



Karlheinz Schiebold

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Sichtprüfung

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Sichtprüfung

Karlheinz Schiebold

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Sichtprüfung

1. Auflage
mit 110 Bildern und 11 Tabellen

Autor

Prof. Dr.-Ing. **Karlheinz Schiebold**

Vormals Gründer und Gesellschafter der
LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH, Mülheim an der Ruhr,
LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH, Magdeburg,
LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH, Bremen,
LVQ-WP Prüflabor GmbH, Magdeburg,
LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH & Co.KG, Magdeburg.

ISBN 978-3-662-44666-9

ISBN 978-3-662-44667-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-44667-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.springer-vieweg.de



Dem Andenken meines Vaters
Prof. Dr.-phil. ERNST SCHIEBOLD
(1894 – 1963)
In dankbarer Verehrung gewidmet
Karlheinz Schiebold

Vorwort

In der Sichtprüfung gibt es gegenwärtig in der Fachliteratur kein umfassendes Lehr- und Arbeitsbuch für Fachleute, Prüfer, Prüfaufsichten und Studenten. Das liegt wohl daran, dass dieses Prüfverfahren erst relativ spät seinen Einzug in die bekannten technischen Prüfverfahren der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung gehalten hat. Viele Fachleute waren in dem Glauben, dass jeder Mensch, der mit seinen Augen sehen kann, bereits für die Sichtprüfung geeignet ist. Mit der Aufnahme dieses Verfahrens in die Norm EN 473 begann sich diese Sichtweise zu ändern, weil sie Qualifikationen und Zertifikate dafür vorgegeben hat.

Weiterhin wird die Sichtprüfung oft im Vorspann anderer zerstörungsfreier Verfahren in der Literatur und insbesondere in den Normen und Regelwerken angeführt. Auch wird das Verfahren zunehmend als technisches Prüfverfahren dargestellt, die Gerätetechnik der Sichtprüfung in den Zusammenhang mit der Computertechnik und Elektronik gebracht, wie beispielsweise beim Einsatz von Videoendoskopen oder der Thermografie. So erscheint es dem Autor doch zweckmäßig, die Sichtprüfung in einem Lehr- und Arbeitsbuch in komplexer Form darzustellen.

Das Buch soll insbesondere seinem Vater, Prof. Dr.-phil. Ernst Schiebold gewidmet sein, einem Pionier der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, dessen Aktivitäten zur Entwicklung der Werkstofftechnik Anfang der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts erstmals an die Öffentlichkeit kamen und der aus seiner Zeit in der damaligen Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft auch zur Entstehung der Gesellschaft zur Förderung Zerstörungsfreier Prüfverfahren und damit zur Gründung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) beigetragen hat. Später war er als Direktor des Amtes für Material- und Warenprüfung (DAMW) in Magdeburg tätig.

Von 1953 bis 1963 hat Prof. Ernst Schiebold als ordentlicher Professor und Direktor des Instituts für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung an der Technischen Hochschule Magdeburg (heute Otto-von-Guericke Universität) in kurzer Zeit eine über die Landesgrenzen hinaus bekannte wissenschaftliche Schule mit dem Schwerpunkt Zerstörungsfreie Prüfung aufgebaut. Aus ihr ging auch sein Sohn Karlheinz hervor, der 1963 sein Studium der Werkstoffkunde und -prüfung abgeschlossen hat. Da zum damaligen Zeitpunkt keine Planstelle am Institut frei war, ging er in die Industrie und begann sein erstes Arbeitsleben im da-

maligen VEB Schwermaschinenbau Kombinat Ernst Thälmann Magdeburg (später SKET SMS GmbH), wo er in der komplexen Werkstoffprüfung über 28 Jahre tätig war.

Dort begann die Laufbahn von Karlheinz Schiebold als Gruppenleiter für Ultraschallprüfung und später als Abteilungsleiter für die Zerstörungsfreie (ZfP) und Zerstörende (ZP) Werkstoffprüfung sowie die Spektrometrie. Aufgrund der im SKET doch außerordentlich umfassend vorhandenen Metallurgie mit einem Stahlwerk, drei Eisengiessereien, zwei Stahlgießereien, einer Großschmiede, zwei Stahlbaubetrieben und zahlreichen Maschinenbaubetrieben war ein umfangreiches Betätigungsfeld gegeben. Die Werkstoffprüfung gewann über die Jahre eine immer größere Bedeutung für die Untersuchung metallurgischer Produkte und vermittelte für ihn dadurch unschätzbare Erfahrungswerte. Schiebold war insgesamt 25 Jahre mit seinen Prüfern in den Betrieben unterwegs und bearbeitete zudem Forschungs- und Entwicklungsthemen für die Betriebe der Metallurgie.

