS 25107:2019)

Diese Technische Spezifikation (CEN/TS) wurde vom CEN am 23. September 2019 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen.

Die Gültigkeitsdauer dieser CEN/TS ist zunächst auf drei Jahre begrenzt. Nach zwei Jahren werden die Mitglieder des CEN gebeten, ihre Stellungnahmen abzugeben, insbesondere über die Frage, ob die CEN/TS in eine Europäische Norm umgewandelt werden kann.

Die CEN Mitglieder sind verpflichtet, das Vorhandensein dieser CEN/TS in der gleichen Weise wie bei einer EN anzukündigen und die CEN/TS verfügbar zu machen. Es ist zulässig, entgegenstehende nationale Normen bis zur Entscheidung über eine mögliche Umwandlung der CEN/TS in eine EN (parallel zur CEN/TS) beizubehalten.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Allgemeines	8
4.1 ZfP-Ausbildung	8
4.2 Kompetenzniveaus	9
4.3 Allgemeine umwelt- und sicherheitsbezogene Erwägungen	10
5 Durchstrahlungsprüfung (RT) — Stufen 1, 2 und 3	11
6 Ultraschallprüfung (UT) — Stufen 1, 2 und 3	26
7 Wirbelstromprüfung (ET) — Stufen 1, 2 und 3	32
8 Eindringprüfung (PT) — Stufen 1, 2 und 3	38
9 Magnetpulverprüfung (MT) — Stufen 1, 2 und 3	44
10 Dichtheitsprüfung (LT) — Stufen 1, 2 und 3	51
11 Schallemissionsprüfung (AT) — Stufen 1, 2 und 3	63
12 Sichtprüfung (VT) — Stufen 1, 2 und 3	71
13 Thermographieprüfung (TT) — Stufen 1, 2 und 3	79
14 Dehnungsmessstreifenprüfung (ST) — Stufen 1, 2 und 3	86
15 Entwicklung von Techniken	91
Anhang A (informativ) Alternative Schulungszeiten für fortgeschrittene Durchstrahlungstechniken	103
Anhang B (informativ) Nützliche Verweisungen	105
B.1 Durchstrahlungsprüfung	105
B.1.1 ISO-Normen	105
B.1.2 Europäische Normen	105
B.1.3 ASTM-Normen	105
B.1.4 ASME-Normen	105
B.2 Ultraschallprüfung	106
B.2.1 ISO-Normen	106
B.2.2 Europäische Normen	106
B.3 Wirbelstromprüfung	106
B.4 Eindringprüfung	106
B.5 Magnetpulverprüfung	106
B.5.1 ISO-Normen	106
B.5.2 Europäische Normen	106
B.5.3 ASTM-Normen	106
B.6 Dichtheitsprüfung	107

B.6.1	ISO-Normen	107
B.6.2	Europäische Normen.....	107
B.7	Schallemissionsprüfung.....	107
B.7.1	ISO-Normen	107
B.7.2	Europäische Normen.....	107
B.8	Sichtprüfung.....	107
B.8.1	ISO-Normen	107
B.8.2	Europäische Normen.....	107
B.8.3	Vorschriften.....	107
B.9	Allgemeines	107

Tabellen

Tabelle 1 — Allgemeiner Inhalt	11
Tabelle 2 — Durchstrahlungsprüfung (RT) — Stufen 1, 2 und 3	12
Tabelle 3 — Allgemeiner Inhalt	26
Tabelle 4 — Ultraschallprüfung (UT) Stufen 1, 2 und 3	26
Tabelle 5 — Allgemeiner Inhalt	32
Tabelle 6 — Wirbelstromprüfung (ET) — Stufen 1, 2 und 3	33
Tabelle 7 — Allgemeiner Inhalt	38
Tabelle 8 — Eindringprüfung (PT) — Stufen 1, 2 und 3.....	39
Tabelle 9 — Allgemeiner Inhalt	44
Tabelle 10 — Magnetpulverprüfung (MT) — Stufen 1, 2 und 3.....	44
Tabelle 11 — Allgemeiner Inhalt.....	51
Tabelle 12 — Dichtheitsprüfung (LT) — Stufen 1, 2 und 3	52
Tabelle 13 — Allgemeiner Inhalt.....	63
Tabelle 14 — Schallemissionsprüfung (AT) — Stufen 1, 2 und 3	63
Tabelle 15 — Allgemeiner Inhalt.....	71
Tabelle 16 — Sichtprüfung (VT) — Stufen 1, 2 und 3.....	72
Tabelle 17 — Allgemeiner Inhalt.....	79
Tabelle 18 — Thermographieprüfung (TT) — Stufen 1, 2 und 3.....	80
Tabelle 19 — Allgemeiner Inhalt.....	86
Tabelle 20 — Dehnungsmessstreifenprüfung (ST) — Stufen 1, 2 und 3.....	87
Tabelle 21 — Ultraschall-Beugungslaufzeittechnik (UT-TOFD) — Stufen 1, 2 und 3.....	91

Tabelle 22 — Ultraschallprüfung mit Phased Arrays (UT-PA) — Stufen 1, 2 und 3	93
Tabelle 23 — Magnetische Streuflussprüfung (MFL) — Stufen 1, 2 und 3	96
Tabelle A.1 — Schulungszeiten für die RT-Schulung (in Stunden)	103

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (CEN ISO/TS 25107:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt CEN ISO/TR 25107:2006.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Technische Spezifikation anzukündigen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/TS 25107:2019 wurde von CEN als CEN ISO/TS 25107:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 *Non-destructive testing*, Unterkomitee SC 7 *Personnel qualification*, erarbeitet.

Diese erste Ausgabe ersetzt ISO/TR 25107:2006.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Der Umfang der technischen Kenntnisse, die von dem für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) zuständigen Personal gefordert werden, ist für die Entwicklung von Ergebnissen für ZfP-Verfahren von grundlegender Bedeutung. Ohne ausreichende Informationen zu dem technischen Hintergrundwissen des Personals, das die Verfahren anwendet, können keine angemessenen Ergebnisse für ZfP-Verfahren entwickelt werden.

