

DIN EN ISO 376**DIN**

ICS 77.040.10

Einsprüche bis 2009-07-18
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 376:2005-02**Entwurf**

**Metallische Werkstoffe –
Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen
mit einachsiger Beanspruchung (ISO/DIS 376:2009);
Deutsche Fassung prEN ISO 376:2009**

Metallic materials –

Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines (ISO/DIS 376:2009);

German version prEN ISO 376:2009

Matériaux métalliques –

Étalonnage des instruments de mesure de force utilisés pour la vérification des machines d'essais uniaxiaux (ISO/DIS 376:2009);

Version allemande prEN ISO 376:2009

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-04-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden 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 Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 39 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 376:2009) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164/SC 1 „Uniaxial testing“ (Sekretariat AFNOR, Frankreich) unter intensiver deutscher Mitarbeit erstellt und soll im Rahmen der parallelen Abstimmung als europäische Norm übernommen werden.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-11 AA „Werkstoffprüfmaschinen“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) verantwortlich.

Das Ausgabedatum des Europäischen Norm-Entwurfs stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses DIN EN ISO-Entwurfs noch nicht fest; der prEN ISO wird jedoch vom CMC unter der angegebenen prEN-Nummer demnächst zur CEN-umfrage verteilt. Um der deutschen Öffentlichkeit eine möglichst lange Einspruchsfrist einzuräumen, wurde dieser Norm-Entwurf bereits vorab veröffentlicht.

Der NA 062-08-11 AA empfiehlt, dass Kraftmessgeräte, welche gemäß dieser Norm kalibriert werden und für die Kalibrierung von Werkstoffprüfmaschinen eingesetzt werden, für den Fall mit Umkehrspannenmessung kalibriert werden.

Um die im deutschen Sprachgebrauch üblichen Bezeichnungen und die Prüfergebnisse normgerecht interpretieren zu können, wird auf Anhang NB dieser Norm hingewiesen.

Der NA 062-08-11 AA empfiehlt weiterhin, die in im nationalen Anhang NB.9 genannten Grenzwerte als Orientierung für die Messunsicherheitsberechnung und als zusätzliches Klassifizierungskriterium zu berücksichtigen.

Für die unter den normativen Verweisen und Literaturhinweisen verwendeten Norm wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO/IEC 17025 siehe DIN EN ISO/IEC 17025

ISO 7500-1:2004 siehe DIN EN ISO 7500-1:2004-11

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 376:2005-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) neuer Anhang C zur Abschätzung der Messunsicherheit aufgenommen;
- b) Ergänzung einer zweiten Möglichkeit, die Kalibrierung durchzuführen;
- c) redaktionelle Überarbeitung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

DIN EN ISO 7500-1:2004-11, *Metallische Werkstoffe — Prüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Prüfung und Kalibrierung der Kraftmesseinrichtung (ISO 7500-1:2004)*

Nationaler Anhang NB (informativ)

Hinweise für die Anwendung von DIN EN ISO 376

Der für diese Norm zuständige Arbeitsausschuss NA 062-08-11 AA „Werkstoffprüfmaschinen“ hat beschlossen, einige Hinweise für die Anwendung von DIN EN ISO 376 zu geben, speziell, um die im deutschen Sprachgebrauch üblichen Bezeichnungen und die Kalibrierergebnisse normgerecht interpretieren zu können.

NB.1 Bezeichnungen

Die Kraftskala wird in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) durch die Kraft-Normalmesseinrichtungen (K-NME) dargestellt. Die Kraft-Bezugsnormalmesseinrichtungen (K-BNME) werden an die Kraftskala der PTB angeschlossen.

NB.2 Benennungen

Kraftaufnehmer können nach der Art und Größe der Kraft und der Gestalt des Verformungskörpers, wenn diese erkennbar ist, benannt werden. Übliche Benennungen mit zugehörigen Abkürzungen sind z. B.:

Zugkraftaufnehmer	ZA
Zugkraftmessstab	ZSt
Zugkraftmessbügel	ZB
Druckkraftaufnehmer	DA
Druckkraftmesskörper	DK
Druckkraftmessbügel	DB
Zug-Druckkraftaufnehmer	ZDA
Zug-Druckkraftmessbügel	ZDB

NB.3 Einbauteile und Verbindungskabel

Einbauteile zur Kraffteinleitung und Verbindungskabel zwischen Kraftaufnehmer und Anzeigegerät sind Bestandteil des Kraftaufnehmers und sollten eindeutig gekennzeichnet werden. Um den Einbau von Kraftaufnehmern in Kraft-Bezugsnormalmesseinrichtungen sicherzustellen, werden Einbauteile nach Anhang A von DIN EN ISO 376 verwendet.

NB.4 Messtemperatur

Die Bezugstemperatur für Kalibrierlaboratorien zur Kalibrierung von Kraftmessgeräten beträgt in Deutschland (21 ± 2) °C. Während der Messung darf die Temperatur um nicht mehr als 1 K schwanken.

NB.5 Kraft-Anzeigegerät

Die Überprüfung der Austauschbarkeit des Anzeigegerätes wird mit Hilfe einer externen Kalibrierung durchgeführt. Im Allgemeinen ist die Austauschbarkeit auf Geräte gleicher Bauart beschränkt.

NB.6 Anzahl der Kraftstufen

Im Regelfall sollten Kalibrierungen mit zehn gleichmäßig über den Anzeigebereich verteilten Kraftstufen durchgeführt werden.

NB.7 Einstufung eines Kraftmessgerätes

Für die Anwendung der Ergebnisse der Klassifizierung zur Kalibrierung von Werkstoffprüfmaschinen sollte der Bereich der allgemeinen Einstufung in einer Geräteklasse nach Tabelle 2 den Bereich $0,2 F_N$ bis $0,5 F_N$ umfassen.

Weiterhin können für das Messgerät die unteren Messbereichsgrenzen ab $0,02 F_f$ bis $0,5 F_N$ mit geringeren und höheren Anforderungen bestimmt werden.

NB.8 Kalibrierschein

Der Kalibrierschein sollte folgende zusätzliche Angaben enthalten:

- Messbereich des Kraft-Anzeigegerätes;
- Angaben zum Messkabel;
- Anzeigewert bei eingeschaltetem Kalibriersignal (Empfindlichkeit);
- Speisespannung (gegebenenfalls einschließlich Frequenz) des Kraftaufnehmers;
- Nullsignal des Kraftaufnehmers.

NB.9 Grenzwerte der erweiterten relativen Messunsicherheit für verschiedene Geräteklassen nach DIN EN ISO 376

Nach bisherigen Erfahrungen liegen die erweiterten relativen Messunsicherheiten von Kraftmessgeräten mit Umkehrspannenmessung innerhalb der Grenzwerte, die in der folgenden Tabelle für die verschiedenen Geräteklassen zusammengestellt sind. Dabei ist \mathcal{W}_{bmc} die kleinste angebbare Messunsicherheit, die das Kalibrierlabor mit der verwendeten Kalibriereinrichtung erreichen kann.

	min.	max.
Klasse 00	\mathcal{W}_{bmc}	0,06 %
Klasse 0.5	0,06 %	0,12 %
Klasse 1	0,12 %	0,24 %
Klasse 2	0,24 %	0,45 %

Metallische Werkstoffe — Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung (ISO/DIS 376:2009)

Matériaux métalliques — Étalonnage des instruments de mesure de force utilisés pour la vérification des machines d'essais uniaxiaux (ISO/DIS 376:2009)

Metallic materials — Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines (ISO/DIS 376:2009)

ICS: 19.060 ; 77.040.10

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.2

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	5
4 Formelzeichen und Benennungen	5
5 Kurzbeschreibung	6
6 Merkmale der Kraftmessgeräte	7
6.1 Kennzeichnung des Kraftmessgerätes	7
6.2 Krafteinleitung.....	7
6.3 Messung der Verformung	7
7 Kalibrierung des Kraftmessgerätes	7
7.1 Allgemeines.....	7
7.2 Auflösung des Anzeigegerätes	8
7.3 Mindestkraft.....	9
7.4 Durchführung der Kalibrierung	9
7.5 Beurteilung des Kraftmessgerätes	11
8 Klassifizierung des Kraftmessgeräts.....	12
8.1 Klassifizierungsprinzip	12
8.2 Klassifizierungskriterien	13
8.3 Kalibrierschein und Gültigkeitsdauer.....	14
9 Anwendung von kalibrierten Kraftmessgeräten.....	14
Anhang A (informativ) Beispiele für Maße für Kraftaufnehmer und zugehörige Einbauteile.....	15
A.1 Allgemeines.....	15
A.2 Zugkraftaufnehmer	15
A.3 Druckkraftaufnehmer	16
A.4 Einbauteile	17
Anhang B (informativ) Zusatzinformationen	23
B.1 Überlastungsprüfung	23
B.2 Beispiel eines Verfahrens zur Feststellung, dass zwischen dem Kraftaufnehmer eines für Druckbeanspruchung eingesetzten Messgeräts und seiner Auflage auf der Kalibriereinrichtung keine Wechselwirkung besteht	23
B.3 Anmerkungen zur Aufzeichnung des Nullsignals des unbelasteten Kraftaufnehmers	24
B.4 Temperaturkorrektur für kalibrierte Kraftmessgeräte.....	24
Anhang C (informativ) Messunsicherheit von Kraftmessgeräten	27
C.1 Unsicherheit der Kalibrierungsergebnisse des Kraftmessgeräts	27
C.2 Unsicherheit während des späteren Einsatzes des Kraftmessgeräts	32
Literaturhinweise	35

Vorwort

Der Text von ISO/DIS 376:2009 wurde vom Unterkomitee SC 1 "Uniaxial testing" des Technischen Komitees ISO/TC 164 "Mechanical testing of metals" der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 376:2009 durch das Technische Komitee ECISS/TC 1 „Stahlprüfung“ übernommen, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

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

Dieses Dokument wird EN ISO 376:2005 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 376:2009 wurde vom CEN als prEN ISO 376:2009 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Eine Arbeitsgruppe von ISO/TC 164/SC 1 hat Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit von Kraftmessgeräten entwickelt, die in die vorliegende Ausgabe dieser Internationalen Norm als neuer Anhang C aufgenommen wurden.