Aus diesen Erfahrungswerten konnte er nach der Wende in seinem zweiten Arbeitsleben im aus der LVQ (Lehr- und Versuchsgesellschaft für Qualität) GmbH in Mülheim ausgegründeten eigenen Unternehmen LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH und im Magdeburger von der Treuhand erworbenen Unternehmen LVQ-WP Prüflabor GmbH schöpfen und manchmal unter großem Zeitdruck Unterrichtsmaterialien, wie Skripte, Übungen, Wissensteste und teilweise auch Prüfungen verfassen. Durch die Anerkennung der Firma LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH als Ausbildungsstätte der DGZfP sind solche Unterlagen in der ZfP in sechs Prüfverfahren und 3 Qualifikationsstufen entstanden und in der ZP in 9 Prüfverfahren über fast zwanzig Jahre erfolgreich zur Weiterbildung von Werkstoffprüfern verwendet worden. Das so verfasste Skript der Stufe 3 nach DIN EN 473 und jetzt nach DIN EN ISO 9712 zur Sichtprüfung, ergänzt durch ausgewählte Inhalte von Beiträgen auf den Jahrestagungen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung, bilden eine wesentliche Grundlage für dieses Buch, das somit auch eine willkommene Hilfe bei der Ausbildung von Werkstoffprüfern der Stufen 2 und 3 auf dem Gebiet der Sichtprüfung sein kann.

Leider ist es in einem solchen Fachbuch nicht möglich, sämtliche Techniken und Anwendungen der Sichtprüfung zu beschreiben. So wird auf theoretische Ableitungen, mathematische Methoden, Modellierungen und bruchmechanische Bewertungen verzichtet. Die Sichtprüfung im Bauwesen und im Eisenbahnwesen und die Thermografie sind nach Ansicht des Autors für sich ein Fachbuch wert. Analoge Überlegungen gelten für die Beschreibung von speziellen Untersuchungen zur automatischen Bildbearbeitung von Sichtprüfungen.

Allen am Entstehen des Buches Beteiligten sei an dieser Stelle gedankt. Besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Angelika und natürlich auch allen Firmen und Personen, von denen ich bei der Vorbereitung und Ausgestaltung dieses Buches Unterstützung erhielt, und insbesondere den Sponsoren, die zum Entstehen und Gelingen des Werkes beigetragen haben.

Dem Springer-Verlag danke ich für die bei der Herausgabe des Buches stets gute Zusammenarbeit.

Mülheim an der Ruhr, Sommer 2014

Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Schiebold



Benutzungshinweise

Bilder, Tabellen, Gleichungen und Literaturzitate werden jeweils innerhalb eines Kapitels (mit Einer-Nummerierung) fortlaufend gezählt, z.B. Bild 3.1 = 1. Bild im Kapitel 3 (Stahlbandmaß und Vergrößerungsmaßstab); [7.5] = Literaturzitat zu Kapitel 7 [7.5] DIN EN 13018, ZfP-Sichtprüfung-Allgemeine Grundlagen, Juli 2001; im Literaturverzeichnis am Ende des Kapitels.

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Verfahrenstechnischer Überblick	3
1.1 Einführung und Aufgaben der Sichtprüfung	3
1.2 Umfang und Bedeutung der Sichtprüfung	5
1.3 Zeitpunkt der Prüfung	7
1.4 Ablauf der Sichtprüfung	7
1.4.1 Erfassung und Definition des Prüfproblems	8
1.4.2 Prüfplanung	8
1.4.3 Prüfdurchführung, Dokumentation	9
2 Physikalische Grundlagen	11
2.1 Definition des Lichtes	11
2.2 Lichtreflexion und Brechung	12
2.3 Lichtdispersion und -farbe	14
2.4 Optische Abbildung	15
2.5 Größen und Einheiten der Lichttechnik	16
2.6 Beleuchtungs- und Betrachtungsbedingungen	17
2.7 Sehfähigkeit und Sehvermögen	18
2.8 Beobachtungsfehler und optische Täuschungen	20
3 Technische Ausrüstungen u. Verfahren der Sichtprüfung	23
3.1 Geräte und Hilfsmittel für die Allgemeine Sichtprüfung	23
3.1.1 Maße	24
3.1.2 Lupen	24
3.1.3 Lichtquellen, Lampen, Leuchten	26
3.1.4 Kontrollspiegel	27
3.1.5 Lehren	28
3.2 Geräte und Hilfsmittel für die Spezielle Sichtprüfung	28
3.2.1 Vergleichsmuster	29
3.2.2 Lehren	29