Aufgabe der ZfP

Die zerstörungsfreie Prüfung trägt wesentlich zur Sicherheit sowie zum ökonomischen und ökologischen Wohlergehen unserer Gesellschaft bei.

Die ZfP ist die einzige Möglichkeit der Prüfung eines Objektes, das durch das Prüfverfahren nicht zerstört, verändert oder beeinträchtigt werden darf. Dies ist im Allgemeinen bei Objekten erforderlich, die nach der Prüfung weiter genutzt werden, wie etwa sicherheitsrelevante Teile, Rohrleitungen, Kraftwerke sowie Bauwerke, die während des Betriebes Inspektionen unterzogen werden, jedoch sogar auch bei einzigartigen Teilen aus den Bereichen Archäologie und Kultur.

Die ZfP beruht auf physikalischen Wirkungsweisen auf der Oberfläche oder in der inneren Struktur des zu prüfenden Objektes. Häufig muss das Ergebnis der Prüfung ausgewertet werden, um ein brauchbares Resultat zu erhalten; manchmal werden verschiedene ZfP-Verfahren kombiniert oder durch andere Prüfverfahren verifiziert.

ZfP-Personal und Berufsethik

Das ZfP-Personal trägt eine große Verantwortung — nicht nur im Hinblick auf seine Arbeitgeber oder Auftraggeber, sondern auch hinsichtlich der Regeln der handwerklich guten Ausführung. Das ZfP-Personal ist im Hinblick auf die Prüfergebnisse unabhängig und frei von wirtschaftlichen Einflüssen, da anderenfalls die Ergebnisse beeinträchtigt werden. Das ZfP-Personal ist sich der Bedeutung seiner Unterschrift und der Konsequenzen nicht korrekter Prüfergebnisse für die Sicherheit, Gesundheit und Umwelt bewusst.

Letztendlich ist das ZfP-Personal für alle Auswertungen der Prüfergebnisse verantwortlich, die seine Unterschrift tragen und es unterzeichnet niemals Prüfberichte, die seine Zertifizierung übersteigen.

Anhang B enthält Normnummern, die bei der Anwendung der in diesem Dokument enthaltenen Regelungen von Interesse sein können.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Anforderungen und Empfehlungen für Lehrpläne für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) mit der Absicht, das allgemeine Ausbildungsniveau für ZfP-Personal für industrielle Erfordernisse zu vereinheitlichen und zu wahren.

Es legt darüber hinaus die Mindestanforderungen an die effektive, strukturierte Ausbildung von ZfP-Personal fest, um die Eignung für die Qualifizierungsprüfungen sicherzustellen, die zu einer Zertifizierung durch eine unabhängige Prüfstelle nach anerkannten Normen führt. Ergänzend zur zerstörungsfreien Prüfung im Allgemeinen umfassen seine Richtlinien für Lehrpläne auch die Schallemissionsprüfung, Wirbelstromprüfung, Dichtheitsprüfung, Magnetpulverprüfung, Eindringprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Ultraschallprüfung, Sichtprüfung, Infrarotthermographieprüfung und Dehnungsmessstreifenprüfung.

ISO/TS 25108 enthält Anforderungen und Empfehlungen für ZfP-Schulungsorganisationen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 9712, *Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Justierung

Reihe von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den Justierungsarten eines Messsystems gehören Nullpunktjustierung, Offset-Justierung und Kennwertjustierung (manchmal auch Verstärkungsjustierung genannt).

4 Allgemeines

4.1 ZfP-Ausbildung

Lehrpläne an sich können die Kompetenz der Auszubildenden, über angemessene technische Kenntnisse zu verfügen, nicht garantieren, da es recht häufig vorkommt, dass einige Schüler ausgezeichnete Ergebnisse erzielen, andere hingegen in derselben Klasse durchfallen. ISO 9712 enthält die Mindestanforderungen an die

Schulung von Kandidaten, die über angemessene Fähigkeiten und Vorkenntnisse verfügen. Ist dies nicht der Fall, sollten für zusätzliche Schulungen u. a. folgende Inhalte berücksichtigt werden:

- a) Stufe 1, 2 und 3 — Mathematik;
- b) Stufe 1, 2 und 3 — Materialeigenschaften und Herstellungsverfahren;
- c) Stufe 3 — Allgemeine Schulung zu auf alle ZfP-Verfahren anwendbaren allgemeinen Kenntnissen.

Wie in ISO 9712 festgelegt, erfordert der direkte Zugang zu Prüfungen der Stufe 2 die Gesamtschulungszeit von Stufe 1, und Stufe 2 und der direkte Zugang zu Stufe 3 erfordert die für Stufe 1, Stufe 2 und Stufe 3 aufgezeigte Gesamtschulungszeit.

ISO 9712 bietet auch die Möglichkeit der Verkürzung der Schulungsdauer für Kandidaten, die die Zertifizierung in mehr als einem Verfahren anstreben, oder die in einem ZfP-relevanten Fach ein bestimmtes Ausbildungsniveau aufweisen. Die Schulungsorganisationen sollten daher bei der Umsetzung der Lehrpläne ihrer Schulungsumgebung entsprechend nach eigenem Ermessen vorgehen und die Produkt- bzw. Industrie-sektoren und Entwicklung oder Nutzung üblicher fokussierter Kurse berücksichtigen, die für alle ZfP-Verfahren gelten.

4.2 Kompetenzniveaus

Zum Festlegen von Kompetenzniveaus wird ein dreistufiges System nach ISO 9712 angewendet, um die erforderliche Tiefe des Verständnisses, der Kenntnisse und der Anwendung von Material anzugeben.

Stufe 1

- Aneignen eines Allgemeinwissens über die Themenbereiche;
- Bestimmen von Ausrüstung und Zubehörteilen;
- Bestimmen von üblichen Referenzdokumenten;
- Erkennen, wann ein Material geeignet oder warum es relevant ist;
- Praktisches Verstehen durch Durchführung angeleiteter Inspektionsaufgaben demonstrieren.