Darüber hinaus ermöglicht die vorliegende vierte Ausgabe dieser Internationalen Norm zwei Möglichkeiten für die Durchführung der Kalibrierung:

— mit Umkehrspannenmessung für den Fall, dass die Kraftmessgeräte für zunehmende und abnehmende Kräfte verwendet werden;

und

— ohne Umkehrspannenmessung für den Fall, dass die Kraftmessgeräte nur für zunehmende Kräfte verwendet werden.

Im ersten Fall, dem der Verwendung von Kraftmessgeräten mit Umkehrspannenmessungen, muss die Kalibrierung mit zunehmenden und abnehmenden Kräften durchgeführt werden, um die Hysterese des Kraftmessgeräts bestimmen zu können. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, eine Kriechprüfung durchzuführen.

Im zweiten Fall, dem, in dem die Kraftmessgeräte ohne Umkehrspannenmessungen verwendet werden, kann die Kalibrierung mit zunehmenden Kräften durchgeführt werden, jedoch muss zusätzlich eine Kriechmessung durchgeführt werden. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, die Hysterese zu bestimmen.

1 Anwendungsbereich

In dieser Internationalen Norm ist die Kalibrierung von Kraftmessgeräten für die statische Prüfung einachsiger Prüfmaschinen (z. B. Zug-Druckprüfmaschinen) festgelegt, und es wird ein Verfahren für die Klassifizierung dieser Geräte beschrieben.

Diese Internationale Norm gilt allgemein für Kraftmessgeräte, bei denen die Kraft durch Messung der elastischen Formveränderung eines Verformungskörpers oder einer ihr proportionalen Messgröße bestimmt wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt der folgende Begriff.

3.1

Kraftmessgerät

gesamte Messkette vom Kraftaufnehmer bis einschließlich des Anzeigergerätes

4 Formelzeichen und Benennungen

Formelzeichen und ihre Benennungen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Formelzeichen, Einheiten und Benennungen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
b	%	Relative erweiterte Vergleichspräzision in verschiedenen Einbaustellungen
b'	%	Relative Wiederholpräzision in gleicher Einbaustellung
c	%	Relative Kriechabweichung
F_f	N	Nennkraft des Kraftaufnehmers
F_N	N	Höchstkraft der Kalibrierung
f_c	%	Relative Interpolationsabweichung
f_0	%	Relative Nullpunktabweichung
i_f	—	Anzeige ^a des Anzeigegerätes nach der Entlastung
i_0	—	Anzeige ^a des Anzeigegerätes vor der Belastung
i_{30}	—	Anzeige ^a des Anzeigegerätes 30 s nach Aufbringung oder Wegnahme der Höchstkraft der Kalibrierung
i_{300}	—	Anzeige ^a des Anzeigegerätes 300 s nach Aufbringung oder Wegnahme der Höchstkraft der Kalibrierung
r	N	Auflösung des Anzeigegerätes
v	%	Relative Umkehrspanne des Kraftmessgerätes
X	—	Verformungsmesswert bei zunehmender Prüfkraft
X_a	—	Berechneter Verformungsmesswert
X'	—	Verformungsmesswert bei abnehmender Prüfkraft
X_{\max}	—	Größter Verformungsmesswert der Messreihen 1, 3 und 5
X_{\min}	—	Kleinster Verformungsmesswert der Messreihen 1, 3 und 5
X_N	—	Verformungsmesswert entsprechend der Höchstkraft der Kalibrierung
\bar{X}_r	—	Mittelwert des Verformungsmesswertes in verschiedenen Einbaustellungen
\bar{X}_{wr}	—	Mittelwert des Verformungsmesswertes in gleicher Einbaustellung

^a Anzeigewert des zugehörigen Verformungsmesswerts

5 Kurzbeschreibung

Die Kalibrierung besteht darin, dass genau bekannte Kräfte in den Kraftaufnehmer eingeleitet und die Daten des Anzeigegerätes, das als Bestandteil des Kraftmessgeräts angesehen wird, aufgezeichnet werden.

Wird eine elektrische Messung durchgeführt, so darf das Anzeigegerät durch ein anderes Anzeigegerät ersetzt werden und das Kraftmessgerät braucht nicht erneut kalibriert zu werden, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Das originale sowie das ersetzte Anzeigegerät besitzen auf nationale Normale rückverfolgbare Kalibrierscheine, in denen die Ergebnisse der Kalibrierung unter Verwendung von elektrischen Grundeinheiten (Volt, Ampere) angegeben sind. Das ersetzte Anzeigegerät muss für einen Bereich kalibriert sein, der größer oder gleich dem Bereich sein muss, in dem es mit dem Kraftaufnehmer genutzt wird, und die Auflösung des ersetzten Anzeigegerätes muss mindestens gleich der Auflösung des mit dem Kraftmessgerät verwendeten Anzeigegerätes sein.
- b) Die Einheiten und die Speisespannung des ersetzten Anzeigegerätes sollten etwa vom Betrag (z. B. 5 V, 10 V) und Typ (z. B. Wechselstrom oder Gleichstrom, Trägerfrequenz) gleich dem Anzeigegerät sein.
- c) Die Messunsicherheit jedes Anzeigegeräts (sowohl des originalen als auch des ersetzten Anzeigegerätes) darf die Messunsicherheit des gesamten Kraftmessgerätes nicht in signifikantem Maße beeinflussen. Es wird empfohlen, dass die Messunsicherheit des Ersatz-Anzeigegerätes nicht größer als 1/3 der Messunsicherheit des Gesamtsystems sein sollte.

6 Merkmale der Kraftmessgeräte

6.1 Kennzeichnung des Kraftmessgerätes

Alle Teile des Kraftmessgerätes (einschließlich der Kabel für den elektrischen Anschluss) sind einzeln und eindeutig, z. B. mit dem Namen des Herstellers, dem Typ und der Werksnummer, zu kennzeichnen. Beim Kraftaufnehmer ist der maximale Kraftmessbereich anzugeben.

6.2 Krafteinleitung

Der Kraftaufnehmer und seine Einbauteile sind so auszulegen, dass die Kräfte axial eingeleitet werden können, sowohl für Zug- als auch für Druckkräfte.

Beispiele für Belastungsteile sind in Anhang A angegeben.

6.3 Messung der Verformung

Die Messung der Verformung des Verformungskörpers des Kraftaufnehmers kann bei entsprechender Genauigkeit und Konstanz mit mechanischen, elektrischen, optischen oder sonstigen Mitteln erfolgen.

Der Typ und die Güte des Verformungsmesssystems sind dafür entscheidend, ob das Kraftmessgerät nur für bestimmte Kalibrierkräfte oder auch für Interpolation klassifiziert wird (siehe Abschnitt 7).

Allgemein ist der Einsatz von Kraftmessgeräten mit Messuhren als Mittel zur Verformungsmessung auf die Kräfte beschränkt, für die die Geräte kalibriert sind. Falls die Messuhr für einen großen Ausschlagweg verwendet wird, kann sie große, örtlich begrenzte periodische Abweichungen verursachen, die zu große Unsicherheit hervorrufen, als dass eine Interpolation zwischen den Kalibrierkräften möglich wäre. Messuhren dürfen zur Interpolation benutzt werden, wenn ihre periodische Abweichung einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Interpolationsabweichung des Kraftmessgerätes hat.

7 Kalibrierung des Kraftmessgerätes

7.1 Allgemeines

7.1.1 Vorprüfung

Vor Beginn der Kalibrierung des Kraftmessgerätes ist sicherzustellen, dass dieses Gerät kalibrierfähig ist. Dies kann durch Vorprüfungen, wie sie im Folgenden festgelegt und als Beispiel angegeben sind, geschehen.

7.1.2 Überlastungsprüfung

Diese fakultative Prüfung ist in Abschnitt B.1 beschrieben.

7.1.3 Prüfung in Bezug auf die Einleitung von Kräften

Es ist sicherzustellen,

- dass die Einbauteile des Kraftmessgerätes eine axiale Krafteinleitung erlauben, wenn das Gerät für Zugkraftprüfungen verwendet wird;
- dass sich der Kraftaufnehmer und seine Auflage auf der Kalibriereinrichtung nicht gegenseitig beeinflussen, wenn das Gerät für Druckkraftprüfungen verwendet wird.

Abschnitt B.2 beschreibt ein Beispiel für ein anwendbares Verfahren.