3.2.3	Mikroskoptechnik	31
3.2.4	Sichtprüfung von Innenräumen – Endoskopie	32
3.2.4.1	Starre Endoskope	33
3.2.4.2	Flexible Endoskope	34
3.2.4.3	Videoendoskope	35
3.2.4.4	Detailgröße bei Endoskopiebildern	37
3.2.4.5	Automatisierte Endoskopie	38
3.3	Messverfahren in der Sichtprüfung	39
3.3.1	Shearografie Inspektionstechnik	39
3.3.2	3D-Phasenmessung	40
3.3.3	Vergleichsmessung	40
3.3.4	Schattenmessung	41
3.3.5	Stereomessung	41
3.3.6	Kameras	41
3.3.7	Radarsensoren	42
3.4	Thermografie als Sichtprüfung	42
3.4.1	Physikalische Grundlagen	43
3.4.2	Gerätetechnik	43
4	Durchführung von Sichtprüfungen	47
4.1	Prüfung von Gusserzeugnissen	47
4.1.1	Sandformguss	47
4.1.2	Kokillenguss	47
4.1.3	Schleuderguss	48
4.1.4	Strangguss	48
4.1.5	Druck- oder Spritzguss	48
4.1.6	Prüfmerkmale	48
4.1.7	Sichtprüfung an Gussstücken nach Regelwerken	49
4.2	Prüfung von Schmiede- und Walzerzeugnissen	58
4.2.1	Umformprodukte	58
4.2.1.1	Freiformschmiedestücke	58
4.2.1.2	Gesenkschmiedestücke	58
4.2.1.3	Walzen	59
4.2.1.4	Kaltverformte Produkte	59
4.2.2	Bewertungskriterien	59
4.2.3	Fehler an Umformprodukten	60
4.2.4	Sichtprüfung von Walzerzeugnissen nach Regelwerk	67
4.3	Prüfung von Schweißverbindungen	67
4.3.1	Verfahrenstechnische Grundlagen	67
4.3.2	Schweißbarkeit, Schweißbeignung, Schweißsicherheit	67
4.3.3	Schweißverfahren	71
4.3.4	Ungänzen in Schweißnähten	72

4.3.5	Durchführung der Sichtprüfung an Schweißnähten	78
4.3.5.1	Allgemeine Voraussetzungen	78
4.3.5.2	Spezielle Sichtprüfung an Schweißnähten nach Regelwerk	78
4.4	Weitere Anwendungen der Sichtprüfung	79
4.4.1	Sichtprüfung an beschichteten Oberflächen	79
4.4.2	Sichtprüfung an korrodierten Oberflächen	80
4.4.2.1	Korrosionsarten	80
4.4.2.1.1	Chemische Korrosion	80
4.4.2.1.2	Elektrochemische Korrosion	80
4.4.2.1.3	Metallphysikalische Korrosion	81
4.4.2.2	Korrosionsformen	81
4.4.2.2.1	Flächige Korrosion	81
4.4.2.2.2	Lokal begrenzte Korrosion	82
4.4.2.2.3	Korrosion mit mechanischer Belastung	85
5	Anwendungen an Industrieanlagen	89
5.1	Aufgaben	89
5.2	Prüfziele	89
5.3	Prüfmerkmale	89
5.4	Messverfahren	90
5.5	Anwendungsbeispiele	90
5.5.1	Sichtprüfung von Wärmetauschern	90
5.5.1.1	Aufgabenstellung	91
5.5.1.2	Untersuchungsergebnisse	91
5.5.1.3	Beurteilung	92
5.5.2	Sichtprüfung in der Flugzeugindustrie	93
5.5.2.1	Anforderungen an die Prüfeinrichtung	94
5.5.2.2	Verfahrensdurchführung	94
5.5.2.3	Prüfmerkmale	95
5.5.3	Sichtprüfung an Turbinen	96
5.5.3.1	Anforderungen an die Prüfeinrichtung	96
5.5.3.2	Verfahrensdurchführung	96
5.5.3.3	Prüfmerkmale	96
5.5.4	Sichtprüfung an Bandstahl	97
5.5.4.1	Anforderungen an die Prüfeinrichtung	98
5.5.4.2	Verfahrensdurchführung	98
5.5.4.3	Prüfmerkmale	98
5.5.5	Sichtprüfung an Komponenten der Kerntechnik	98
5.5.6	Sichtprüfung an speziellen Gussstücken	99
5.5.7	Sichtprüfung an Druckbehältern	100