Stufe 2

- Erreichen eines angemessenen Verständnisses von Konzepten und Grundlagen;
- Entwickeln eines angemessenen konzeptuellen und umfassenden technischen Fachwissens;
- Entwickeln eines angemessenen Fachwissens zu den Verfahren;
- Vertraut werden mit üblichen Referenzdokumenten;
- Sachkundig werden in der Anwendung der Kenntnisse in der Praxis;
- Anwenden von Konzepten und Techniken in Inspektionssituationen;
- Analysieren von Informationen, um vorläufige Rückschlüsse zu ziehen.

Stufe 3

- Erreichen eines tiefgehenden Verständnisses von Konzepten und Grundlagen;

- Entwickeln eines tiefgehenden, umfassenden technischen Fachwissens zu den Verfahren;
- Sachkundig sein in der Anwendung der Kenntnisse in der Praxis;
- Sachkundig sein in der Anwendung von Referenzdokumenten;
- Analysieren von Informationen, um Rückschlüsse zu ziehen;
- Anwenden von Konzepten und Techniken in neuen Inspektionssituationen.

ANMERKUNG Wenn Themen/Fachgebiete/Inhalte für mehrere Stufen von Tabelle 1 bis Tabelle 21 aufgeführt sind, zeigt dies an, dass auf den höheren Stufen tiefergehende Kenntnisse erforderlich sind.

4.3 Allgemeine umwelt- und sicherheitsbezogene Erwägungen

4.3.1 Die zerstörungsfreie Prüfung wird häufig unter Bedingungen angewendet, in denen die Sicherheit des Bedieners aufgrund der örtlichen Gegebenheiten gefährdet sein, oder in denen die Anwendung bestimmter ZfP-Verfahren oder ZfP-Techniken an sich die Sicherheit des Bedieners oder anderer Personen in der Nähe beeinträchtigen kann.

Ein unerlässliches Element jeder Ausbildung von ZfP-Personal muss daher die Sicherheit sein. Die Dauer der Schulung zu diesem Thema sollte angemessen sein und ergänzend zu der technischen Ausbildung in Verbindung mit einem bestimmten ZfP-Verfahren erfolgen.

4.3.2 Vor der Schulung zur Radiographie muss eine zusätzliche Schulung zur Strahlensicherheit erfolgen.

4.3.3 Allgemeine sicherheitsbezogene Erwägungen schließen u. a. das Folgende ein:

- Umweltbedingungen (Wärme, Kälte, Luftfeuchte);
- Toxizität (ZfP-Materialien, geprüfte Produkte, Atmosphäre);
- Strahlensicherheit (ZfP-Materialien, Produkte);
- elektrische Sicherheit (ZfP-Ausrüstung, tödliche Spannungen, EMV);
- Verletzungspotential von Personal (Arbeiten in der Höhe oder in anderen gefährlichen Umgebungen);
- persönliche Schutzausrüstung (Bekleidung, Strahlendosimeter);
- Sicherheit bei der Druckprüfung.

5 Durchstrahlungsprüfung (RT) — Stufen 1, 2 und 3

Die Ausbildung für die Durchstrahlungsprüfung (RT, en: Radiographic testing) muss Tabelle 1 und Tabelle 2 entsprechen.

Tabelle 1 — Allgemeiner Inhalt

	Stufe 1 (% der Gesamtdauer)	Stufe 2 (% der Gesamtdauer)	Stufe 3 (% der Gesamtdauer)
5.1 Einführung in die Terminologie und Geschichte der Durchstrahlungsprüfung (RT)	3	1	1
5.2 Physikalische Grundlagen des Verfahrens und damit verbundene Kenntnisse	15	10	15
5.3 Kenntnisse über Produkttypen und Möglichkeiten des Verfahrens und seiner abgeleiteten Techniken	15	15	20
5.4 Ausrüstung	25	20	25
5.5 Informationen vor der Prüfung	5	8	5
5.6 Prüfung	30	25	2,5
5.7 Bewertung und Protokollierung	5	10	7,5
5.8 Beurteilung	0	5	10
5.9 Qualitätsbezogene Aspekte	2	5	8
5.10 Entwicklungen	0	1	6

ANMERKUNG Anhang A enthält Leitfäden zum Schulungsverlauf für fortgeschrittene Durchstrahlungstechniken.