ANMERKUNG Es können auch andere Verfahren angewandt werden, z. B. ein Verfahren mit einem flachen Kraftaufnehmer mit kugeligem Kopf.

7.1.4 Prüfung mit veränderlicher Netzspannung

Die Durchführung dieser Prüfung liegt im Ermessen der Kalibrierstelle. Bei Kraftmessgeräten, die eine elektrische Versorgung benötigen, ist zu überprüfen, ob die Anforderung, dass eine Schwankung der Netzspannung von $\pm 10\%$ keine bedeutende Auswirkung haben darf, eingehalten wird. Diese Überprüfung kann mittels eines Kraftaufnehmersimulators oder auf andere geeignete Weise erfolgen.

7.2 Auflösung des Anzeigerätes

7.2.1 Analoge Anzeige (Skalenanzeige)

Die Teilstriche auf der Skala müssen gleich dick und die Breite des Zeigers muss ungefähr gleich der Breite eines Teilstriches sein.

Die Auflösung r des Anzeigerätes ist aus dem Verhältnis zwischen der Breite des Zeigers und dem Mittenabstand zweier benachbarter Skalenteilstriche (Teilstrichabstand) zu berechnen; die empfohlenen Verhältnisse sind 1 : 2, 1 : 5 oder 1 : 10, wobei für die Abschätzung eines Zehntels des Skalenteils auf der Skala ein Abstand von 1,25 mm oder größer gefordert ist.

Um eine direkte Bruchteilablesung der Skalenteilung des Messgeräts zu ermöglichen, darf eine Feinskala verwendet werden, deren Maße denen der analogen Skala angemessen sind.

7.2.2 Digitale Anzeige (Ziffernanzeige)

Die Auflösung wird als Ziffernschritt der letzten sich ändernden Ziffer auf dem Ziffernanzeigerät angesehen.

7.2.3 Änderung der Anzeigewerte

Wenn die Anzeigen (bei unbelastetem Messgerät) um mehr als den zuvor für die Auflösung berechneten Wert schwanken, gilt, dass die Auflösung gleich der Hälfte des Schwankungsbereichs zu setzen ist.

7.2.4 Einheiten

Die Auflösung r muss in Krafteinheiten umgerechnet werden.

7.3 Mindestkraft

Unter Berücksichtigung der Genauigkeit, mit der der Verformungsmesswert des Messgeräts während der Kalibrierung oder während seines späteren Einsatzes zur Prüfung von Prüfmaschinen abgelesen werden kann, muss die in ein Kraftmessgerät eingeleitete Mindestkraft die folgenden beiden Bedingungen erfüllen:

a) Die Mindestkraft muss größer oder gleich:

— $4\,000 \times r$ bei Klasse 00;

— $2\,000 \times r$ bei Klasse 0,5;

— $1\,000 \times r$ bei Klasse 1;

— $500 \times r$ bei Klasse 2

sein.

b) Die Mindestkraft muss größer oder gleich $0,02 F_f$ sein.

7.4 Durchführung der Kalibrierung

7.4.1 Vorbelastung

Bevor die Kalibrierkräfte eingeleitet werden, muss das Gerät dreimal mit Höchstkraft in der entsprechenden Krafrichtung (Zug oder Druck) vorbelastet werden. Die Dauer der einzelnen Vorbelastungen muss jeweils zwischen 60 s und 90 s betragen.

7.4.2 Durchführung

Die Kalibrierung erfolgt, indem in das Kraftmessgerät Kräfte zunächst in zwei Messreihen mit ausschließlich ansteigenden Kraftwerten eingeleitet werden, ohne die Einbaustellung des Kraftaufnehmers zu verändern.

Danach sind mindestens zwei weitere Messreihen jeweils mit zunehmender und, falls das Kraftmessgerät mit Umkehrmessung zu kalibrieren ist, auch mit abnehmender Kraft zu fahren. Vor Beginn jeder der zusätzlichen Kraftmessreihen ist das Kraftmessgerät symmetrisch um seine Achse zu drehen, so dass es während der Kalibrierung mindestens drei gleichmäßig über 360° verteilte Stellungen (z. B. 0° , 120° , 240°) einnimmt. Ist dies nicht möglich, so ist es zulässig, die folgenden Stellungen zu wählen: 0° , 180° und 360° (siehe Bild 1).

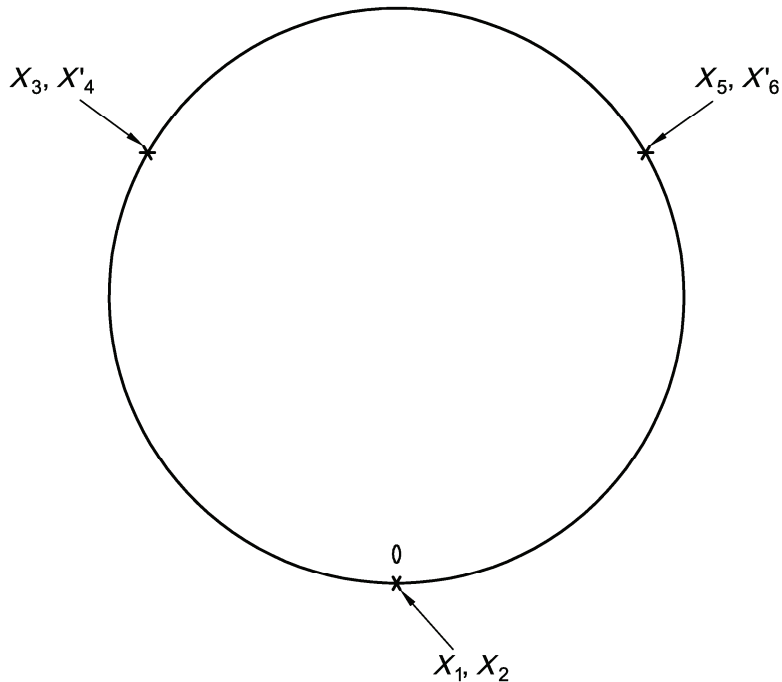


Bild 1 — Einbaustellungen des Kraftmessgerätes

Für die Bestimmung der Interpolationskurve darf die Anzahl der Kraftstufen nicht weniger als 8 betragen, und diese Kräfte müssen möglichst gleichmäßig über den Kalibrierbereich verteilt sein.

ANMERKUNG 1 Für den Fall, dass eine periodische Abweichung vermutet wird, wird empfohlen, Abstände zwischen den Kraftstufen zu vermeiden, die der Periodizität dieser Abweichung entsprechen.

ANMERKUNG 2 Bei diesem Verfahren wird nur ein kombinierter Wert der Hysterese des Kraftmessgerätes und der Kalibriereinrichtung bestimmt. Eine genaue Bestimmung der Hysterese des Messgeräts kann mit Hilfe von Normalmesseinrichtungen mit unmittelbarer Massewirkung (Direktbelastungsanlagen) durchgeführt werden. Bei anderen Typen von Kalibriereinrichtungen sollte deren Hysterese berücksichtigt werden.

Das Kraftmessgerät ist dreimal in der Richtung, in die die folgenden Kräfte eingeleitet werden, auf Höchstkraft vorzubelasten. Bei einer Änderung der Belastungsrichtung ist die Höchstkraft dreimal in der neuen Richtung einzuleiten.

Nach vollständiger Entlastung ist die dem unbelasteten Zustand entsprechende Anzeige erst nach einer Wartezeit von mindestens 30 s aufzuzeichnen.

ANMERKUNG 3 Zwischen den einzelnen Messreihen sollte jeweils eine Pause von mindestens 3 min eingehalten werden.

Messgeräte mit abnehmbaren Teilen sind während der Kalibrierung mindestens einmal wie für das Verpacken und den Transport auseinanderzunehmen. Diese Demontage muss in der Regel zwischen der zweiten und dritten Messreihe erfolgen. Das Kraftmessgerät ist vor Beginn der nächsten Messreihe mindestens dreimal mit der Höchstkraft zu belasten.

Vor Beginn der Kalibrierung eines elektrischen Kraftmessgerätes kann das Nullsignal aufgezeichnet werden (siehe Abschnitt B.3).

7.4.3 Belastungsbedingungen

Der Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden Belastungsvorgängen muss möglichst gleichmäßig sein, und innerhalb von 30 s nach Beginn des Kraftwechsels ist keine Ablesung vorzunehmen. Die Kalibrierung ist bei einer auf ± 1 °C stabilen Temperatur vorzunehmen; diese Temperatur muss im Bereich von 18 °C bis 28 °C liegen und ist aufzuzeichnen. Es ist genügend Zeit vorzusehen, damit das Kraftmessgerät eine stabile Temperatur erreichen kann.

ANMERKUNG Wenn bekannt ist, dass das Kraftmessgerät nicht temperaturkompensiert ist, sollte sichergestellt werden, dass die Kalibrierung nicht durch Temperaturschwankungen beeinträchtigt wird.

Kraftaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen sind mindestens 30 min vor der Kalibrierung unter Speisespannung zu setzen.

7.4.4 Kriechmessung

Falls das Kraftmessgerät ohne Umkehrspannenmessung kalibriert wird, sind seine Anzeigewerte für jede Krafrichtung jeweils 30 s und 300 s nach Aufbringung oder Wegnahme der Höchstkraft für die Kalibrierung aufzuzeichnen, um seine Kriecheigenschaften bestimmen zu können. Wird der Kriechwert im unbelasteten Zustand gemessen, so muss die Höchstkraft für die Kalibrierung vor ihrer Wegnahme mindestens 60 s lang aufrechterhalten werden.

