

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD

**Richtlinie
DKD-R 3-10
Blatt 3**

**Dynamische Verifizierung von
Werkstoffprüfmaschinen mit
applizierten Proben**

Ausgabe 05/2019

<https://doi.org/10.7795/550.20190507B>



	<p style="text-align: center;">Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20190507B</p>	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	2 / 20

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-8021

Internet: www.dkd.eu

	<p style="text-align: center;">Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20190507B</p>	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	3 / 20

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 3-10 Blatt 3 Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben, Ausgabe 05/2019, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20190507B

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.



Autoren:

Siegfried Gerber, MPA Universität Stuttgart, Stuttgart;
 Christian Häuser, MPA Kalibrierdienst GmbH, Berlin;
 Dr. Michael Kobusch, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig und Berlin;
 Daniel Schwind, GTM Testing and Metrology GmbH, Bickenbach.

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit den Fachausschüssen „Kraft und Beschleunigung“ sowie „Werkstoffprüfmaschinen“ des DKD.

	<p style="text-align: center;">Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20190507B</p>	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	4 / 20

Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.

Kalibrierungen der akkreditierten Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Die vorliegende Richtlinie wurde im Rahmen der Fachausschüsse *Kraft und Beschleunigung* sowie *Werkstoffprüfmaschinen* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	<i>Definition dynamischer Kräfte</i>	6
1.2	<i>Zweck und Geltungsbereich</i>	6
1.3	<i>Prinzipieller Ablauf einer Verifizierung</i>	6
2	Symbole	7
3	Vorbereitende Maßnahmen	8
3.1	<i>Vorbereitung der Werkstoffprüfmaschine</i>	8
3.2	<i>Vorbereitung der applizierten Probe, Vorversuche</i>	8
4	Anzeigejustage der applizierten Probe bei statischer Belastung	10
5	Messwertaufzeichnung.....	11
5.1	<i>Abtastrate</i>	11
5.2	<i>Filtertechnik</i>	13
5.3	<i>Synchronisation</i>	15
5.4	<i>Verwendung von Analogausgängen</i>	15
5.5	<i>Arbeiten mit statischen Anzeigen</i>	15
6	Ermittlung der Anzeigeabweichung unter dynamischer Belastung.....	16
6.1	<i>Synchronisierung der Messwerte</i>	16
6.2	<i>Scheitelwerte ermitteln</i>	16
6.3	<i>Ermittlung der Abweichungen</i>	16
6.4	<i>Plausibilitätsprüfung</i>	17
6.5	<i>Weitere Verifizierungspunkte</i>	17
7	Kalibrierschein.....	18
8	Literaturverzeichnis	19

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	6 / 20

1 Einleitung

1.1 Definition dynamischer Kräfte

Eine dynamische Kraft ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung, wobei die Masse oder die Beschleunigung zeitlich veränderlich sind. Das Kalibrieren dynamischer Kräfte ermöglicht die Bestimmung der frequenzabhängigen (dynamischen) Eigenschaften der kraftmess-technischen Anwendung.

1.2 Zweck und Geltungsbereich

Diese Richtlinie dient zur dynamischen Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen unter Verwendung von applizierten Proben. Die dynamische Verifizierung ermöglicht Kenntnisse über das dynamische Verhalten der Werkstoffprüfmaschine und sichert die erhaltenen Ergebnisse der Werkstoffuntersuchung ab. Da die nach dieser Richtlinie eingesetzten applizierten Proben ohne weitere Rückführung Verwendung finden, handelt es sich bei dem beschriebenen Verfahren nicht um eine Kalibrierung (in gegensätzlicher Auffassung zu [1] bzw. [2]), sondern um eine zusätzliche Verifizierung der dynamischen Eigenschaften.

Prinzipiell wird bei dem Verifizierungsverfahren davon ausgegangen, dass die von der Prüfmaschine ausgeübten und angezeigten dynamischen Kräfte den an der Probe ankommenden dynamischen Kräften entsprechen [3]. Massenträgheiten der Probenhalter dürfen nur einen vernachlässigbaren Einfluss haben. In der Regel muss die Werkstoffprüfmaschine dazu über eine dynamische Kompensation verfügen, bei der das Kraftsignal durch Beschleunigungsmessung korrigiert ist.

Die Werkstoffprüfmaschine muss als Rückführungsnachweis zusätzlich immer eine statische Kalibrierung nach DIN EN ISO 7500 aufweisen.

1.3 Prinzipieller Ablauf einer Verifizierung

Im ersten Schritt ist die Werkstoffprüfmaschine nach DIN EN ISO 7500-1 zu kalibrieren, um die statisch ausgeübte Kraft auf das nationale Normal rückzuführen. Die Reihenfolge, dass die statische Kalibrierung vor der dynamischen Verifizierung erfolgt, muss eingehalten werden.

Im zweiten Schritt wird eine applizierte Probe in die Werkstoffprüfmaschine eingebaut und deren Anzeige bei statischer Belastung auf Übereinstimmung mit der Kraftanzeige der Werkstoffprüfmaschine justiert ([4] und [5]).

Der dritte Schritt beinhaltet die dynamische Belastung der applizierten Probe und die Überprüfung der Übereinstimmung von Prüfmaschinenanzeige und Anzeige der applizierten Probe. Die entsprechenden Messwerte müssen aufgezeichnet und ausgewertet werden, um in das Ergebnis der dynamischen Verifizierung einfließen zu können.