Tabelle 2 — Durchstrahlungsprüfung (RT) — Stufen 1, 2 und 3

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
5.1 Einführung in die Terminologie und Geschichte der Durchstrahlungsprüfung (RT)	Geschichte		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Zweck von ZfP	Was ist eine Prüfung?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Welchen Zweck verfolgt die ZfP?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		In welcher Lebensphase wird eine ZfP an einem „Produkt“ durchgeführt?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Worin besteht der Nutzen?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Wer darf ZfP durchführen?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Wesentliche ZfP-Verfahren	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Zweck der Durchstrahlungsprüfung (RT)	Festlegung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Anwendbarkeit und Einschränkungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Terminologie	Elektromagnetische Strahlung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Energie	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosis	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosisleistung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Wellenlänge	X	X	X		X	X		X	X
		Intensität	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosisleistungskonstante	X	X	X		X	X		X	X
		Aktivität	X	X	X	X	X	X			X
	Relevante Normen	siehe Anhang B		X	X		X	X		X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
<p>5.2 Physikalische Grundlagen des Verfahrens und damit verbundene Kenntnisse.</p> <p>Konzepte, die zum Verständnis der physikalischen Grundlagen der Durchstrahlungsprüfung (Physik, Mathematik) erforderlich sind, dürfen Gegenstand eines vorbereiteten Kurses sein</p>	allgemeines	Aufbau des Atoms	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Elektromagnetisches Spektrum	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Strahlenquellen und ihre Eigenschaften:									
		– Röntgenstrahlen	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Gammastrahlen	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Neutronen			X			X			X
		Röntgen- und Gammastrahlenspektrum	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Grundlegende radiographische Parameter:									
		– Spannung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Stromstärke	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Aktivität	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Strahlenfilter		X	X		X	X		X	X
		Brennfleck	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosis	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosisleistung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dosisleistungskonstante	X	X	X		X	X		X	X
	Strahlungsabschwächung	allgemeine Wechselwirkungsmechanismen:									
		– Photoelektrischer Effekt	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Compton-Effekt	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Paarbildung	X	X	X		X	X		X	X
		Halbwertschichtdicke, Zehntelwertschichtdicke und Schwächungsgesetz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Strahlenaufhärtung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Streustrahlung und Aufbaufaktor	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Filterung und Kollimierung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Röntgenfluoreszenz	X	X	X	X		X		X	X
		Schwächung von Neutronen und Elektronen			X			X			X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Strahlenkon- trast, Rauschen	Kontrast, Rauschen, Körnung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Spezifischer Kontrast		X	X		X	X		X	X
		Einfluss der Streuung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Signal-Rausch-Verhältnis (SNR, en: Signal-to-Noise Ratio)				X	X	X	X	X	X
		Kontrast-Rausch-Verhältnis					X	X		X	X
		Unschärfe	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Basis-Ortsauflösung				X	X	X	X	X	X
		Pixelgröße				X	X	X	X	X	X
		normiertes SNR (SNR _N)				X	X	X		X	X
	Optimierung der Bildqualität	Kompensationsprinzipien:									
		– Kontrast vs. SNR					X	X		X	X
		– Basis-Ortsauflösung vs. SNR					X	X		X	X
		– Örtliche Unschärfe vs. SNR					X	X		X	X
		Schutz gegen Streustrahlung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Größe/optimale Röntgenröhrenspannung		X	X		X	X		X	X
	Bedingungen der geometrischen Projektion	geometrische und innere Unschärfe	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Geometrische Vergrößerung		X	X		X	X	X	X	X
		Effekt der Vergrößerung		X	X	X	X	X	X	X	X
		optimale Vergrößerung			X		X	X		X	X
		Unterschied zwischen Radiographie und Radioskopie		X	X		X	X		X	X
		Abstandsquadratgesetz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Bildgüteprüf- körper (IQI, en: image quality indicator)	Drahtsteg	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Stufe/Bohrloch-Typ	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Plättchen/Bohrloch-Typ	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Doppel-Drahtsteg	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Messung der Basis-Ortsauflösung		X	X		X	X		X	X
		konvergierende Linienpaare			X		X	X		X	X
		Linienpaarbreiten (MTF)			X			X			X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
5.3 Kenntnisse über Produkte und Möglichkeiten des Verfahrens und seiner abgeleiteten Techniken	allgemeine Materialfehler	Überblick Herstellungsverfahren:									
		– Gießen		X	X		X	X		X	X
		– Schmieden		X	X		X	X			X
		– Schweißen		X	X		X	X		X	X
		– Rohre und Rohrleitungen		X	X		X	X			X
		– Umgeformte Erzeugnisse		X	X		X	X			X
		– Verbundwerkstoff		X	X		X	X		X	X
		Arten von Inhomogenitäten	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Bruchmechanik			X			X			X
		Gebrauchslast			X			X			X
		Materialeigenschaften		X	X		X	X		X	X
		Ursache der Materialfehler		X	X		X	X		X	X
		Bewertung		X	X		X	X		X	X
	Einfluss auf die Erkennbarkeit	Art des Materialfehlers	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Größe	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Ausrichtung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Anzahl der Aufnahmen		X	X		X	X		X	X
		Richtung des Strahls	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		geometrische Verzerrung								X	X
		Zunahme der Wanddicke		X	X		X	X		X	X
		Dickenbereiche für Röntgen- und Gammastrahlen		X	X		X	X		X	X
		Anzahl der Aufnahmen vs. Winkel der Verzerrung (Rohre und Rohrleitungen)		X	X		X	X		X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
5.4 Ausrüstung	Strahlen- quellen – Röntgen- quellen	Standardquellen:									
		– Quellenarten	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Stationär vs. mobil	X	X	X	X	X	X			
		– Aufbau und Funktion von Röntgenröhren	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– ein- vs. zweipolig		X	X		X	X		X	X
		Besondere Quellen		X	X		X	X		X	X
		Erzeugung von Hochspannung		X	X		X	X		X	X
		Kühlung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Handhabung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Parameter:									
		– kV	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– mA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Brennfleckgröße	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Messung der Parameter		X	X		X	X		X	X
	Strahlen- quellen — Gammaquellen	Behälter:									
		– Abschirmung	X	X	X	X	X	X			
		– Behälterklassen			X			X			
		Transport	X	X	X	X	X	X			
		Strahlerhalter und Kapsel:									
		– Handhabung und Projektion	X	X	X	X	X	X			
		– besondere Ausführung		X	X		X	X			
		– Kollimierung	X	X	X	X	X	X			
		Parameter:									
		– Isotopart	X	X	X	X	X	X			
		– Spektrum	X	X	X	X	X	X			
		– Energie	X	X	X	X	X	X			
		– Aktivität	X	X	X	X	X	X			
		– Größe der Strahlenquelle	X	X	X	X	X	X			
		– Halbwertszeit	X	X	X	X	X	X			