7.4.5 Bestimmung des Verformungsmesswerts

Der Verformungsmesswert ist definiert als Differenz zwischen einer Anzeige im belasteten und einer Anzeige im unbelasteten Zustand.

ANMERKUNG Diese Definition des Verformungswertes gilt sowohl für Anzeigen des Ausgangssignals in elektrischen Einheiten als auch für Anzeigen des Ausgangssignals in Längeneinheiten.

7.5 Beurteilung des Kraftmessgerätes

7.5.1 Relative erweiterte Vergleichspräzision und Wiederholpräzision b und b'

Diese Abweichungen werden für jede bei der Kalibrierung aufgebrachte Kraftstufe in verschiedenen Einbaustellungen b und in gleicher Einbaustellung b' nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$b = \left| \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\bar{X}_r} \right| \times 100$$

Dabei ist

$$\bar{X}_r = \frac{X_1 + X_3 + X_5}{3}$$

$$b' = \left| \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}_{wr}} \right| \times 100$$

Dabei ist

$$\bar{X}_{wr} = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

7.5.2 Relative Interpolationsabweichung f_c

Diese Abweichung ist mit Hilfe einer Gleichung 1., 2. oder 3. Grades zu ermitteln, wobei der Verformungsmesswert in Abhängigkeit von der Kalibrierkraft angegeben wird.

Die verwendete Gleichung muss im Kalibrierschein angegeben werden. Die relative Interpolationsabweichung ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$f_c = \frac{\bar{X}_r - X_a}{X_a} \times 100$$

7.5.3 Relative Nullpunktabweichung, f_0

Der Nullpunkt ist vor und nach jeder Messreihe aufzuzeichnen. Die Nullpunktablesung muss etwa 30 s nach der vollständigen Entlastung vorgenommen werden.

Die relative Nullpunktabweichung ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$f_0 = \frac{i_f - i_0}{X_N} \times 100$$

Die maximal ermittelte relative Nullpunktabweichung sollte berücksichtigt werden.

7.5.4 Relative Umkehrspanne, ν

Die relative Umkehrspanne ist bei jeder Kalibrierung zu bestimmen, indem eine Überprüfung bei zunehmenden und dann bei abnehmenden Kräften durchgeführt wird.

Die Differenz zwischen den in den beiden Messreihen mit zunehmender und mit abnehmender Kraft erhaltenen Werten ermöglicht die Berechnung der relativen Umkehrspanne mit Hilfe der folgenden Gleichungen:

$$\nu_1 = \left| \frac{X'_4 - X_3}{X_3} \right| \times 100$$

$$\nu_2 = \left| \frac{X'_6 - X_5}{X_5} \right| \times 100$$

ν wird berechnet als Mittelwert von ν_1 und ν_2 :

$$\nu = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$$

7.5.5 Relative Kriechabweichung, c

Die Differenz zwischen den Ausgabewerten i_{30} und i_{300} , die 30 s bzw. 300 s nach Aufbringung oder Wegnahme der Höchstkraft für die Kalibrierung erhalten werden, ist zu berechnen und als prozentualer Anteil der maximalen Verformung anzugeben.

$$c = \left| \frac{i_{300} - i_{30}}{X_N} \right| \times 100$$

8 Klassifizierung des Kraftmessgeräts

8.1 Klassifizierungsprinzip

Der Bereich, für den das Kraftmessgerät klassifiziert wird, wird festgelegt, indem alle Kalibrierkräfte nacheinander, von der größten Kraft ausgehend bis zur kleinsten Kalibrierkraft, berücksichtigt werden. Der Klassifizierungsbereich endet bei der letzten Kraft, für die die Klassifizierungsanforderungen erfüllt sind.

Das Kraftmessgerät kann entweder für bestimmte Kräfte oder für Interpolation und für entweder mit oder ohne Umkehrspannenmessung klassifiziert werden.

8.2 Klassifizierungskriterien

8.2.1 Der Klassifizierungsbereich des Kraftmessgeräts muss mindestens den Bereich 50 % bis 100 % von F_N umfassen.

8.2.2 Bei Messgeräten, die nur für bestimmte Kräfte und ohne Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

- die relative erweiterte Vergleichspräzision, Wiederholpräzision und Nullpunktabweichung;
- die relative Kriechabweichung.

8.2.3 Bei Messgeräten, die nur für bestimmte Kräfte und mit Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

- die relative erweiterte Vergleichspräzision, Wiederholpräzision und Nullpunktabweichung;
- die relative Umkehrspanne.

8.2.4 Bei Messgeräten, die für Interpolation und ohne Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

- die relative erweiterte Vergleichspräzision, Wiederholpräzision und Nullpunktabweichung;
- die relative Interpolationsabweichung;
- die relative Kriechabweichung.

8.2.5 Bei Messgeräten, die für Interpolation und mit Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

- die relative erweiterte Vergleichspräzision, Wiederholpräzision und Nullpunktabweichung;
- die relative Interpolationsabweichung;
- die relative Umkehrspanne.

Tabelle 2 enthält die Werte dieser verschiedenen Parameter entsprechend der Klasse des Kraftmessgeräts und der Unsicherheit der Kalibrierkräfte.

Tabelle 2 — Eigenschaften von Kraftmessgeräten

Klasse	Relative Abweichung des Kraftmessgerätes %						Messunsicherheit der Kalibrierkraft $k = 2$ %
	der Vergleichs- präzision b	der Wiederhol- präzision b'	der Interpolation f_c	des Nullpunktes f_0	der Umkehrspanne v	des Kriechens c	
00	0,05	0,025	±0,025	±0,012	0,07	0,025	±0,01
0,5	0,10	0,05	±0,05	±0,025	0,15	0,05	±0,02
1	0,20	0,10	±0,10	±0,050	0,30	0,10	±0,05
2	0,40	0,20	±0,20	±0,10	0,50	0,20	±0,10

8.3 Kalibrierschein und Gültigkeitsdauer

8.3.1 Wenn ein Kraftmessgerät die Anforderungen dieser Internationalen Norm zum Zeitpunkt der Kalibrierung erfüllt, muss die Kalibrierstelle eine Bescheinigung in Übereinstimmung mit ISO/IEC 17025 ausstellen, die mindestens die folgenden Angaben enthält:

- a) Bezeichnung aller Elemente des Kraftmessgeräts und der Einbauteile sowie der Kalibriereinrichtung;
- b) Richtung der Kraftereinleitung (Zug/Druck);
- c) dass das Messgerät den Anforderungen der Vorprüfungen entspricht;
- d) die Klasse und den geltenden (Kraft-)Bereich und die Belastungsrichtung (mit oder ohne Umkehrspannenmessung);
- e) das Datum und die Ergebnisse der Kalibrierung und, wenn gefordert, die Interpolationsgleichung;
- f) die Temperatur, bei der die Kalibrierung durchgeführt wurde;
- g) die Unsicherheit der Kalibrierergebnisse (für ein Beispiel hierzu siehe Anhang C).

8.3.2 Für die Anwendung dieser Internationalen Norm darf die Gültigkeitsdauer der Bescheinigung höchstens 26 Monate betragen.

Ein Kraftmessgerät ist neu zu kalibrieren, wenn es einer Überlastung ausgesetzt worden ist, die größer als die Prüfüberlastung ist (siehe Abschnitt B.1), oder nachdem eine Instandsetzung stattgefunden hat.

9 Anwendung von kalibrierten Kraftmessgeräten

Kraftmessgeräte sind entsprechend den Bedingungen zu belasten, für die sie kalibriert worden sind. Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass das Messgerät nicht Kräften ausgesetzt ist, die größer als die Höchstkraft für die Kalibrierung sind.

Messgeräte, die nur für bestimmte Kräfte klassifiziert sind, dürfen nur für diese Kräfte verwendet werden.

Messgeräte, die ohne Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, dürfen nur für zunehmende Kräfte verwendet werden. Messgeräte, die mit Umkehrspannenmessung klassifiziert sind, dürfen auch zur Messung von abnehmenden Kräften verwendet werden.

Messgeräte, die für Interpolation klassifiziert sind, können für jede beliebige Kraft im Interpolationsbereich verwendet werden.

Wird ein Kraftmessgerät bei einer von der Kalibriertemperatur abweichenden Temperatur eingesetzt, ist der Verformungsmesswert des Gerätes erforderlichenfalls in Bezug auf Temperaturabweichungen zu korrigieren (siehe Abschnitt B.4).

ANMERKUNG Eine Nullpunktänderung des unbelasteten Kraftaufnehmers weist auf plastische Verformungen infolge Überbelastung des Kraftaufnehmers hin. Eine ständige Langzeitdrift weist auf eine Beeinflussung der Dehnungsmessstreifen-träger durch Feuchtigkeit oder einen Mangel bei der Verklebung der Dehnungsmessstreifen hin.

Anhang A (informativ)

Beispiele für Maße für Kraftaufnehmer und zugehörige Belastungsteile

A.1 Allgemeines

Um Kraftaufnehmer in Kraft-Normalmesseinrichtungen zu kalibrieren und sie leicht in axialer Richtung in die zu überprüfenden Werkstoffprüfmaschinen einbauen zu können, werden die folgenden Formen und Maße empfohlen.