In einem vierten Schritt wird bei erneuter statischer Belastung die Übereinstimmung der Anzeige der applizierten Probe mit der Kraftanzeige der Werkstoffprüfmaschine noch einmal überprüft.

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	7 / 20

2 Symbole

Abkürzungen/ Formelzeichen	Einheit	Erläuterung
$F_{P \max, n}$	N	Kraftanzeige der applizierten Probe im oberen Scheitelpunkt (Maximum) des Schwingspiels n
$F_{P \min, n}$	N	Kraftanzeige der applizierten Probe im unteren Scheitelpunkt (Minimum) des Schwingspiels n
$F_{WPM \max, n}$	N	Kraftanzeige der Werkstoffprüfmaschine im oberen Scheitelpunkt (Maximum) des Schwingspiels n
$F_{WPM \min, n}$	N	Kraftanzeige der Werkstoffprüfmaschine im unteren Scheitelpunkt (Minimum) des Schwingspiels n
$\Delta F_{\max, n}$	N	Differenz der Anzeigen von Werkstoffprüfmaschine und applizierter Probe im oberen Scheitelpunkt (Maximum) des Schwingspiels n
$\Delta F_{\min, n}$	N	Differenz der Anzeigen von Werkstoffprüfmaschine und applizierter Probe im unteren Scheitelpunkt (Minimum) des Schwingspiels n
n	1	Zähler der Schwingspiele
$q_{\max, n}$	%	Relative Abweichung im oberen Scheitelpunkt (Maximum) des Schwingspiels n
$q_{\min, n}$	%	Relative Abweichung im unteren Scheitelpunkt (Minimum) des Schwingspiels n
$S_{P, n}$	N	Schwingbreite des Schwingspiels n

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	8 / 20

3 Vorbereitende Maßnahmen

3.1 Vorbereitung der Werkstoffprüfmaschine

Die Werkstoffprüfmaschine muss für die Werkstoffprüfung vollständig eingerichtet sein. Zur Sicherstellung des korrekten Prüfaufbaus sollten Vorversuche mit einer applizierten Probe vorgenommen werden, deren Bauform den Probekörpern der späteren Werkstoffprüfung entspricht.

Dabei ist folgendes zu beachten:

1. Es sollten die gleichen Prüfbedingungen (Umgebungsbedingungen, Prüfmaschinenparameter usw.) vorliegen, wie bei der späteren Werkstoffprüfung.
2. Eine Biegung durch Schiefzug muss ausgeschlossen werden:
 - a. Bei Rundproben, die sich bauartbedingt leicht zentrieren lassen, ist die Spannvorrichtung so auszurichten, dass der Kraftfluss zentrisch in der Probenachse erfolgt.
 - b. Flachproben sowie Bauteile, deren Einbaulage nicht genau reproduzierbar ist, sind problematischer im Verifizierungsprozess. Hier empfiehlt sich die Verwendung von Einbauhilfen, um die Reproduzierbarkeit der Versuchsdurchführung zu erhöhen.
3. Hinweise über Probenform und Einspannvorrichtung sind der jeweiligen Werkstoffprüfnorm zu entnehmen.

3.2 Vorbereitung der applizierten Probe, Vorversuche

Es sollte eine applizierte Probe verwendet werden, die möglichst identische Maße und Werkstoffdichte wie die zu prüfenden Proben aufweist. Ideal ist die Verwendung einer der zu prüfenden Proben, der an geeigneter Stelle Dehnungsmessstreifen (DMS) appliziert werden.

Anmerkung: Je nach gewünschter Belastungshöhe ist es gegebenenfalls notwendig, die applizierte Probe größer zu dimensionieren oder aus einem festeren Werkstoff zu fertigen. Werkstoffe, deren E-Modul von der Dehngeschwindigkeit abhängig ist, sind für den Einsatz als applizierte Probe ungeeignet.

Es ist darauf zu achten, dass das Nullsignal der eingebauten und unbelasteten applizierten Probe (Anzeige der Prüfmaschine = 0 kN) etwa dem Nullsignal im ausgebauten Zustand entspricht. Ist dies nicht der Fall, deutet dies auf eine fehlerhafte Ausrichtung der Werkstoffprüfmaschine hin. Für einen reproduzierbaren Einbau einer applizierten Probe wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

1. Applizierte Probe in die Werkstoffprüfmaschine einbauen und festklemmen (siehe Abbildung 1).
2. Die Werkstoffprüfmaschine und applizierte Probe mit den gewünschten dynamischen Kräften vorbelasten.
3. Den Maximalkraftwert (oberen Scheitelwert der dynamischen Belastung) statisch anfahren und über mindestens 30 s halten.
4. Entlasten und Klemmung der applizierten Probe auf einer Seite lösen.
5. Nach mindestens 30 s die Kraftanzeige der Werkstoffprüfmaschine und der applizierten Probe auf Null abgleichen.
6. Applizierte Probe wieder klemmen.
7. Kraftwert Null nach der Anzeige der Werkstoffprüfmaschine anfahren. Die Anzeige der applizierten Probe sollte der im unbelasteten Zustand abgeglichenen Nullanzeige

entsprechen. Abweichungen von Null deuten möglicherweise auf eingeleitete Störgrößen hin und sind zu protokollieren.