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Film	Film	Aufbau:	X	X	X			X			
		– Ursprung latenter Bildinformationen	X	X	X			X			
		– Träger, Emulsion, Silberbromid, Korngröße, Kornform	X	X	X			X			
		– Fotografischer Prozess	X	X	X			X			
		Verarbeitung:									
		– Eigenschaften von Filmsystemen	X	X	X			X			
		– Charakteristische Kurve	X	X	X			X			
		– Filmgradient, Filmkontrast, Empfindlichkeit	X	X	X			X			
		– Einfluss der Filmverarbeitung	X	X	X						
		– Empfindlichkeit	X	X	X						
		– Körnung	X	X	X						
		– Detailerkennbarkeit		X	X						
		Klassifizierung von Filmsystemen	X	X	X						
		Qualitätssicherung mit Filmteststreifen		X	X						
		Filmfolien:									
		– Folienarten	X	X	X						
		– innere Unschärfe	X	X	X						
		– Verstärkungseffekt	X	X	X						
		– Filtereffekt	X	X	X						
		– Folien für Kobalt 60 und Linearbeschleuniger (LINAC)	X	X	X						
		Arbeiten mit Belichtungsdiagrammen	X	X	X						

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Filmentwicklung und Bedingungen in der Dunkelkammer	Gestaltung der Dunkelkammer	X	X	X						
		Manuelle vs. maschinelle Entwicklung	X	X	X						
		Bäder:									
		– Verschiedene Bäder	X	X	X						
		– Qualitätssicherung in der Dunkelkammer	X	X	X						
		Entwicklungsprozess:									
		– Grundlagen	X	X	X						
		– Ausrüstung für die Entwicklung, Justierung	X	X	X						
		– Prüfung	X	X	X						
		– Aufbewahrung unbelichteter Filme	X	X	X						
		– Prüfung der Dunkelkammerbeleuchtung	X	X	X						
		– Schleierprüfung	X	X	X						
		– Klärzeit	X	X	X						
		– Prüfblatt	X	X	X						
		Verwendung von Filmteststreifen		X	X						
	Computer-Radiographie (CR), Speicherfolien	Phosphor-Speicherfolien:									
		– Einführung				X	X	X			
		– Auslegung				X	X	X			
		Speicherfolie und CR-Scanner				X	X	X			
		CR-System und -Klassifizierung					X	X			
		Qualitätssicherung (Phantom)					X	X			
		Durchstrahlungsbedingungen				X	X	X			
		Arbeiten mit Belichtungsdiagrammen				X	X	X			
		Handhabung				X	X	X			
		Auswahl des Systems					X	X			

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Digitale Matrixdetektoren	Digitale Matrixdetektoren (DDA, en: Digital Detector Arrays):									
		– Einführung				X	X	X	X	X	X
		– Auslegung				X	X	X	X	X	X
		Indirekte Umwandlung					X	X		X	X
		Direkte Umwandlung					X	X		X	X
		Ladungsgekoppelte Bauteile (CCD, en: charge-coupled device), amorph. Si, CMOS					X	X		X	X
		Detektorjustierung					X	X		X	X
		Qualitätssicherung					X	X		X	X
		Durchstrahlungsbedingungen					X	X		X	X
		Handhabung				X	X	X	X	X	X
		Auswahl des Systems						X			X
	Zeilendetektoren	Zeilendetektoren (LDA, en: Line Detector Arrays):									
		– Einführung				X	X	X	X	X	X
		– Auslegung					X	X		X	X
		Anwendungsbereiche					X	X		X	X
		Vergleich mit digitalen Matrixdetektoren					X	X		X	X
		Qualitätssicherung (Phantom)					X	X		X	X
		Durchstrahlungsbedingungen und Diagramme					X	X		X	X
		Handhabung					X	X		X	X
		Auswahl des Systems						X			X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Verstärker, Fluoroskop	Einführung						X	X	X	X
		Auslegung							X	X	X
		Anwendungsbereiche							X	X	X
		Qualitätssicherung (Phantom)								X	X
		Durchstrahlungsbedingungen und Diagramme								X	X
		Handhabung							X	X	X
		Auswahl des Systems									X
		Vergleich mit DDA								X	X
	Film-digitalisierung	Auslegung des Scanners:									
		– Kamerabasiert		X	X						
		– Zeilenscanner		X	X						
		– Laserscanner		X	X			X			
		Qualitätssicherung (Phantom)		X	X			X			
		Handhabung, Archivierung		X	X			X			
		Auswahl des Systems			X			X			
		Klassifizierung		X	X		X	X			
	Zubehörteile	Ausrüstung									
		– Bleizeichen und -band	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Haftmagneten	X	X	X	X	X	X			
		– Bleiabschirmung, Kollimierung, Ausblendung	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Gummibänder	X	X	X	X	X	X			
		– Strahlenschutz-ausrüstung	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Datenaufnahme, Detektorjustierung	A/D-Schnittstelle				X	X	X	X	X	X
		Rechneraufbau:									
		– Prozessor, Speicher, Bus, Festplatte				X	X	X	X	X	X
		– Laden und Speichern digitaler Aufnahmen				X	X	X	X	X	X
		– Bildformate				X	X	X	X	X	X
		– Bildintegration									
		– Integration auf einem Chip/Einzelbild-Belichtungszeit				X	X	X	X	X	X
		– Integration auf dem Speicher/Anzahl der Bildintegrationen				X	X	X	X	X	X
		– Optimale Einstellungen der Verstärkung und Belichtungsreihe					X	X		X	X
		– Akkumulation vs. Integration					X	X		X	X
5.5 Informationen vor der Prüfung	Informationen zum Prüfgegenstand	Bestimmung oder Bezeichnung des Materials:									
		– Zu prüfendes Objekt	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Herstellungsverfahren	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Fehlerkatalogisierung		X	X		X	X		X	X
		– Prüfumfang	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Prüfbedingungen und Anwendung einer Normen	Zugänglichkeit		X	X		X	X		X	X
		Infrastruktur		X	X		X	X		X	X
		Besondere Prüfbedingungen		X	X		X	X		X	X
		Anwendungsnorm		X	X		X	X		X	X
		Phase während der Herstellung oder Nutzungsdauer, in der die Prüfung durchzuführen ist		X	X		X	X		X	X
		dem Prüfgegenstand zugeordnete Normen		X	X		X	X		X	X
		Anforderungen an das Prüfpersonal		X	X		X	X		X	X
		Zulässigkeitskriterien		X	X		X	X		X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Technik und Ablauf der Prüfung	Oberflächenbeschaffenheit		X	X		X	X		X	X
		Vorbereitung der Oberfläche		X	X		X	X		X	X
		Dokumentation im Anschluss an die Prüfung		X	X		X	X		X	X
	Anweisungen	Erstellung einer Verfahrensanweisung			X			X			X
		Erstellung einer Prüfanweisung		X	X		X	X		X	X
		Durchführung der Inspektion nach Prüfanweisung	X			X			X		
		Darlegung der Normen, Vorschriften und Verfahren			X			X			X
5.6 Prüfung	Standardverfahren und Bewertungsstandards	Auswahl der Technik:									
		– Verschiedene Durchstrahlungsgeometrien		X	X		X	X		X	X
		– Auswertung der Aufnahmen		X	X		X	X		X	X
		– Beurteilung von Fehlern		X	X		X	X		X	X
		– Nutzung von Katalogen		X	X		X	X		X	X
		– Messen der Ausdehnungen von Fehlern		X	X		X	X		X	X
5.7 Bewertung und Protokollierung	Grundlagen der Bewertung	Betrachtungsbedingungen:									
		– Raumbedingungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Betrachtungsdauer	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		– Verstrichene Zeit nach einer Blendung	X	X	X						
		– Leuchtdichte		X	X		X	X		X	X
		– Dichtemessung	X	X	X						
		– Mach-Effekt		X	X						
		Filmbetrachtungsgerät:									
		– Einführung	X	X	X						
		– Minimale Leuchtdichte		X	X						
		– Homogenitätsfaktor		X	X						