A.2 Zugkraftaufnehmer

Als Montagehilfe wird empfohlen, die Gewindeköpfe stirnseitig auf eine Länge von etwa zwei Gewindegängen auf den Kerndurchmesser abzdrehen. Siehe Tabelle A.1.

Die bei der Herstellung des Kraftaufnehmers benutzten Zentrierbohrungen sollten belassen werden.

Tabelle A.1 — Maße von Zugkraftaufnehmern für Nennkräfte größer oder gleich 10 kN

Höchstkraft (Nennkraft) des Kraftmessgeräts ^a	Maximale Gesamtlänge ^b mm	Außengewinde der Köpfe ^c mm	Mindest- gewindelänge mm	Maximale Breite bzw. Durchmesser mm
10 kN bis 20 kN	500	M20 × 1,5 ^d	16	110
40 kN und 60 kN	500	M20 × 1,5 ^d	16	125
100 kN	500	M24 × 2	20	150
200 kN	500	M30 × 2	25	—
400 kN	600	M42 × 3	40	—
600 kN	650	M56 × 4	40	—
1 MN	750	M64 × 4	60	—
2 MN	950	M90 × 4	80	—
4 MN	1 300	M125 × 4	120	—
6 MN	1 500	M160 × 6	150	—
10 MN	1 700	M200 × 6	180	—
15 MN	2 000	M250 × 6	225	—
25 MN	2 500	M330 × 6	320	—

^a Maße für Zugkraftaufnehmer mit einer Nennkraft kleiner als 10 kN sind nicht genormt.

^b Länge des Zugkraftaufnehmers einschließlich eventuell notwendiger Gewindeübergangsteile.

^c Des Zugkraftaufnehmers oder der Gewindeübergangsteile.

^d Auch Steigung von 2 mm zulässig.

A.3 Druckkraftaufnehmer

Mit Rücksicht auf die beschränkten Einbauhöhen in Werkstoffprüfmaschinen sollten Druckkraftaufnehmer die in Tabelle A.2 angegebenen Gesamthöhen nicht überschreiten.

Die Gesamthöhe setzt sich aus der Höhe der Höhe der zugehörigen Belastungsteile zusammen.

Tabelle A.2 — Gesamthöhe von Druckkraftaufnehmern

Höchstkraft (Nennkraft) des Kraftmessgerätes	Maximale Gesamthöhe ^a der Geräte für die Überprüfung von Werkstoffprüfmaschinen mm	
	Klasse 1 ^b	Klasse 2 ^b
± 40 kN	145	115
60 kN	170	145
100 kN	220	145
200 kN	220	190
400 kN	290	205
600 kN	310	205
1 MN	310	205
2 MN	310	205
3 MN	330	205
4 MN	410	205
5 MN	450	350
6 MN	450	400
10 MN	550	400
15 MN	670	—

^a Die Verwendung von Kraftaufnehmern mit größeren Gesamthöhen sind zulässig, sofern die vorhandenen Einbauräume der Werkstoffprüfmaschinen dies zulassen.

^b Nach ISO 7500-1 [1].

A.4 Belastungsteile

A.4.1 Allgemeines

Belastungsteile sollten so konstruiert sein, dass die Kraftwirkungslinie nicht verfälscht wird. Zugkraftaufnehmer sollten im Regelfall mit zwei Kugelmuttern, zwei Kugelschalen und erforderlichenfalls mit zwei Zwischenringen befestigt werden, während Druckkraftaufnehmer mit einem oder zwei Druckstücken eingebaut werden sollten.

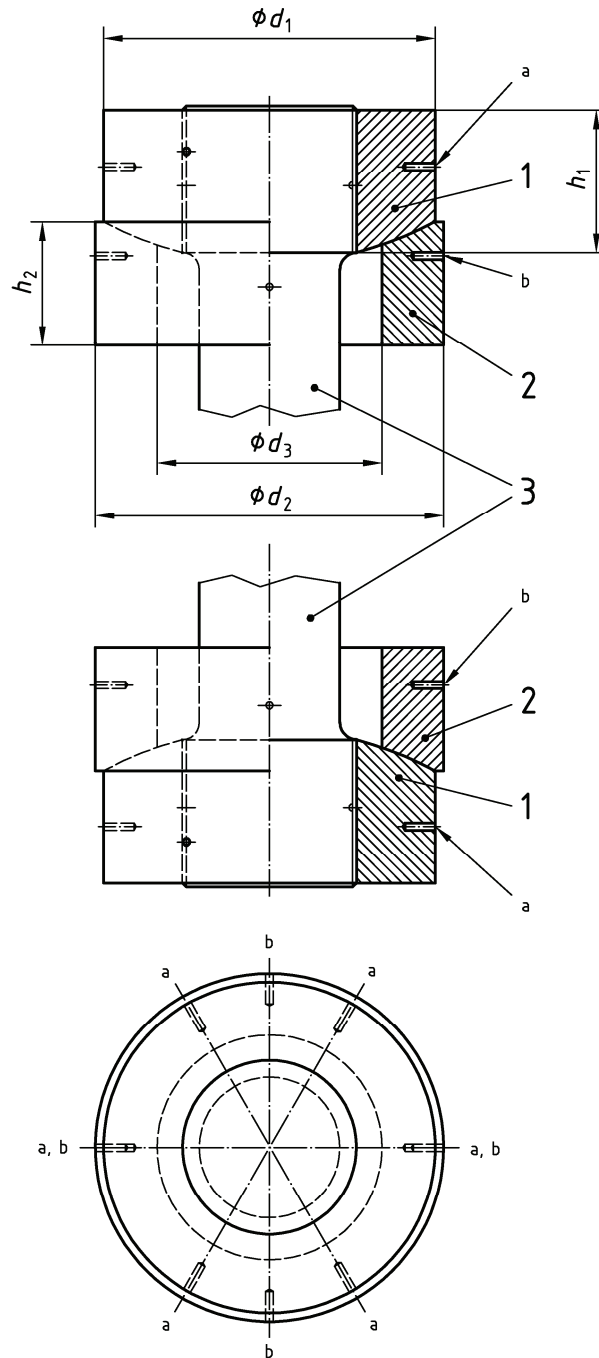
Die in A.4.2 bis A.4.5 empfohlenen Maße erfordern die Verwendung eines Werkstoffs, dessen Streckgrenze mindestens 350 N/mm^2 beträgt.

A.4.2 Kugelmuttern und Kugelschalen

Die Form der für Zugkraftaufnehmer geforderten Kugelmuttern und Kugelschalen geht aus Bild A.1 hervor. Ihre Maße sollten den in Tabelle A.3 angegebenen Werten entsprechen.

Große Kugelschalen und Kugelmuttern für Höchstkräfte (Nennkräfte) größer oder gleich 4 MN sollten als Transport- und Montagehilfe mit über den Umfang verteilten Sacklöchern versehen sein. Bei Kugelschalen genügen zwei Paare gegenüberliegender Bohrungen, von denen eine in der Mittelebene und die andere bei der oberen Kugelschale im oberen Drittel und bei der unteren Kugelschale im unteren Drittel angebracht sein sollten (siehe Bild A.1).

In Kugelmuttern sollten in einer oberen, mittleren und unteren Ebene jeweils zwei einander gegenüberliegende und um 60° versetzt angeordnete Sacklöcher eingebracht sein.



Legende

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1 Kugelmutter | a sechs Bohrungen |
| 2 Kugelschale | b vier Bohrungen |
| 3 Zugkraftmessstab | |

Bild A.1 — Kugelmutter, Kugelschale und Zugkraftmessstab

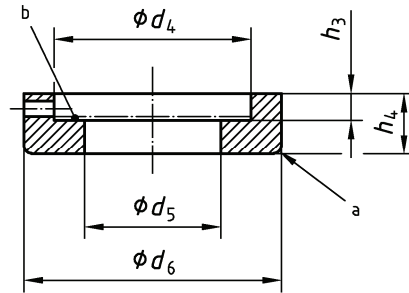
Tabelle A.3 — Maße der Kugelmuttern und Kugelschalen für Zugkraftaufnehmer für Höchstkräfte größer oder gleich 10 kN

Höchstkraft (Nennkraft) des Kraftmessgerätes	d_1 mm	d_2 (c11) mm	d_3 mm	h_1 mm	h_2 mm	r mm
ab 10 kN bis 40 kN	32	$35_{-0,280}^{-0,120}$	22	16	12	30
60 kN	43	$45_{-0,290}^{-0,130}$	27	18	15	30
100 kN	47	$50_{-0,290}^{-0,130}$	32	20	15	50
200 kN	60	$64_{-0,330}^{-0,140}$	44	25	15	50
400 kN und 600 kN	86	$90_{-0,390}^{-0,170}$	60	40	18	80
1 MN	115	$120_{-0,400}^{-0,180}$	74	60	25	100
2 MN	160	$165_{-0,480}^{-0,230}$	100	90	30	150
4 MN	225	$235_{-0,570}^{-0,280}$	150	120	40	250
6 MN	260	$270_{-0,620}^{-0,300}$	170	150	45	250
10 MN	335	$345_{-0,720}^{-0,360}$	220	180	55	300
15 MN	410	$420_{-0,840}^{-0,440}$	265	225	65	350
25 MN	550	$580_{-1,5}^{-0,5}$	345	310	85	500

A.4.3 Zwischenringe

Für die Überprüfung von Werkstoffprüfmaschinen mit mehreren Kraftanzeigebereichen sind bei Bedarf Zwischenringe der Form A oder Form B, wie in Bild A.2 bzw. Bild A.3 dargestellt und in Tabelle A.4 festgelegt, zu verwenden.

