

Karlheinz Schiebold

# Zerstörende Werkstoffprüfung

Mechanisch-technologische Verfahren

---

# Zerstörende Werkstoffprüfung

---

Karlheinz Schiebold

# Zerstörende Werkstoffprüfung

Mechanisch-technologische Verfahren

Ein Lehr- und Arbeitsbuch mit  
144 Abbildungen und 20 Tabellen

 Springer Vieweg

Karlheinz Schiebold  
Mülheim a.d.R., Deutschland

ISBN 978-3-662-57796-7  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57797-4>

ISBN 978-3-662-57797-4 (eBook)

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 GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

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. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Thomas Zipsner

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany



Dem Andenken meines Vaters

**Prof. Dr.-phil. ERNST SCHIEBOLD**

(1894 – 1963)

In dankbarer Verehrung gewidmet

Karlheinz Schiebold

## Vorwort

In der Werkstoffprüfung gibt es gegenwärtig umfangreiche Fachliteratur für Fachleute, Studenten und Teilnehmer an Weiterbildungsmaßnahmen und weiterhin wird die Werkstoffprüfung im Zusammenhang mit anderen zerstörenden Verfahren in der Literatur und insbesondere in den Normen und Regelwerken angeführt. Da sich in der Zwischenzeit in der Technik viele neue Anwendungsgebiete erschlossen haben, erscheint es dem Autor doch zweckmäßig, die Werkstoffprüfung 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 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 damaligen 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 zwei Stahlwerken, 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 GmbH in Mülheim an der Ruhr (Lehr- und Versuchsgesellschaft für Qualität) 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 als Ausbildungsstätte des DVM in 9 Prüfverfahren über fast zwanzig Jahre erfolgreich zur Weiterbildung von Werkstoffprüfern verwendet worden. Die so verfassten Skripte, ergänzt durch ausgewählte Inhalte von Beiträgen auf den Jahrestagungen des Deutschen Verbandes für Materialprüfung (DVM), bilden eine wesentliche Grundlage für diese Bücher der zerstörenden Werkstoffprüfung, die somit auch eine willkommene Hilfe bei der Ausbildung von Werkstoffprüfern auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung sein kann.

Leider ist es in einem Lehr- und Fachbuch nicht möglich, sämtliche Techniken und Anwendungen der Werkstoffprüfung zu beschreiben. Auch wird auf theoretische Ableitungen, mathematische Methoden, Modellierungen und bruchmechanische Bewertungen verzichtet. Folgende Bücher sind in dieser Reihe von Büchern zur Werkstoffprüfung zusammengestellt:

- Chemisch analytische und spektrometrische Werkstoffprüfung,
- Mechanisch technologische Werkstoffprüfung,
- Metallographische Werkstoffprüfung und Dokumentation der Prüfergebnisse,
- Werkstoff- und Wärmebehandlungstechnik.

Die beiden letzten Gebiete sind in diesem Zusammenhang erforderlich, weil die Prüfverfahren ohne Kenntnisse der Grundlagen der Werkstoffe und der Wärmebehandlung sowie ohne Dokumentation der Prüfergebnisse nicht fachlich begründet auszuführen sind.

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 dieser Bücher Unterstützung erhielt, und insbesondere den Sponsoren, die zum Entstehen und Gelingen des Werkes beigetragen haben. Dem Springer Vieweg Verlag danke ich für die bei der Herausgabe der Bücher stets gute Zusammenarbeit.

Mülheim an der Ruhr 2018

Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Schiebold



### **Benutzungshinweise**

Bilder, Tabellen, Gleichungen und Literaturzitate werden jeweils *innerhalb eines Kapitels* fortlaufend gezählt, z.B. Bild 2.4 = 4. Bild im Kapitel 2; oder [ 5 ] = Literaturzitat 5 im Literaturverzeichnis am Ende des Buches.