8. Die Anzeige der applizierten Probe auf Null stellen.
9. Die applizierte Probe statisch vorbelasten: den Maximalkraftwert (oberen Scheitelwert der dynamischen Belastung) statisch anfahren, über mindestens 30 s halten und entlasten (Anzeige der Prüfmaschine = 0 kN). Gegebenenfalls die Anzeige der applizierten Probe erneut auf Null stellen, die Differenz zur vorhergehenden Null ist zu protokollieren.

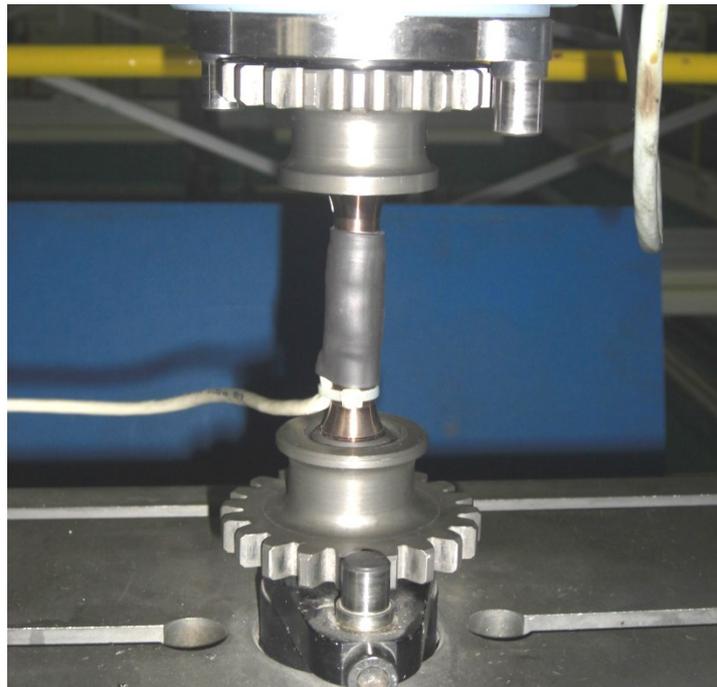


Abbildung 1: Eingebaute applizierte Rundprobe mit Spannzeug

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	10 / 20

4 Anzeigejustage der applizierten Probe bei statischer Belastung

Da bei den applizierten Proben systembedingt mit relativen Linearitätsabweichungen von einigen 10^{-3} zu rechnen ist, müssen zur Justage zunächst die zur dynamischen Verifizierung gewünschten Kräfte (Kraftbereich) festgelegt werden. Ist die dynamische Verifizierung nur bei wenigen und nahe beieinander liegenden Kraftwerten gewünscht, kann die Anzeigejustage der applizierten Probe gegebenenfalls mittels eines linearen Faktors erfolgen. Ist die dynamische Verifizierung über einen größeren Wertebereich gewünscht, sollte die Anzeigejustage nichtlinear erfolgen, beispielsweise mit einer kubischen Funktion.

Aus dem unbelasteten Zustand (Anzeige der Prüfmaschine = 0 kN) sind die zu prüfenden Maximalwerte (obere Scheitelwerte der dynamischen Prüfung) und Minimalwerte (untere Scheitelwerte der dynamischen Prüfung) abwechselnd mindestens dreimal statisch anzufahren und die Anzeige der applizierten Probe zu notieren, um die Justageparameter zur Anpassung an die Maschinenanzeige zu ermitteln.

Nach der Justage ist die Übereinstimmung der Anzeigen nochmals zu überprüfen. Dazu sind folgende Kraftwerte je drei Mal anzufahren:

- Maximalwert
- Maximalwert + 5 % der Schwingbreite
- Maximalwert - 5 % der Schwingbreite
- Minimalwert
- Minimalwert + 5 % der Schwingbreite
- Minimalwert - 5 % der Schwingbreite

In den angefahrenen Kräften sollten die Anzeigeabweichung der applizierten Probe (Mittelwert aus den drei Belastungen) sowie die Wiederholpräzision den bei der statischen Kalibrierung nach DIN EN ISO 7500-1 ermittelten Werten entsprechen. Die Anzeigeabweichung und Wiederholpräzision sind zu protokollieren.

Um die Richtigkeit der ermittelten Faktoren zu überprüfen, kann vor der dynamischen Prüfung eine quasistatische Prüfung mit sehr geringen Beschleunigungen (d.h. niedrige Schwingfrequenzen und kleine Kraftamplituden) durchgeführt werden, sofern dies mit der Maschine möglich ist.

Nach dem Abgleich darf die applizierte Probe nicht mehr aus der Klemmvorrichtung gelöst werden, da durch den Einfluss einer erneuten Klemmung der zuvor durchgeführte Abgleich nicht mehr gewährleistet ist.

5 Messwertaufzeichnung

Neben den Anzeigewerten der Werkstoffprüfmaschine und der applizierten Probe ist der jeweilige Zeitpunkt der Messwertaufnahme aufzuzeichnen. Die Rohsignale sollten bevorzugt zusätzlich in „mV/V“ oder „V“ aufgezeichnet werden, um für die anschließende Plausibilitätsprüfung zur Verfügung zu stehen.

Zur Aufzeichnung sollten mindestens 50 Schwingenspiele herangezogen werden.