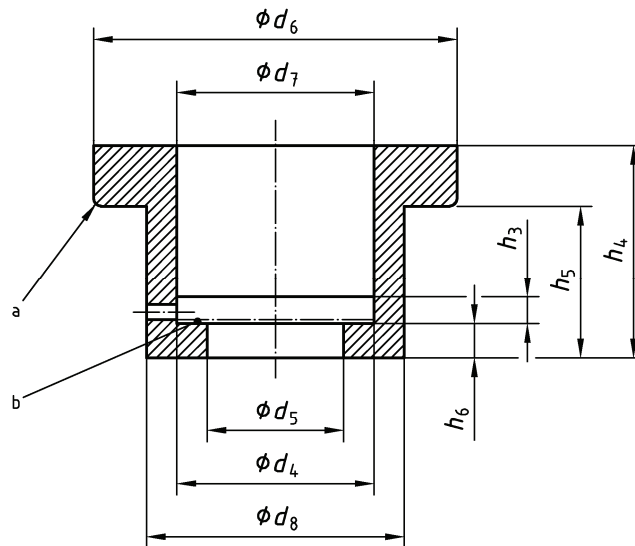
Zwischenringe sollten eine geeignete Haltevorrichtung (z. B. Gewindestifte) zur Sicherung weiterer Belastungsteile aufweisen.



Legende

- a Kante gebrochen
- b Freistich (Maße: 1,6 mm \times 0,3 mm)

Bild A.2 — Zwischenring der Form A



Legende

- a Kante gebrochen
- b Freistich (Maße: 1,6 mm \times 0,3 mm)

Bild A.3 — Zwischenring Form B

A.4.4 Übergangsteile (Verlängerungen, Reduzierstücke usw.)

Sind infolge der Bauart der Werkstoffprüfmaschine Übergangsteile zum Einbau des Kraftaufnehmers erforderlich, so sollten diese so ausgelegt sein, dass eine zentrische Belastung des Kraftaufnehmers sichergestellt ist.

A.4.5 Druckstücke

Druckstücke werden als Krafteinleitungsteile für die Druckaufnehmer verwendet. Besitzt ein Druckstück zwei ebene Flächen für die Kraftübertragung, so müssen diese planparallel geschliffen sein.

Bei der Überprüfung von in Kraft-Bezugsnormalmessenrichtungen (K-BNME) bzw. Kraft-Normalmessenrichtungen (K-NME) eingesetzten Kraftmessgeräten sollte die Flächenpressung an den Druckplatten des Messgeräts nicht größer als 100 N/mm² sein; bei Bedarf sollten zusätzliche Zwischenplatten ausgewählt und eingebaut werden (siehe Bild A.4), deren Durchmesser, d_9 , ausreichend groß zu wählen ist, um sicherzustellen, dass diese Bedingung eingehalten wird.

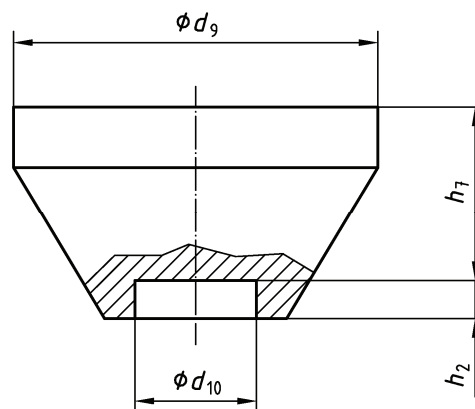
— Entwurf —

In Bild A.4a) ist als Beispiel die Form eines Druckstücks für Druckkraftaufnehmer mit konvexer Krafteinleitungsfläche dargestellt; dessen Höhe, h_7 , sollte größer oder gleich $d_9/2$ sein.

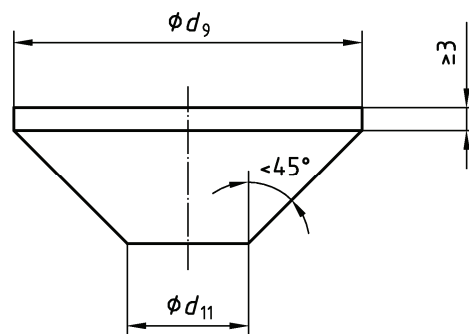
Dabei sollten die Höhe h_8 und der Durchmesser d_{10} aller Druckstücke dem Krafteinleitungsteil so angepasst werden, dass das Druckstück mittig und ohne seitlichen Kontakt mit dem Krafteinleitungsteil positioniert werden kann. Der Durchmesser d_{10} sollte deshalb 0,1 mm bis 0,2 mm größer als der Durchmesser des Krafteinleitungsteils sein.

In Bild A.4b) ist als Beispiel die Form eines Druckstücks für Druckkraftaufnehmer mit ebener Krafteinleitungsfläche dargestellt. Der Durchmesser d_{11} sollte größer oder gleich dem Durchmesser des Krafteinleitungsteils sein.

Maße in Millimeter



a) Druckstück zur Verminderung der Flächenpressung für Kraftaufnehmer mit konvexer Krafteinleitungsfläche



b) Druckstück zur Verminderung der Flächenpressung für Kraftaufnehmer mit ebener Krafteinleitungsfläche

Bild A.4 — Druckstücke

Tabelle A.4 — Maße der Zwischenringe

Höchstkraft (Nennkraft) der Werkstoff- Prüfmaschine ^a	Höchstkraft des Kraftmessgeräts	Form des Zwischen- rings	d_4 H7 mm	d_5 mm	d_6 c11 mm	d_7 mm	d_8 mm	h_3 mm	h_4 mm	h_5 mm	h_6 mm
60 kN	40 kN	A	$35^{+0,025}_0$	24	$45^{-0,130}_{-0,290}$	—	—	5	10	—	—
100 kN	40 kN	A	$35^{+0,025}_0$	24	$50^{-0,130}_{-0,290}$	—	—	7	15	—	—
	60 kN	A	$45^{+0,025}_0$	29		—	—	7	15	—	—
200 kN	40 kN	B	$35^{+0,025}_0$	24	$64^{-0,140}_{-0,330}$	36	46	5	34	22	12
	60 kN	A	$45^{+0,025}_0$	29		—	—	7	15	—	—
	100 kN	A	$50^{+0,025}_0$	34		—	—	7	15	—	—
400 kN und 600 kN	40 kN	B	$35^{+0,025}_0$	24	$90^{-0,170}_{-0,390}$	36	61	5	57	42	12
	60 kN	B	$45^{+0,025}_0$	29		46	61	7	57	42	12
	100 kN	B	$50^{+0,025}_0$	34		51	61	7	57	42	15
	200 kN	A	$64^{+0,030}_0$	47		—	—	12	20	—	—
1 MN	60 kN	B	$45^{+0,025}_0$	29	$120^{-0,180}_{-0,400}$	46	77	7	60	45	15
	100 kN	B	$50^{+0,025}_0$	34		51	77	7	60	45	15
	200 kN	B	$64^{+0,030}_0$	47		65	77	12	60	45	15
	400 kN und 600 kN	A	$90^{+0,035}_0$	65		—	—	18	32	—	—
2 MN	200 kN	B	$64^{+0,030}_0$	47	$165^{-0,230}_{-0,480}$	67	103	12	87	60	15
	400 kN und 600 kN	A	$90^{+0,035}_0$	65		—	—	18	48	—	—
	1 MN	A	$120^{+0,035}_0$	78		—	—	25	50	—	—
4 MN	400 kN und 600 kN	B	$90^{+0,035}_0$	65	$235^{-0,280}_{-0,570}$	92	158	18	130	95	35
	1 MN	B	$120^{+0,035}_0$	78		122	158	25	130	95	45
	2 MN	A	$165^{+0,040}_0$	105		—	—	27	62	—	—
6 MN	400 kN und 600 kN	B	$90^{+0,035}_0$	65	$270^{-0,300}_{-0,620}$	92	173	18	155	115	35
	1 MN	B	$120^{+0,035}_0$	78		122	173	25	155	115	45
	2 MN	A	$165^{+0,040}_0$	105		—	—	27	77	—	—
	4 MN	A	$235^{+0,046}_0$	160		—	—	35	60	—	—
10 MN	1 MN	B	$120^{+0,035}_0$	78	$345^{-0,360}_{-0,720}$	122	223	25	200	150	40
	2 MN	B	$165^{+0,040}_0$	105		167	223	27	200	150	60
	4 MN	A	$235^{+0,046}_0$	160		—	—	35	90	—	—
	6 MN	A	$270^{+0,052}_0$	185		—	—	40	75	—	—

^a Zugprüfmaschinen mit einer Nennkraft größer als 10 MN sind Sonderanfertigungen, für die gegebenenfalls notwendige Zwischenringe nach Vereinbarung zu fertigen sind

Anhang B (informativ)

Zusatzinformationen

B.1 Überlastungsprüfung

Auf das Kraftmessgerät wird viermal nacheinander eine Überlast aufgebracht, die mindestens 8 % und höchstens 12 % größer als die Höchstlast sein sollte. Die Überlastung wird für eine Dauer von 60 s bis 90 s beibehalten.