In diesem Buch werden die *Maßeinheiten* des Internationalen Einheitensystems (SI) einschliesslich der daraus abgeleiteten dezimalen Vielfachen und Teile wie Milli, Mega usw. verwendet.

# INHALTSVERZEICHNIS

Lfd.-Nr.	Inhalt	Seite
<b>0.</b>	<b>Einführung</b>	14
<b>1.</b>	<b>Mechanische Prüfverfahren</b>	16
1.1	Zugversuch	16
1.1.1	Grundlagen	16
1.1.2	Durchführung des Zugversuches	21
1.1.3	Prüfgeräte, Zubehör	25
1.2	Druckversuch	28
1.2.1	Grundlagen	28
1.2.2	Durchführung des Druckversuchs	29
1.2.3	Prüfgeräte, Zubehör	31
1.3	Biegeversuch	32
1.3.1	Grundlagen	32
1.3.2	Durchführung des Biegeversuches	34
1.3.3	Prüfgeräte, Zubehör	34
1.4	Verdrehversuch	36
1.4.1	Grundlagen	36
1.4.2	Durchführung des Verdrehversuches	38
1.4.3	Prüfgeräte, Zubehör	39
1.5	Scherversuch	40
1.5.1	Grundlagen	40
1.5.2	Durchführung des Scherversuches	40
1.5.3	Prüfgeräte, Zubehör	41
1.6	Kerbschlagbiegeversuch	42
1.6.1	Grundlagen	42
1.6.2	Durchführung des Kerbschlagbiegeversuches	46
1.6.3	Prüfgeräte, Zubehör	48
1.7	Bruchmechanik	49
1.7.1	Grundsätzliches, Proben und Versuchsdurchführung	49
1.7.2	Anwendungen der Bruchmechanik	51
1.7.2.1	Einfluss der Fehlerart und Rissgeometrie auf die Bruchzähigkeit	51
1.7.2.2	Dimensionierung und Werkstoffauswahl	52
1.7.2.3	Spezielle Anwendungsgebiete	53
1.8	Zeitstandversuch	55
1.8.1	Einführung	55
1.8.2	Begriffe	56
1.8.3	Proben	57
1.8.4	Versuchsdurchführung	59
1.8.5	Prüfmaschinen	60
1.9	Dauerschwingversuch	63
1.9.1	Einführung	63
1.9.2	Begriffe	67
1.9.3	Versagen eines Werkstoffes bei Schwingbeanspruchung	68
1.9.4	Proben und Versuchsdurchführung	68
1.9.5	Prüfmaschinen	72
1.10	Härteprüfung	78
1.10.1	Einführung in die Stationäre Härteprüfung	78
1.10.2	Ritz- und Mikrohärtprüfung	79
		10

<b>Lfd.-Nr.</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1.10.3	Härteprüfung nach Vickers	80
1.10.3.1	Anwendungsbereich	80
1.10.3.2	Durchführung des Verfahrens	80
1.10.3.3	Prüfgeräte	84
1.10.4	Härteprüfung nach Brinell	85
1.10.4.1	Anwendungsbereich	85
1.10.4.2	Durchführung des Verfahrens	87
1.10.4.3	Prüfgeräte	88
1.10.5	Härteprüfung nach Rockwell	90
1.10.5.1	Anwendungsbereich	90
1.10.5.2	Durchführung des Verfahrens	91
1.10.6	Mobile Härteprüfung	95
1.10.6.1	Dynamisch-elastische Verfahren	96
1.10.6.1.1	Skleroskop, Duroskop	96
1.10.6.1.2	Equotip-Härteprüfgerät	97
1.10.6.1.3	UCI-Verfahren	100
1.10.6.2	Dynamisch-plastische Verfahren	102
1.10.6.2.1	Poldihammer	102
1.10.6.2.2	Baumannhammer	104
1.11	Fehlermöglichkeiten bei der Härteprüfung	104
<b>2.</b>	<b>Technologische Prüfverfahren</b>	<b>105</b>
2.1	Biegeversuch (Faltversuch)	106
2.1.1	Grundlagen	106
2.1.2	Vorbereitung der Biegeprobe	107
2.1.3	Vorbereitung der Prüfmaschine	107
2.1.4	Versuchsdurchführung	108
2.1.5	Aufschweißbiegeversuch	109
2.1.6	Auswertung	109
2.2	Hin- und Herbiegeversuch	110
2.3	Tiefungsversuche	111
2.3.1	Tiefungsversuch nach Erichsen	111
2.3.2	Tiefzieh-Näpfchenversuch nach Erichsen	112
2.3.3	Tiefzieh-Weitungsversuch	113
2.4	Stirnabschreckversuch	114
2.5	Ringaufdornversuch	114
2.6	Weitere Verfahren zur Prüfung der Kaltumformbarkeit	116
<b>3.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>117</b>
<b>4.</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>121</b>