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
	Physikalische Faktoren	Sehkraft		X	X		X	X		X	X
		Anpassung vor der Betrachtung		X	X						
	Bewertung von Durchstrahlungsbildern	Bildgütenachweis	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Bericht über Unregelmäßigkeiten		X	X		X	X		X	X
	Prüfbericht	entspricht der Prüfnorm		X	X		X	X		X	X
		angepasst an Prüfqualität		X	X		X	X		X	X
		erreichte Prüfklasse	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		erreichter Prüfumfang des Prüfgegenstandes	X	X	X	X	X	X		X	X
	Digitale Bildverarbeitung	Bildaufbau, Quantisierung (Bits und Bytes)				X	X	X	X	X	X
		grundlegende Vorgehensweise:									
		– Bildelement (Pixel)				X	X	X	X	X	X
		– Grauwert				X	X	X	X	X	X
		Konkrete Maßnahmen:									
		– Kontrast				X	X	X	X	X	X
		– Helligkeit				X	X	X	X	X	X
		– Gammakorrektur				X	X	X	X	X	X
		– Histogramm					X	X		X	X
		– Look Up Tabelle					X	X		X	X
		Matrixoperationen, Filter:					X	X		X	X
		– Glättung, Verbesserung des SNR					X	X		X	X
		– Hochpass, Gradient					X	X		X	X
		– Kantenschärfung, Linienextraktion					X	X		X	X
		– Medianwert					X	X		X	X
		Messwerkzeuge:									
		– Justierung					X	X		X	X
		– Linienprofil					X	X		X	X
		– Messung der Länge von Fehlern					X	X		X	X
		– Messung von Bereichen					X	X		X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
		- Messung der Tiefe					X	X		X	X
		Korrektur von Rohdaten:									
		- Einführung					X	X		X	X
		- Linearisierung, LUT						X			X
		- Interpolation der Bad-Pixel						X			X
	Automatisierte Auswertung von Aufnahmen	Grundlagen					X	X		X	X
		Binarisierung						X		X	X
		Messung von Ausdehnungen					X	X		X	X
5.8 Beurteilung	Klassifizierung von Unregelmäßigkeiten	Art		X	X		X	X		X	X
		Größe		X	X		X	X		X	X
		Lokalisierung		X	X		X	X		X	X
		Häufigkeit		X	X		X	X		X	X
		Einfluss von Herstellung und Material		X	X		X	X		X	X
5.9 Qualitätsbezogene Aspekte	Qualifikation des Personals	ISO 9712	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		weitere ZfP-Qualifikations- und -Zertifizierungssysteme			X			X			X
	Dokumentation	Format und Umfang von Arbeitsverfahren			X			X			X
		Qualifizierung von ZfP-Verfahren			X			X			X
		Autorisierungen (ZfP-Anweisung, -Verfahren und -Personal)			X			X			X
		Erarbeiten schriftlicher Anweisungen		X	X		X	X		X	X
		korrektes Arbeiten nach schriftlicher Anweisung	X			X			X		
		Rückverfolgbarkeit von Dokumenten		X	X		X	X		X	X
		Messunsicherheiten		X	X		X	X		X	X
	Kenntnisse über anwendbare ZfP-Anwendungs- und -Produkt-normen	korrekte Auswahl von Techniken		X	X		X	X		X	X
		Anwenden korrekter Prüfparameter		X	X		X	X		X	X
		Auswahl von ZfP-Verfahren			X			X			X
		tätigkeitsspezifische Schulungen		X	X		X	X		X	X
		Überprüfung der Ausrüstung		X	X		X	X		X	X

Inhalt			RT-F (Film)			RT-D (Digital)			RT-S (Radioskopie)		
			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
5.10 Entwicklungen	Besondere Techniken	Stereoradiographie		X	X		X	X		X	X
		Computertomographie (CT):									
		– Einführung			X		X	X		X	X
		– Prüfgeometrie					X	X		X	X
		– 2D vs. 3D						X			X
		– Grundlagen der Rekonstruktion						X			X
		– Gefilterte Rückprojektion						X			X
		– Anwendungen			X		X	X			X
		– Anforderungen, Beschränkungen			X			X			X
		RT-F vs. RT-D		X	X		X	X		X	X

6 Ultraschallprüfung (UT) — Stufen 1, 2 und 3

Die Ausbildung für die Ultraschallprüfung (UT, en: Ultrasonic testing) muss Tabelle 3 und Tabelle 4 entsprechen.