Mindestens eine Überlastprüfung sollte durch den Hersteller erfolgen, bevor das Messgerät für die Kalibrierung oder den Einsatz freigegeben wird.

B.2 Beispiel eines Verfahrens zur Feststellung, dass zwischen dem Kraftaufnehmer eines für Druckbeanspruchung eingesetzten Messgeräts und seiner Auflage auf der Kalibriereinrichtung keine Wechselwirkung besteht

Das Kraftmessgerät wird mit Hilfe zylindrischer Zusatzdruckstücke belastet, die ebene, konvexe oder konkave Flächen haben und mit der Grundplatte des Geräts in Kontakt sind.

Die konkaven und konvexen Flächen gelten als die Grenzen von Ebenheitsabweichungen und von Härteschwankungen der Auflagerflächen darstellend, innerhalb derer das Messgerät im Betrieb eingesetzt werden kann.

Die Zusatzdruckstücke sind aus Stahl mit einer Härte zwischen 400 HV 30 und 650 HV 30 gefertigt. Konvexität und Konkavität der Flächen betragen $1,0 \pm 0,1$ von 1 000 des Radius [(0,1 \pm 0,01) % des Radius].

Wenn ein Kraftmessgerät mit zugehörigen Druckstücken, die später immer zusammen mit dem Kraftmessgerät verwendet werden, zur Kalibrierung eingereicht wird, gilt das Prüfgerät als Kombination aus Kraftmessgerät und dazugehörigen Druckstücken. Diese Kombination wird nacheinander über die ebenen und konvexen oder konkaven Zusatzdruckstücke belastet.

In das Kraftmessgerät werden zwei Prüfkraften eingeleitet; die erste ist die Höchstkraft des Messgerätes und die zweite die Mindestkalibrierkraft, für die der Verformungsmesswert des Messgeräts vom Standpunkt der Wiederholpräzision ausreicht.

Die Prüfungen werden wiederholt, so dass auf jeden der drei Zusatzdruckstücktypen jeweils drei Kräfteinleitungen entfallen. Für jede Kraft sollten die Differenz zwischen den mittleren Verformungswerten bei Verwendung konkaver und ebener Druckstücke und die Differenz zwischen den mittleren Verformungswerten bei Verwendung konvexer und ebener Druckstücke die in Tabelle B.1 für die jeweilige Kraftmessgeräteklasse angegebenen Grenzen nicht übersteigen.

Tabelle B.1 — Maximal zulässige Differenz der mittleren Verformung

Klasse	Höchstzulässige Differenz	
	bei Höchstkraft %	bei Mindestkraft %
00	0,05	0,1
0,5	0,1	0,2
1	0,2	0,4
2	0,4	0,8

Wenn das Kraftmessgerät die Anforderungen in Bezug auf die Höchstkraft erfüllt, nicht aber die Anforderung an die Mindestkraft, ist die kleinste Kraft, bei der das Messgerät die Bedingung erfüllt, zu ermitteln.

Die Wahl der kleinsten Erhöhung der Kraft, die aufgewendet wird, um die kleinste, die Bedingung erfüllende Kraft zu ermitteln, ist der die Kalibrierung durchführenden Behörde oder Stelle zu überlassen.

Im Allgemeinen ist es nicht erforderlich, diese Prüfungen mit Zusatzdruckstücken bei jeder Kalibrierung des Messgeräts zu wiederholen; es reicht aus, sie nach einer Überholung des Kraftmessgeräts zu wiederholen.

B.3 Anmerkungen zur Aufzeichnung des Nullsignals des unbelasteten Kraftaufnehmers

Eine Änderung des Nullsignals des unbelasteten Kraftaufnehmers ist ein Anzeichen für plastische Verformung durch Überlastung des Kraftaufnehmers. Eine permanente Langzeitdrift ist ein Anzeichen für Feuchtigkeitseinflüsse auf die Dehnungsmessstreifen oder für einen Klebedefekt der Dehnungsmessstreifen.

B.4 Temperaturkorrekturen für kalibrierte Kraftmessgeräte

Die Korrektur des Verformungsmesswertes des Messgeräts im Hinblick auf eventuelle Temperaturschwankungen ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$D_t = D_e [1 + K (t - t_e)]$$

Dabei ist

D_t der Verformungsmesswert bei der Temperatur t ;

D_e der Verformungsmesswert bei der Kalibriertemperatur t_e ;

K der Temperaturkoeffizient des Messgeräts, in $1/^\circ\text{C}$.

Bei nicht elektrisch betriebenen Kraftaufnehmern, die aus Stahl gefertigt sind und höchstens einen Anteil von 7 % an Legierungselementen enthalten, darf der Wert $K = 0,000 27/^\circ\text{C}$ verwendet werden.

Bei Messgeräten aus einem anderen Werkstoff als Stahl oder bei Geräten mit Kraftaufnehmern mit elektrischen Ausgängen sollte der Wert K experimentell bestimmt und vom Hersteller angegeben werden. Der verwendete Wert ist im Kalibrierschein für das Messgerät anzugeben.

In Tabelle B.2 sind die Verformungskorrekturwerte für Messgeräte des ersten Typs angegeben. Diese Korrekturwerte wurden mit $K = 0,000 27/^\circ\text{C}$ ermittelt.

— Entwurf —

ANMERKUNG Für den Fall, dass das Gerät aus Stahl gefertigt ist und die Verformung in Längeneinheiten gemessen wird, beträgt der Temperaturkorrekturwert für jede Änderung von 4 °C etwa 0,001.

Die meisten Kraftaufnehmer mit elektrischen Ausgängen sind temperaturkompensiert (siehe die Anmerkung in 7.4.3).

Im Allgemeinen reicht es aus, die Temperatur des Messgerätes auf 1 °C zu messen.

Für den Fall, dass eine Verformung mit einem Kraftmessgerät bei einer Temperatur gemessen wurde, die höher als die Kalibriertemperatur ist, und dass angestrebt wird, den Verformungsmesswert des Geräts bei Kalibriertemperatur zu bestimmen, sind die in Tabelle B.2 angegebenen Verformungskorrekturwerte vom gemessenen Verformungswert zu subtrahieren.

Wenn eine Messung mit einem Kraftmessgerät bei einer Temperatur durchgeführt wird, die niedriger als die Kalibriertemperatur ist, sollte der Korrekturwert addiert werden.

BEISPIEL

- Temperatur des Kraftmessgeräts: 22 °C;
- beobachtete Verformung: 729,6 Skalenteile;
- Kalibriertemperatur: 20 °C;
- Temperaturänderung: $22\text{ °C} - 20\text{ °C} = +2\text{ °C}$.

In der der Änderung von +2 °C entsprechenden Spalte liegt der nächste Verformungsmesswert, der größer als 729,6 Skalenteile ist, bei 833 Skalenteilen. Für diesen Verformungsmesswert gibt Tabelle B.2 einen Korrekturwert von 0,4 Skalenteilen an.

Der korrigierte Verformungsmesswert beträgt $729,6 - 0,4 = 729,2$ Skalenteile.

Tabelle B.2 — Korrekturwerte des Verformungsmesswerts für Temperaturänderungen eines Kraftmessgerätes aus Stahl (ohne Kraftaufnehmer mit elektrischen Ausgängen)

Korrekturwerte des Verformungsmesswerts in Skalenteilen	Höchste Verformungswerte, bei denen Korrekturen vorgenommen werden, in Skalenteilen für Temperaturänderungen im Verhältnis zur Kalibriertemperatur							
	1 °C	2 °C	3 °C	4 °C	5 °C	6 °C	7 °C	8 °C
0,0	185	92	61	46	37	30	26	23
0,1	555	277	185	138	111	92	79	69
0,2	925	462	308	231	185	154	132	115
0,3	1 296	648	432	324	259	216	185	162
0,4	1 666	833	555	416	333	277	238	208
0,5	2 037	1 018	679	509	407	339	291	254
0,6		1 203	802	601	481	401	343	300
0,7		1 388	925	694	555	462	396	347
0,8		1 574	1 049	787	629	524	449	393
0,9		1 759	1 172	879	703	586	502	439
1,0		1 944	1 296	972	777	648	555	486
1,1		2 129	1 419	1 064	851	709	608	532
1,2			1 543	1 157	925	771	661	578
1,3			1 666	1 250	999	833	714	625
1,4			1 790	1 342	1 074	895	767	671
1,5			1 913	1 435	1 148	956	820	717
1,6			2 037	1 527	1 222	1 018	873	763
1,7			2 160	1 620	1 296	1 080	925	810
1,8				1 712	1 370	1 141	978	856
1,9				1 805	1 444	1 203	1 031	902
2,0				1 898	1 518	1 265	1 084	949
2,1				1 990	1 592	1 327	1 137	995
2,2				2 083	1 666	1 388	1 190	1 041
2,3					1 740	1 450	1 243	1 087
2,4					1 814	1 512	1 296	1 134
2,5					1 888	1 574	1 349	1 180

Anhang C (informativ)

Messunsicherheit von Kraftmessgeräten

C.1 Unsicherheit der Kalibrierergebnisse des Kraftmessgeräts

Bei für die Interpolation klassifizierten Messgeräten ist die Kalibrierunsicherheit die Unsicherheit des mittels der Interpolationsgleichung für den betreffenden Verformungsmesswert berechneten Kraftwerts. Bei Messgeräten, die nur für bestimmte Kräfte klassifiziert sind, ist die Kalibrierunsicherheit die Unsicherheit in der Kraft, die einem Verformungsmesswert gleich einem der während der Kalibrierung erhaltenen mittleren Verformungsmesswerte entspricht.