## 0. Einführung

Die Werkstoffprüfung dient der qualitativen und quantitativen Bestimmung von Werkstoffeigenschaften. Das ist eine Voraussetzung für die Berechnung von Bauteilen in der Konstruktion, für die Verarbeitung des Materials zum Bauteil, für die Qualitätssicherung und für die Beurteilung von Schadensfällen. Geht man zunächst von den Begriffen aus, die mit der Bestimmung von Werkstoffeigenschaften in Verbindung stehen, so bekommt man eine gute Einführung in das Fachgebiet.

Werkstoff = Material, das technisch verwertbare Eigenschaften in mindestens einem Aggregatzustand besitzt, technologisch und wirtschaftlich herstellbar und während sowie nach Gebrauch umweltverträglich ist.

Prüfen = Feststellen, ob eine Eigenschaft an einem Gegenstand vorhanden ist bzw. welche Größe eine vorhandene Eigenschaft hat.

Die nachfolgend beschriebenen Prüfverfahren geben einen Einblick in die mechanischen und technologischen Prüfverfahren und die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Durchführung der Versuche. Die dabei ermittelten Werkstoffkennwerte sind unter anderem für die Grundlagenforschung, die Entwicklung neuer Werkstoffe und die Verbesserung ihrer Eigenschaften, die Berechnung der erforderlichen Werkstückdimensionierung, die Bewertung der Bauteileigenschaften und für die Qualitätssicherung erforderlich.

Die Prüfverfahren kann man nach verschiedenen Gesichtspunkten aufgliedern. Ein Beispiel zeigt Tabelle 0.1. Für die Werkstoffprüfung ist hier jede Zeile als Ebene zu verstehen, der konkrete Prüfverfahren zuzuordnen sind.

Materialprüfung	
Rohstoffprüfung	Werkstoffprüfung
Wissenschaftliche Versuche	Technologische Versuche
Chemische Untersuchungen	Physikalische Untersuchungen
Zerstörende Werkstoffprüfung	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
Statische Prüfungen	Dynamische Prüfungen

Tabelle 0.1 Materialprüfung, Gliederung der Sachgebiete [ 4 ]

Die mechanischen Prüfverfahren sind vor allem darauf orientiert, das Kraft / Verformungsverhalten der Werkstoffe durch geeignete quantifizierbare Werkstoffkenngrößen zu beschreiben. Ein Beispiel dafür ist der Zugversuch mit der Ermittlung der Streckgrenze. Bei den mechanischen Prüfverfahren ist es äußerst wichtig, die Art des zeitlichen Beanspruchungsablaufes nachzuahmen. Dafür ist die Einteilung nach Tabelle 0.2 zweckmäßig:

Werkstoffprüfung		
Statische Prüfungen	Dynamische Prüfungen	Zyklische Prüfungen

Tabelle 0.2 Einteilung der mechanischen Prüfverfahren nach dem zeitlichen Beanspruchungsablauf [ 8 ]