5.1 Abtastrate

Um die Scheitelpunkte der wirkenden dynamischen Kräfte mit ausreichender Genauigkeit bestimmen zu können, ist eine ausreichend hohe Abtastrate nötig. Dabei ist zu beachten, dass sich mit höherer Abtastrate das Signalrauschen vergrößert, wenn für die Signalfilterung ein Tiefpassfilter mit entsprechend höherer Grenzfrequenz zur Anwendung kommt.

Bei einer periodischen Sinus-Belastung sollten nicht weniger als 80 Abtastpunkte pro Schwingenspiel aufgezeichnet werden.

Bei einer periodischen Dreiecksfunktion ändert sich der Kraftverlauf im Scheitelpunkt wesentlich schneller, als bei einer Sinusfunktion (siehe Abbildung 2, bzw. Abbildung 3 bis Abbildung 5). Deshalb ist die Abtastrate höher zu wählen. Die Beschleunigung im Scheitelpunkt geht theoretisch gegen unendlich, und praktisch wird die Spitze des Dreiecks verrundet. Bei dreieckförmigem Kraftverlauf sollten etwa 200 Wertepaare pro Schwingenspiel erfasst werden, damit die Amplitudenabweichungen begrenzt bleiben (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5).

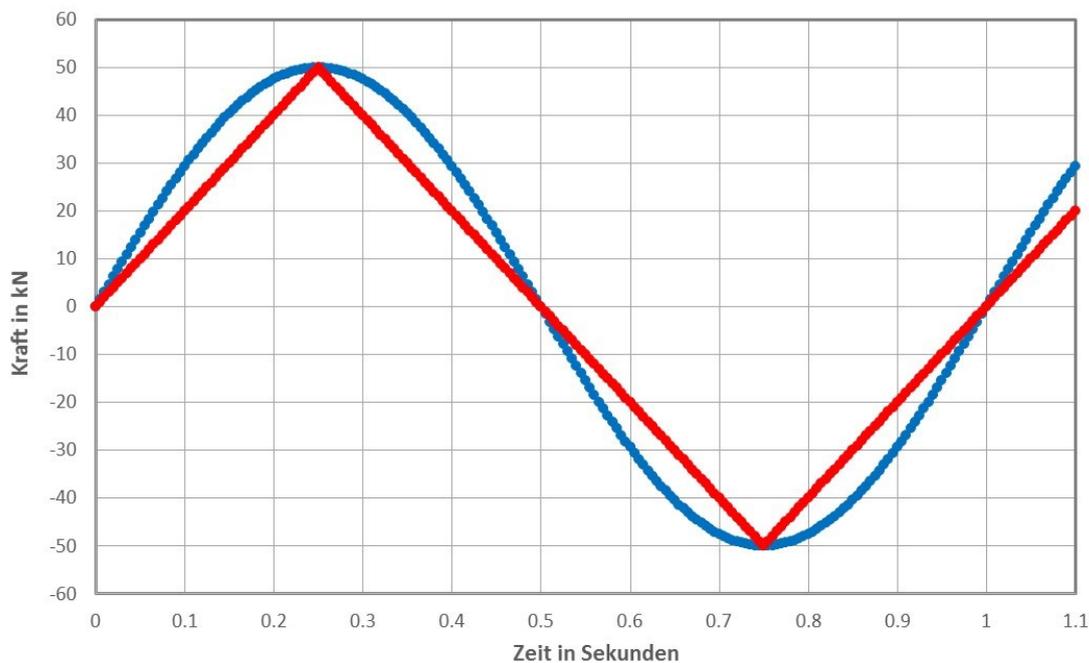


Abbildung 2: Signalverlauf bei Sinus- und Dreiecksbelastung

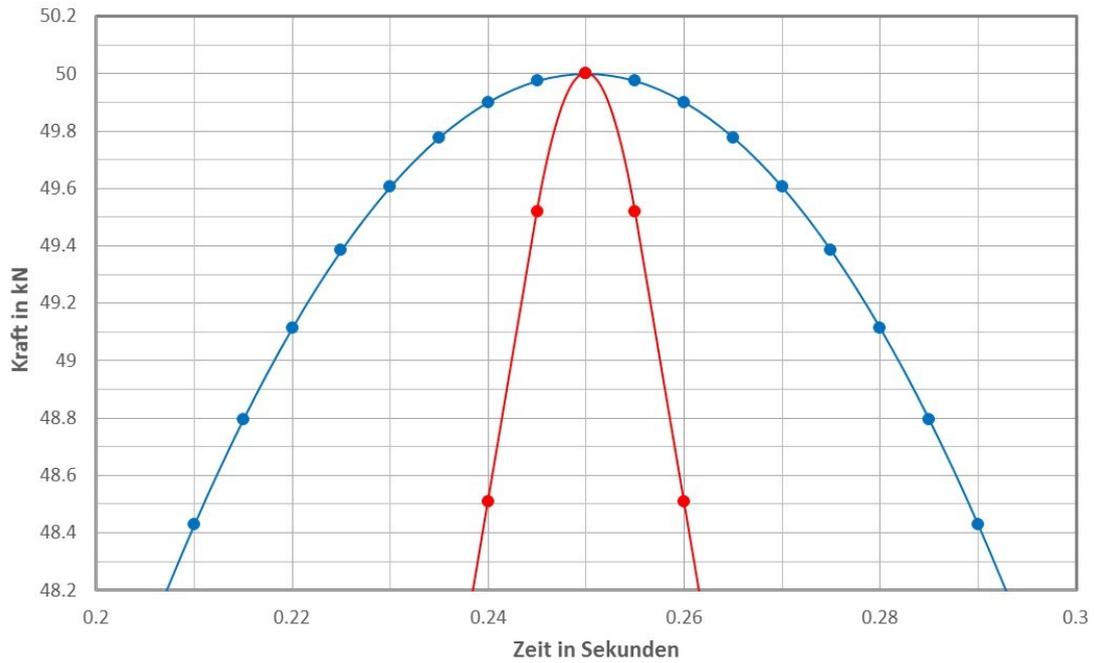


Abbildung 3: Abtastung einer Sinus- und Dreieckschwingung im Vergleich, 200 Abtastpunkte pro Schwingenspiel, Signalspitzen verrundet, Datenpunkt auf Scheitelpunkt

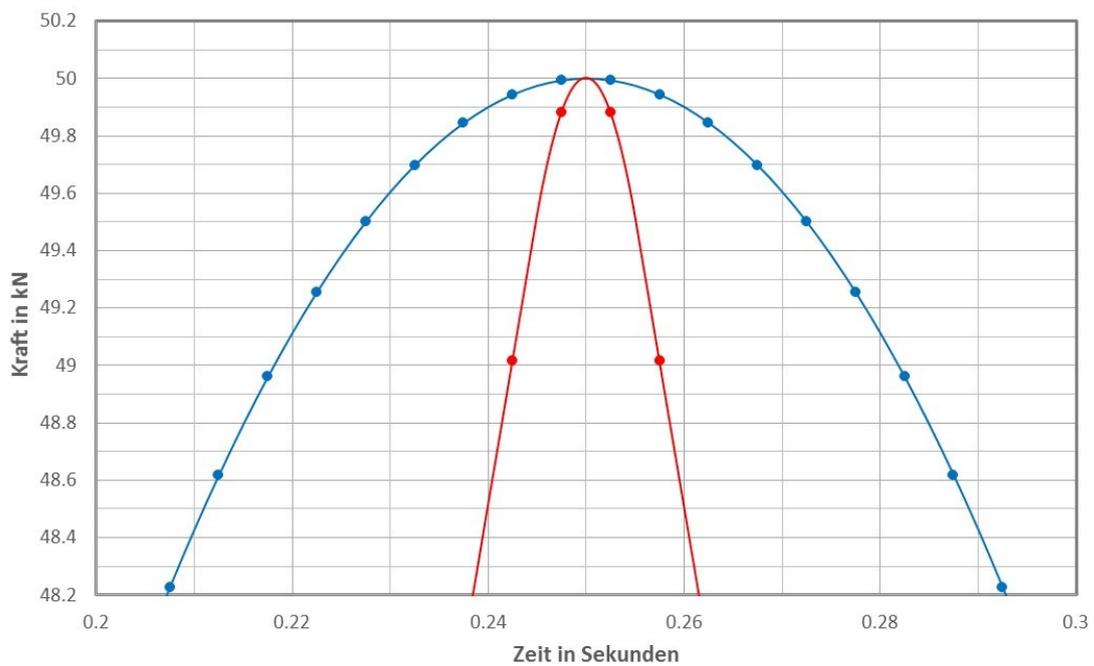


Abbildung 4: Abtastung einer Sinus- und Dreieckschwingung mit 200 Abtastpunkten pro Schwingenspiel

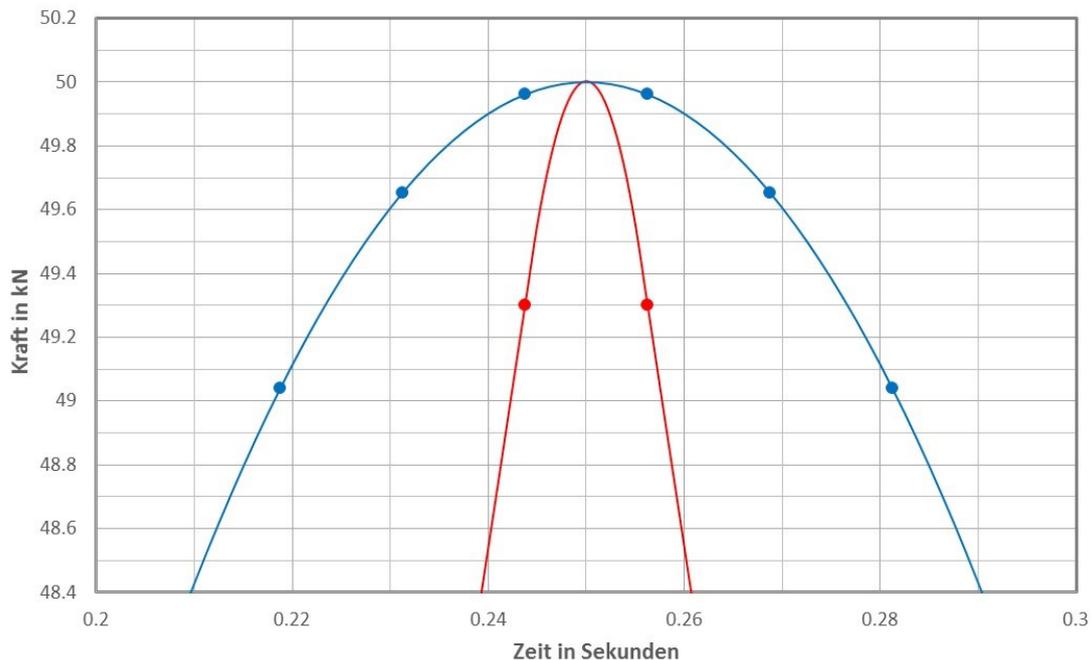


Abbildung 5: Abtastung einer Sinus- und Dreieckschwingung mit 80 Abtastpunkten pro Schwingspiel