Tabelle 3 — Allgemeiner Inhalt

Inhalt	Stufe 1 (% der Gesamtdauer)	Stufe 2 (% der Gesamtdauer)	Stufe 3 (% der Gesamtdauer)
6.1 Einführung in die Terminologie und Geschichte der Ultraschallprüfung (UT)	1	1	1
6.2 Physikalische Grundlagen des Verfahrens und damit verbundene Kenntnisse	12	12	22
6.3 Kenntnisse über Produkttypen und Möglichkeiten des Verfahrens und seiner abgeleiteten Techniken	30	24	3
6.4 Ausrüstung	15	8	13
6.5 Informationen vor der Prüfung	1	11	13
6.6 Prüfung	30	27	19
6.7 Bewertung und Protokollierung	10	8	11
6.8 Beurteilung	0	5	6
6.9 Qualitätsbezogene Aspekte	1	4	7
6.10 Entwicklungen	0	0	5

Tabelle 4 — Ultraschallprüfung (UT) Stufen 1, 2 und 3

Inhalt	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
6.1 Einführung in die Terminologie und Geschichte der Ultraschallprüfung (UT)			
Aufgaben des ZfP-Personals	X	X	
Übersicht über allgemeine und Produktnormen			X
Terminologie	X	X	X
6.2 Physikalische Grundlagen und damit verbundene Kenntnisse.			
Überblick über mathematische Grundlagen			
Algebra	X		
Trigonometrie	X		
Logarithmen	X		
Physikalische Definitionen und typische Parameter			
sinusförmige Bewegung	X	X	
Amplitude	X	X	
Periode	X	X	
Frequenz	X	X	
Schallgeschwindigkeit	X	X	
Akustische Impedanz	X	X	
Schalldruck	X	X	X
Faktoren der Reflexion und Transmission (nur senkrechter Strahl)		X	
Isotrope Materialien	X		X
Anisotrope Materialien		X	X
Wellen			
Sinusförmige Bewegung	X		
Amplitude	X		
Frequenz	X		

Inhalt			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
		Wellenlänge	X		
		Ausbreitungsgeschwindigkeit	X		
		Longitudinal	X	X	
		Transversal	X	X	
		Rayleighwellen (Oberflächenwellen)	X	X	X
		Kriechwellen		X	X
		geführte Wellen		X	X
	Aussendung und Reflexion	Grenzflächeneffekte bei senkrechtem Einfall	X	X	
		– Transmission	X	X	
		– Reflexion	X	X	
		– Interferenz		X	
		– Streuung	X	X	X
		Snelliussches Brechungsgesetz	X	X	
		Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und elastischen Eigenschaften			X
		Grenzflächeneffekte bei schrägem Einfall	X	X	
		– Transmission	X	X	
		– Reflexion	X	X	
		– Brechung	X	X	
		Winkelspiegel	X	X	
		– Reflexion	X	X	
		– Wellenumwandlung	X	X	
		Elektrostriktion			X
		Magnetostraktion			X
		Erzeugung durch Elektrodynamik			X
		Erzeugung durch Laser			X
		Piezoelektrischer Effekt	X	X	
		inverser piezoelektrischer Effekt	X	X	
	Wandler-eigenschaften	Material	X	X	
		Maße	X	X	
		Frequenz	X	X	
		Piezoelektrische Konstanten	X	X	
	Schallfelder von scheiben-förmigen Wandlern	Nahfeld (Fresnel-Zone)	X	X	
		Fernfeld (Fraunhofer-Zone)	X	X	
		Divergenz	X	X	
		Einfluss von Frequenz und Durchmesser des Wandlers	X	X	

Inhalt			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
6.3 Kenntnisse über Produkttypen und Möglichkeiten des Verfahrens und seiner abgeleiteten Techniken	Allgemeine Materialfehler	Gießen	X	X	
		Schmieden	X	X	
		Schweißen	X	X	
		Rohre und Rohrleitungen	X	X	
		umgeformte Erzeugnisse	X	X	
		Verbundwerkstoff	X	X	
	Umsetzung der Prüftechniken	nach Produkttypen	X	X	
		nach erwarteten Inhomogenitäten	X	X	
		Normen, Spezifikationen und Vorschriften		X	
	Gesamteigen- schaften des Prüfungsstücks	Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit	X	X	
		Geometrie (zusätzliche Echos aufgrund des streifenden Einfalls und des radialen Einfalls senkrechter Strahlen)	X	X	
		Struktur (Schallschwächung)	X	X	
		Auswahl des Prüfkopfes		X	
		– Inspektionsbezogene Ausführung des Prüfstücks			X
		aufgabenbezogene Prüftechniken		X	
		– Simulationen			X
6.4 Ausrüstung	Ultraschallgeräte	digitale Geräte	X	X	
		– Aufbau	X	X	
		– Funktion	X	X	
		– Impulserzeugung	X	X	
		– Empfang	X	X	
		– Verstärkung	X	X	
		– Darstellung von A-Bildern	X	X	
		– HF-Signal	X	X	
		– Korrektur	X	X	
		– Messung von Spitzen und Flanken	X	X	
		Analog vs. digital		X	X
		Ultraschall-Dickenmessgerät	X	X	
		Automatische und halbautomatische Systeme		X	X
		Manuell			X
		Geschwindigkeit			X
		Abstufung			X
		Wiederholpräzision			X
		Abtastrate			X
	Prüfköpfe	Senkrechtprüfkopf	X	X	
		– Aufbau	X	X	
		– Anwendung	X	X	
		Winkelprüfkopf	X	X	
		– Aufbau	X	X	
		– Effekte an der Grenzfläche Vorsatzkeil/Prüfstück	X	X	