### Statische Prüfungen:

Unter statischen Prüfungen versteht man solche, bei denen die Geschwindigkeit für das Aufbringen und Steigern der Prüflast verhältnismäßig gering ist, so dass diese keinen signifikanten Einfluss auf das Prüfungsergebnis hat. In vielen Fällen wird es dabei, da eine rein statische Belastung meistens nicht durchführbar ist, notwendig sein, die Belastungsgeschwindigkeit so nach oben zu begrenzen, dass ein Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit mit Sicherheit noch vermieden wird. So beträgt zum Beispiel beim Zugversuch die maximal zulässige Spannungszunahmegeschwindigkeit bei Raumtemperatur für Stahl 30 N/mm<sup>2</sup>s und für NE-Metalle 10 N/mm<sup>2</sup>s.

### Dynamische Prüfungen:

Da Werkstoffe mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit verspröden, sind Versuche mit schlagartiger Belastung nötig. Messgröße ist dabei die Brucharbeit des Werkstoffs. Hierbei wird die Verformungsrichtung während des Versuchs nicht geändert, die Belastung jedoch nimmt stetig zu. Eine besondere Art dieser Prüfung ist die Bestimmung der Standfestigkeit mit lang anhaltenden Belastungen und meistens bei erhöhter Temperatur.

### Zyklische Prüfungen:

Im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau werden Werkstoffe häufig durch Schwingungen beansprucht. Der Werkstoff muss deshalb bei zeitlich periodischer (zyklischer) Beanspruchung gegen Versagen gesichert werden.

In diesem Buch werden folgende Prüfverfahren beschrieben:

- Zugversuche
- Druckversuche
- Biegeversuche
- Kerbschlagbiegeversuche
- Zeitstandversuche
- Dauerschwingversuche
- Härteprüfung.

# 1. Mechanische Prüfverfahren

## 1.1 Zugversuch

### 1.1.1 Grundlagen

Die Herstellung der Proben erfolgt nach DIN EN ISO 6892-1 [ 46 ]. Form und Maße der Proben hängen von Form und Maßen der Erzeugnisse aus metallischen Werkstoffen ab, deren mechanische Kenngrößen bestimmt werden sollen.

Die Probe wird üblicherweise aus dem Erzeugnis oder einem gepressten oder gegossenen Rohteil herausgearbeitet. Erzeugnisse mit gleichbleibendem Querschnitt (Profile, Stäbe, Drähte) sowie gegossene Probstücke (z. B.) Gusseisen, NE-Legierungen) dürfen ohne Bearbeitung geprüft werden.

Der Probenquerschnitt darf kreisförmig, quadratisch, rechteckig oder ringförmig sein oder in besonderen Fällen auch eine andere Form haben (Bild 1.1).

Erzeugnisform				In der Norm
Flacherzeugnisse	Draht	Stäbe	Profile	
				
Wanddicke d (mm)	Durchmesser oder Seitenlänge (mm)			
0,1 ≤ d < 3	-			
-	< 4			
≥ 3	≥ 4			
Rohre				E

Bild 1.1 Erzeugnisformen [ 4 ]

Proben, bei denen das Verhältnis von Anfangsmesslänge zum Anfangsquerschnitt durch die Gleichung

$$L_0 = k \times \sqrt{S_0}$$

ausgedrückt wird, werden als proportionale Proben bezeichnet. Der international festgelegte Wert für k ist 5,65. Die Anfangsmesslänge  $L_0$  darf nicht kleiner als 20 mm sein. Wenn der Probenquerschnitt zu klein ist, um diese Bedingung bei  $k = 5,65$  zu erfüllen, darf ein größerer Faktor (vorzugsweise  $k = 11,3$ ) oder eine nichtproportionale Probe angewendet werden. Bei der Verwendung von nichtproportionalen Proben wird die Anfangsmesslänge ( $L_0$ ) unabhängig von dem Anfangsquerschnitt ( $S_0$ ) gewählt. Die Maße und Toleranzen der Proben müssen den Angaben in den jeweiligen Anhängen B - E entsprechen.