5.2 Filtertechnik

Filter werden verwendet, um unerwünschte hochfrequente Rauschanteile aus den Messsignalen zu entfernen. Die Grenzfrequenz der eingesetzten Tiefpassfilter sollte etwa 10 % bis 15 % der Abtastrate betragen.

Beispiel:

Periodische Sinusbelastung mit 70 Hz,

80 Abtastungen pro Schwingspiel

→ Abtastrate = 70 Hz · 80 = 5,6 kHz

→ Grenzfrequenz des Tiefpassfilters ≥ 560 Hz

An allen beteiligten Messverstärkern (Anzeigen der Werkstoffprüfmaschine und der applizierten Probe) muss das gleiche Tiefpassfilter (Filtergrenzfrequenz, Filtertyp, Filterordnung) verwendet werden, um zu gewährleisten, dass die Rauschbandbreiten der gefilterten Messsignale gleich sind und die gemessenen Scheitelpunkte vergleichbar werden.

Da die meisten Messverstärkertypen eigene, fest eingestellte Filterfrequenzen haben, muss gegebenenfalls von der gewünschten Tiefpassfilterfrequenz (10 % bis 15 % der Abtastrate) abgewichen werden, um für beide Messkanäle die nächstgelegene gleiche Filterfrequenz zu verwenden. Dies sollte bevorzugt in Richtung höherer Filtergrenzfrequenzen erfolgen.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen Beispiele für die Veränderung des Signalrauschens durch Variation der Filtereinstellungen.

Anmerkung: Bei der Messsignalabtastung ist darauf zu achten, dass die Datenerfassung ein Anti-Aliasing-Filter verwendet, das Frequenzanteile oberhalb der halben Abtastrate herausfiltert.