Inhalt			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
		– kritische Winkel	X	X	
		– typische Winkel zum Prüfen von Stahl	X	X	
		– Schallfelder	X	X	
		– Schallaustrittspunkt des Prüfkopfes	X	X	
		– Einschallwinkel	X	X	
		– Änderung des Schallaustrittspunktes des Prüfkopfes und Einschallwinkels aufgrund von Abnutzung	X	X	
		– Halber und ganzer Sprungabstand	X	X	
		– Anwendung	X	X	
		SE-Prüfkopf	X	X	
		– Auslegung	X	X	
		– Umwegfehler	X	X	
		– Schallfeld	X	X	
		– Justierung	X	X	
		– Anwendung	X	X	
		Dynamikbereich			X
		Tauchprüfköpfe (fokussiert, kugelförmig, zylinderförmig, Fermatsche Oberfläche)		X	X
		Messen der Impulslänge			X
		praktische Messung der Richtcharakteristik			X
		Vorlaufkeil (Vorlauf, Krümmung)			X
	Koppelmittel		X	X	
	Verbindungs-kabel	Länge			X
		Impedanz			X
6.5 Informationen vor der Prüfung	Kalibrier-, Vergleichs- und Bezugskörper	Kalibrierkörper Nr. 1	X	X	X
		Kalibrierkörper Nr. 2	X	X	X
		Vergleichskörper	X	X	X
		Auflösung	X	X	X
		– Nah	X	X	X
		– Fern	X	X	X
	Informationen zum Prüfgegenstand	Bestimmung oder Bezeichnung des Materials	X	X	X
		– Zu prüfendes Objekt	X	X	X
		– Herstellungsverfahren	X	X	X
		– Fehlerkatalogisierung		X	X
		– Prüfumfang	X	X	X
		Zugänglichkeit		X	X
		Infrastruktur			X
	Prüfbedingun- gen und Anwendung einer Norm	besondere Prüfbedingungen		X	X
		Anwendungsnorm		X	X
		Phase während der Herstellung oder Nutzungsdauer, in der die Prüfung durchzuführen ist			X

Inhalt			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
		dem Prüfgegenstand zugeordnete Normen		X	X
		Anforderungen an das Prüfpersonal		X	X
		Zulässigkeitskriterien			X
	Technik und Ablauf der Prüfung	Oberflächenbeschaffenheit	X	X	
		Vorbereitung der Oberfläche	X	X	
		Dokumentation im Anschluss an die Prüfung		X	
	Anweisungen	Erstellen einer Verfahrensanweisung			X
		Erstellen einer Prüfanweisung		X	
		Durchführung der Inspektion nach Prüfanweisung	X		
6.6 Prüfung	Techniken	Impuls-Echo und Übertragung	X	X	
		Kontakttechnik	X	X	
		Tandemtechnik		X	
		Tauchtechnik		X	
		Beugungslaufzeittechnik (TOFD, en: time-of-flight diffraction technique)		X	
		Phased-Array-Technik		X	
		Techniken für Ultraschall-Dickenmessungen	X	X	
		– Bezugsreflektoren (Gesetze des Abstandes und der Größe)		X	
		Überprüfung der zusammengeschalteten Ausrüstung	X	X	
		– Abstand-Verstärkung-Größe-Technik (AVG)		X	
		– Gruppen mit mehreren Prüfköpfen			X
		Elektromagnetisch-akustischer Wandler (EMAT, en: electro-magnetic acoustic transducer)		X	
		Entfernungsjustierung	X	X	
		– Einpunktjustierung	X	X	
		– Zweipunktjustierung	X	X	
		Empfindlichkeitsjustierung	X	X	
		– Bezugsreflektoren	X	X	
		– Einzel-Reflektor-Technik (Bezugshöhe)	X	X	
		– Luftgekoppelte Ultraschallprüfung			X
		– Geführte Wellen		X	X
		– Prüfung bei höheren Temperaturen		X	X
		Verschiedene Techniken zur Größenbestimmung		X	
		– Grundlagen		X	
		– Beschränkungen		X	
		– Anforderungen an Vergleichskörper	X	X	
		– Bezugslinien-Technik (DAC, en: distance-amplitude curve)	X	X	

Inhalt			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
		– Transferkorrektur	X	X	
		– Registrierverstärkung (Prüfstufe)	X	X	
		– Fehler bei der Bewertung der Echohöhe	X	X	
		Laser-UT			X
		Überprüfung der Verfahren und Anweisungen auf ihre Effizienz			X
6.7 Bewertung und Protokollierung	Auswertung	relevante Normen			X
		relevante Spezifikationen			X
		relevante Vorschriften			X
		Bewertung (konventionelle oder computergestützte Verfahren, z. B. Echotomographie, SAFT)			X
		Datenspeicherungsprozess (z. B. ALOK)			X
	Nachweis-, Lokalisierungs- und Größen- bestimmungs- techniken	Nachweis	X	X	
		Unterscheidung zwischen Echos von Fehlern und der Geometrie	X	X	
		Lokalisierung (Berechnung, trigonometrische Regeln)	X	X	
		Auswertung		X	
		Bewertung		X	
		Darstellung von A-Bildern	X	X	X
		Darstellung von B-Bildern		X	X
		Darstellung von C-Bildern		X	X
		Darstellung von D-Bildern			X
		Darstellung von E-Bildern			X
		Darstellung von F-Bildern			X
		Darstellung von P-Bildern			X
		Darstellung von S-Bildern			X
		Aufzeichnung von Ergebnissen	X	X	
		Klassifizierung von Ergebnissen	X	X	
		Zulässigkeitsgrenzen	X	X	
		Bewertung der Echohöhe mit dem AVG-Verfahren		X	
		Größenbestimmung und Halbwertsverfahren	X		
		Größenbestimmung mit fester Amplitudenhöhe		X	
		Bewertung der Echohöhe mit Einzel-Reflektor-Technik und DAC-Verfahren	X	X	
		Protokollierung	X	X	
		Prüfen des Inhaltes und Abgleichen von Prüfberichten, Anweisungen und Verfahren			X
6.8 Beurteilung	Bewertung und Bestätigung von Prüfberichten	Anwendung der Zulässigkeitskriterien nach Normen, Vorschriften und Verfahren		X	