6	Grenzen der Sichtprüfung	103
6.1	Grenzen der Anzeigefähigkeit	103
6.2	Einfluss von Oberflächenzustand und -behandlung	106
6.3	Einfluss der Ungängenart und -form	106
6.4	Schein-, Geometrie- und Formanzeigen	106
6.5	Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse im Sinne der Produkthaftung	106
7	Normen, Regelwerke, Verfahrensbeschreibungen und Prüfanweisungen ...	109
7.1	Normen, Regelwerke, Standards	109
7.2	Verfahrensbeschreibungen	115
7.3	Prüfanweisungen, Spezifikationen	118
8	Protokollierung und Dokumentation	123
8.1	Protokollierung	123
8.1.1	Erläuterung protokollpflichtiger Angaben	123
8.1.2	Prüfprotokolle	124
8.1.3	Beurteilung und Entscheidungsfindung	124
8.2	Dokumentation	125
8.2.1	Visuelle Auswertung	125
8.2.2	Fotodokumentation	126
8.2.3	Videodokumentation	128
8.2.4	Bildverarbeitung	128
9	Sachverzeichnis	131

Einführung

Die *Sichtprüfung* (nach den international üblichen Abkürzungen für die verschiedenen Prüfverfahren mit VT bezeichnet) ist ein *zerstörungsfreies* Verfahren der Materialprüfung, welches sich vom Funktionsprinzip her als ein eigenständiges Verfahren in die Reihe der anderen etablierten zerstörungsfreien Prüfverfahren

- Radiografische Prüfung RT
- Akustische Prüfung UT
- Magnetische und elektrische Prüfung MT
- Wirbelstromprüfung ET
- Eindringprüfung PT

einordnet, wobei als *zerstörungsfreies* Prüfverfahren (ZfP, engl. NDT/Nondestructive Testing) in Anlehnung an DIN EN ISO 17025 nach [0.1] definiert werden könnte:

Technischer Vorgang zur Bestimmung eines oder mehrerer vorgegebener Qualitätskennwerte eines Werkstoffes oder Erzeugnisses gemäß vorgeschriebener Verfahrensweise, wobei die dazu genutzte Energie (z.B. als Wellen- oder Teilchenstrahlung, elektrisches, magnetisches oder elektromagnetisches Feld, mechanische Schwingungen oder Wellen, Licht, Wärmestrahlung u.a.) in Wechselwirkung mit dem Material tritt, ohne dass dadurch dessen Eigenschaften oder das vorgesehene Gebrauchsverhalten (Beanspruchungsart, -höhe und -dauer) unzumutbar beeinträchtigt werden.

Neben den o.g. werden oft auch solche Verfahren bzw. Untersuchungsmethoden den zerstörungsfreien Prüfverfahren zugeordnet, die traditionell bzw. nach der vorstehenden Begriffsdefinition nicht in diese Kategorie einzuordnen sind oder sich wissenschaftlich verselbstständigt haben, wie z.B. die Röntgen-Feinstrukturuntersuchung, die röntgenographische Spannungsmessung, die Spektralanalyse, die akustische Emission, Verformungsmessungen, Rauheitsmessung u.a. [0.2]

In diesem Fachbuch werden DIN EN ISO-Normen des gegenwärtigen Standes 2014 zitiert, um die Fachleute zu befähigen, ohne die Normen detailliert zu lesen, die Normen in ihrer täglichen Arbeit umsetzen zu können. Deshalb sind entsprechende Erläuterungen zu den Texten, Tabellen und Bildern in den Normen eingearbeitet worden.

Literatur

[0.1] Mc Master, Nondestructive Testing Handbook, ASNT 1959

[0.2] DGZfP Kursprogramm 2013