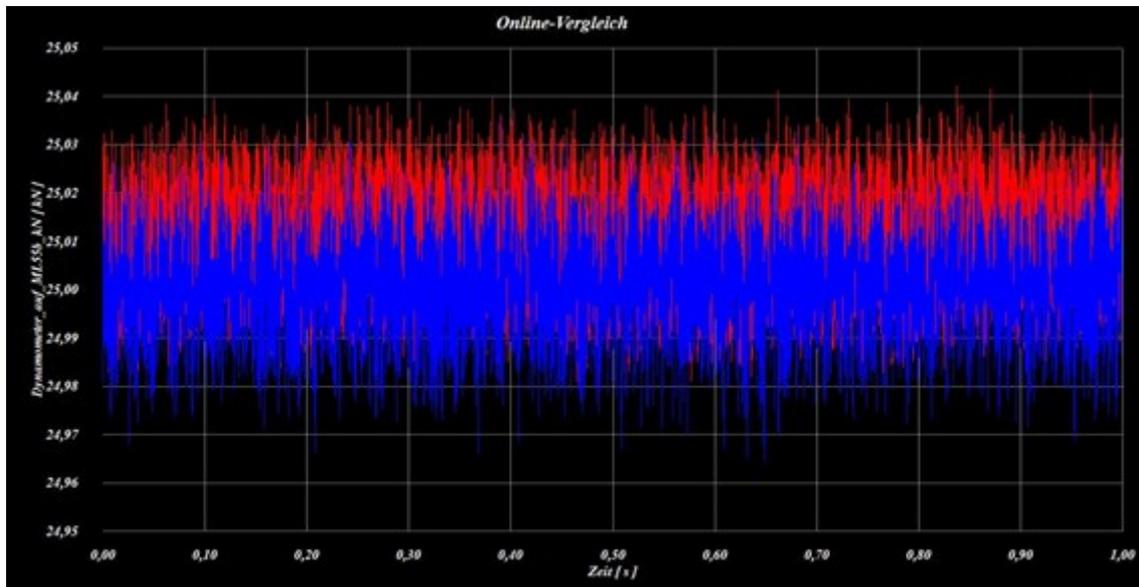


Abbildung 6: Filter BU 2 kHz und 1,5 kHz

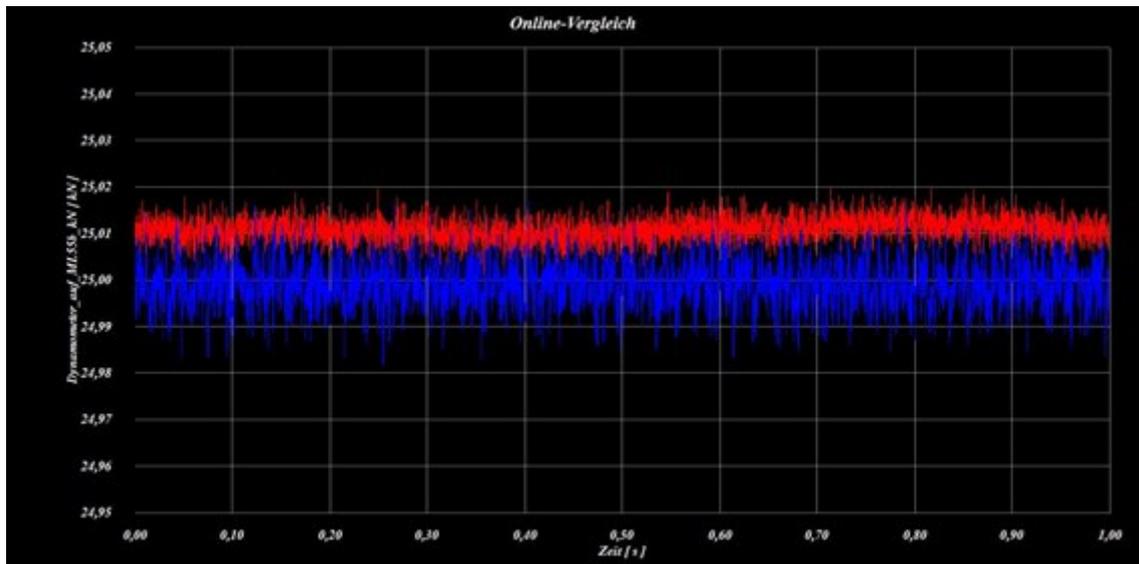


Abbildung 7: Filter BU 1 kHz

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	15 / 20

5.3 Synchronisation

Eine spätere Synchronisation der Anzeigewerte von Werkstoffprüfmaschine und applizierter Probe ist nur möglich, wenn es ein erkennbares Ereignis gibt, das von beiden Aufzeichnungsgeräten aufgezeichnet wird. Dies können beispielsweise sein:

- der Versuchsanfang
- das Versuchsende
- ein Triggersignal
- eine Unregelmäßigkeit in der Messkurve

5.4 Verwendung von Analogausgängen

Bei Werkstoffprüfmaschinen mit Kraft-Analogausgang am Messverstärker sollte sinnvollerweise dieser Ausgang verwendet werden. Die Messwertaufzeichnung über den Analogausgang hat den Vorteil, dass die Werte je nach Messeinrichtung nahezu gleichzeitig aufgezeichnet werden können und die Synchronisation einfacher wird. Nachteilig ist, dass die digitale Aufzeichnungseinrichtung der Werkstoffprüfmaschine damit nicht überprüft wird.

Der Kraft-Analogausgang der Werkstoffprüfmaschine muss der Anzeige der Werkstoffprüfmaschine entsprechend justiert sein. Die Übereinstimmung ist zu überprüfen.

5.5 Arbeiten mit statischen Anzeigen

Bei Werkstoffprüfmaschinen, bei denen die Messwerte nicht dynamisch aufgezeichnet werden und auch kein Analogsignal vorhanden ist, kann mit den an der Maschinenanzeige angezeigten statischen Werten gerechnet werden, sofern die Werte konstant sind. Oft werden an Schwingprüfmaschinen lediglich der Mittelwert und die Schwingamplitude angezeigt.

Alternativ kann auch mit dem Sollwert des Funktionsgenerators als Istwert gearbeitet werden. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Werkstoffprüfmaschine die im Funktionsgenerator eingestellten Werte ohne Abweichungen anfahren kann.

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	16 / 20

6 Ermittlung der Anzeigeabweichung unter dynamischer Belastung

6.1 Synchronisierung der Messwerte

Es muss sichergestellt sein, dass die zu vergleichenden Messwerte der Werkstoffprüfmaschine und der applizierten Probe exakt zueinander gehören. Hierzu müssen die aufgezeichneten Messwerte synchronisiert werden. Dabei wird die Zeitbasis der Messdaten der applizierten Probe so verschoben, dass das Ereignis des ersten Scheitelpunktes der applizierten Probe mit dem Ereignis des ersten Scheitelpunktes der Werkstoffprüfmaschine in Übereinstimmung kommt.

6.2 Scheitelwerte ermitteln

Da die Abtastung der Messwerte nicht zwangsweise genau im Scheitelpunkt erfolgt, sind aus den Messwerten die Scheitelpunktwerte für jedes einzelne Schwingspiel in geeigneter Weise zu berechnen. Dabei muss die Empfindlichkeit des verwendeten Filters an die Signalbreite und Regelkreisschwankungen angepasst werden.

6.3 Ermittlung der Abweichungen

Zunächst wird aus den Messwerten der applizierten Probe die Schwingbreite (SP) für jedes einzelne Schwingspiel (Index n , es sollten mindestens 50 Schwingspiele herangezogen werden) wie folgt berechnet:

$$S_{P,n} = F_{P \max,n} - F_{P \min,n} \quad (1)$$

Dann sind die Anzeigeabweichungen der Werkstoffprüfmaschine und der applizierten Probe für jedes einzelne Schwingspiel in den oberen Scheitelwerten (Maxima) und unteren Scheitelwerten (Minima) wie folgt zu ermitteln:

$$\begin{aligned} \Delta F_{\max,n} &= F_{WPM \max,n} - F_{P \max,n} \\ \Delta F_{\min,n} &= F_{WPM \min,n} - F_{P \min,n} \end{aligned} \quad (2)$$

Die relativen Abweichungen bezogen auf die Schwingbreite ergeben sich für jedes einzelne Schwingspiel wie folgt:

$$\begin{aligned} q_{\max,n} &= \frac{\Delta F_{\max,n}}{S_{P,n}} \cdot 100 \% \\ q_{\min,n} &= \frac{\Delta F_{\min,n}}{S_{P,n}} \cdot 100 \% \end{aligned} \quad (3)$$

Die relativen Abweichungen der einzelnen Schwingspiele sollten in einem Diagramm visualisiert werden. Die ermittelten maximalen relativen Abweichungen der oberen bzw. unteren Scheitelwerte sind jeweils als Zahlenwert anzugeben.

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B		DKD-R 3-10 Blatt 3
			Ausgabe: 05/2019
			Revision: 0
			Seite: 17 / 20

6.4 Plausibilitätsprüfung

Der wichtigste Punkt der Plausibilitätsüberprüfung ist die Anzahl der ermittelten Scheitelpunkte, die bei beiden Anzeigen (von Werkstoffprüfmaschine und applizierter Probe) gleich sein muss. Die Anzahl der Maxima muss gleich sein, die der Minima muss gleich sein, und die Anzahl der Maxima darf sich von der der Minima um maximal eins unterscheiden.

Die Zeitstempel der extrahierten Maximal- und Minimalwerte sollten miteinander verglichen werden. Dabei sollte die Zeitdifferenz aufeinanderfolgender Scheitelpunkte näherungsweise eine halbe Periodendauer betragen und die Streuung klein sein.

Bei der Prüfung mit Konstanten, wie unter Abschnitt „5.5 Arbeiten mit statischen Anzeigen“ beschrieben, muss über die Berechnung der Standardabweichung der Maxima und der Minima die Qualität der Prüfung beurteilt werden. Die Standardabweichung ist anzugeben.

6.5 Weitere Verifizierungspunkte

An Hand der grafischen Darstellung der Messwerte sollten zusätzlich folgende Kriterien überprüft werden:

- Wurde die gewünschte Frequenz erreicht?
- Wurde die gewünschte Amplitude erreicht?
- Sind alle Scheitelwerte vorhanden?
- Wie entwickeln sich die Scheitelwerte (Maxima und Minima) mit zunehmender Anzahl der Schwingungen? Steigen die Spitzenwerte mit zunehmender Schwingdauer, ist der Einschwingvorgang der Werkstoffprüfmaschine möglicherweise noch nicht abgeschlossen.
- Wie entwickeln sich die relativen Abweichungen mit zunehmender Anzahl der Schwingungen? Ändern sich die relativen Abweichungen mit zunehmender Schwingdauer, ist der Einschwingvorgang der Werkstoffprüfmaschine möglicherweise noch nicht abgeschlossen.

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	18 / 20

7 Kalibrierschein

Es wird ein Kalibrierschein der statischen Kalibrierung gemäß DIN EN ISO 7500-1 erstellt. Der Kalibrierschein wird ergänzt um eine Information bezüglich der dynamischen Verifizierung der Werkstoffprüfmaschine:

“Die Werkstoffprüfmaschine wurde zusätzlich gemäß DKD-R 3-10 Blatt 3:05/2019 unter Verwendung einer applizierten Probe dynamisch verifiziert. In der Messunsicherheit der statischen Kalibrierung gemäß DIN EN ISO 7500-1 sind keine Beiträge aus der dynamischen Verifizierung enthalten.“

Daneben sind die Versuchsparameter und -ergebnisse aufzulisten, wie:

- Die ermittelten maximalen relativen Abweichungen
- Grafische Darstellung der relativen Abweichungen der einzelnen Schwingspiele
- Art und Größe der applizierten Probe (z. B. Rundprobe, Durchmesser, Länge)
- Genaue Bezeichnung des verwendeten Spannzeugs
- Art der periodischen Kräfte (Sinus, Dreieck, ...)
- Höhe der verifizierten Kräfte (z. B. 50 kN, ...)
- Angewendete Frequenzen

	Dynamische Verifizierung von Werkstoffprüfmaschinen mit applizierten Proben https://doi.org/10.7795/550.20190507B	DKD-R 3-10 Blatt 3	
		Ausgabe:	05/2019
		Revision:	0
		Seite:	19 / 20

8 Literaturverzeichnis

- [1] ISO 4965-1: Metallic materials - Dynamic force calibration for uniaxial fatigue testing - Part 1: Testing systems.
- [2] ISO 4965-2: Metallic materials - Dynamic force calibration for uniaxial fatigue testing - Part 2: Dynamic calibration device (DCD) instrumentation.
- [3] Sawla, A.: Measurement of dynamic forces and compensations of errors in fatigue testing, Proceedings of the 12th IMEKO World Congress "Measurement and Progress", Beijing, China. Vol.2 (1991), 403-408.
- [4] ASTM E467: Standard Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Forces in an Axial Fatigue Testing System.
- [5] Häuser, Ch.: Verfahren zur dynamischen Verifizierung von Prüfmaschinen; Präsentation im DKD-Fachausschuss Werkstoffprüfmaschinen, 2015.



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de