Für jede Kalibrierkraft wird aus den während der Kalibrierung erhaltenen Ablesewerten eine in Einheiten der Kraft anzugebende kombinierte Standardunsicherheit u_c berechnet. Diese kombinierten Standardunsicherheiten werden über der Kraft aufgetragen, und es wird unter Einbeziehung aller Werte eine Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Die Koeffizienten dieser Anpassung werden anschließend mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ multipliziert, um den Wert U der erweiterten Unsicherheit für jede Kraft innerhalb des Kalibrierungsbereichs zu erhalten. Daraus lässt sich dann auch ein Wert W der erweiterten relativen Unsicherheit berechnen:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 u_i^2} \quad \text{und} \quad U = k \times u_c \quad \text{und} \quad W = U/F$$

Dabei ist

- u_1 die mit der eingeleiteten Kalibrierkraft verbundene Standardunsicherheit;
- u_2 die mit der erweiterten Vergleichspräzision der Kalibrierergebnisse verbundene Standardunsicherheit;
- u_3 die mit der Wiederholpräzision der Kalibrierergebnisse verbundene Standardunsicherheit;
- u_4 die mit der Auflösung der Anzeige verbundene Standardunsicherheit;
- u_5 die mit dem Kriechverhalten des Messgeräts verbundene Standardunsicherheit;
- u_6 die mit der Drift des Nullwerts verbundene Standardunsicherheit;
- u_7 die mit der Temperatur des Messgeräts verbundene Standardunsicherheit;
- u_8 die mit der Interpolation verbundene Standardunsicherheit.

Die erweiterte relative Unsicherheit W kann auch aus einer Kombination relativer Standardunsicherheiten w_i berechnet werden:

$$w_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 w_i^2} \quad \text{und} \quad W = k \times w_c \quad \text{und} \quad U = W \times F$$

Dabei ist

- w_1 die mit der eingeleiteten Kalibrierkraft verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_2 die mit der erweiterten Vergleichspräzision der Kalibrierergebnisse verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_3 die mit der Wiederholpräzision der Kalibrierergebnisse verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_4 die mit der Auflösung der Anzeige verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_5 die mit dem Kriechverhalten des Messgeräts verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_6 die mit der Drift des Nullwerts verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_7 die mit der Temperatur des Messgeräts verbundene relative Standardunsicherheit;
- w_8 die mit der Interpolation verbundene Standardunsicherheit.

ANMERKUNG 1 Die Interpolationskomponente (u_8 , w_8) wird bei der Kalibrierungsunsicherheit von Messgeräten, die nur für bestimmte Kräfte klassifiziert sind, nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG 2 Die relative Unsicherheit kann durch Multiplikation mit 100 als Prozentsatz angegeben werden.

C.1.1 Berechnung der Unsicherheit der Kalibrierkraft, u_1 , w_1

u_1 ist die Standardunsicherheit, die mit den von der Kalibriereinrichtung eingeleiteten Kalibrierkräften verbunden ist und in Einheiten der Kraft angegeben wird. w_1 ist der entsprechende Relativwert.

C.1.2 Berechnung der Unsicherheit der erweiterten Vergleichspräzision, u_2 , w_2

u_2 ist die Standardunsicherheit, die mit den während der Kalibrierung erhaltenen mittleren Verformungsmesswerten bei zunehmender Kraft verbunden ist und in Einheiten der Kraft angegeben wird; w_2 ist der entsprechende Relativwert.

$$u_2 = \left| \frac{F_N}{X_N} \right| \times \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{i=1,3,5} (X_i - \bar{X}_r)^2} \quad \text{und} \quad w_2 = \frac{1}{|\bar{X}_r|} \times \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{i=1,3,5} (X_i - \bar{X}_r)^2}$$

Dabei sind X_i die in der inkrementellen Reihe 1, 3 und 5 erhaltenen Verformungsmesswerte.

ANMERKUNG Hierbei handelt es sich nicht um die erweiterte Vergleichspräzision einer im späteren Einsatz des Kraftmessgeräts gemessenen Kraft.

C.1.3 Berechnung der Unsicherheit der Wiederholpräzision, u_3 , w_3

u_3 ist der Unsicherheitsbeitrag infolge der Wiederholpräzision des gemessenen Verformungswerts, angegeben in Einheiten der Kraft, und w_3 ist der entsprechende Relativwert. Für jede Kraft F kann von folgender Annahme ausgegangen werden:

$$u_3 = \frac{b' \times F}{100 \times \sqrt{3}} \quad \text{und} \quad w_3 = \frac{b'}{100 \times \sqrt{3}}$$

Dabei ist b' die in 7.5.1 definierte relative Wiederholpräzision.

C.1.4 Berechnung der Unsicherheit der Auflösung, u_4 , w_4

Jeder Verformungswert wird aus zwei Ablesewerten berechnet (als Ergebnis der Subtraktion des Ablesewerts im unbelasteten Zustand vom Ablesewert bei eingeleiteter Kraft). Infolgedessen muss die Auflösung der Anzeige zweifach in Form zweier Rechteckverteilungen, jeweils mit einer Standardunsicherheit von $r/(2\sqrt{3})$, einbezogen werden, wobei r die in Einheiten der Kraft angegebene Auflösung ist.

$$u_4 = \frac{r}{\sqrt{6}} \quad \text{und} \quad w_4 = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \frac{r}{F}$$

C.1.5 Berechnung der Unsicherheit des Kriechverhaltens, u_5 , w_5

Diese Unsicherheitskomponente ist durch die Tatsache bedingt, dass der bei einer gegebenen Kraft gemessene Verformungswert durch den Verlauf der vorausgegangenen Kurzzeitbelastungen beeinflusst werden kann. Ein Maß für diesen Einfluss ist die Änderung des Ausgabewerts des Kraftaufnehmers im Zeitraum von 30 s bis 300 s nach Aufbringung oder Wegnahme der Höchstkraft für die Kalibrierung. Diese Wirkung ist in der Vergleichspräzision nicht enthalten, weil in der Regel für alle Messreihen dasselbe Kalibriergerät verwendet wird und das zeitliche Belastungsverfahren das gleiche ist.

Diese Wirkung lässt sich folgt abschätzen:

$$u_5 = \frac{c \times F}{100 \times \sqrt{3}} \quad \text{und} \quad w_5 = \frac{c}{100 \times \sqrt{3}}$$

Falls keine Kriechprüfung durchgeführt wird, sollte stattdessen die Hysterese-Unsicherheitskomponente verwendet werden (siehe C.2.3).

C.1.6 Berechnung der Unsicherheit der Nullpunktdrift, u_6 , w_6

Diese Unsicherheitskomponente ist durch die Tatsache bedingt, dass der Nullpunktausgabewert des Messgeräts aufgrund der Kriechrückstellung von Messreihe zu Messreihe schwanken kann und die gemessenen Verformungswerte von der Zeit abhängig sein können, die das Messgerät zwischen den Messreihen auf Null gestanden hat. Diese Wirkung ist in der Vergleichspräzision nicht enthalten, weil dieses Intervall in der Regel für alle Messreihen gleich lang ist. Ein Maß für diese Schwankung ist die Nullpunktabweichung f_0 , so dass diese Wirkung wie folgt abgeschätzt werden kann (mit F_{\min} = Mindestkalibrierkraft):

$$u_6 = \frac{f_0 \times F_{\min}}{100} \quad \text{oder} \quad w_6 = \frac{F_{\min}}{F} \times \frac{f_0}{100}$$

C.1.7 Berechnung der Temperaturunsicherheit, u_7 , w_7

Hierbei handelt es sich um den durch Temperaturschwankungen im Verlauf der Kalibrierung und durch die Messunsicherheit der Kalibriertemperatur bedingten Unsicherheitsbeitrag. Die Empfindlichkeit des Messgeräts in Bezug auf die Temperatur muss entweder durch Prüfungen bestimmt, aus den Herstellerspezifikationen entnommen oder aber theoretisch oder anhand von Erfahrungen ermittelt werden. Bei Angabe dieser Komponente in Einheiten der Kraft oder als Relativwert ergibt sich:

$$u_7 = K \times \frac{\Delta T}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times F \quad \text{oder} \quad w_7 = K \times \frac{\Delta T}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Dabei ist K der Temperaturkoeffizient des Messgeräts, in $1/^\circ\text{C}$, und ΔT ist der Bereich der Kalibriertemperatur unter Berücksichtigung der Messunsicherheit der Temperatur.

C.1.8 Berechnung der Interpolationsunsicherheit, u_8 , w_8

Diese Komponente wird bei der Berechnung der Kalibrierunsicherheit für Messgeräte, die nur für bestimmte Kräfte klassifiziert sind, nicht berücksichtigt.

Es handelt sich dabei um den Beitrag der in der graphischen Darstellung eingetragenen Kraft-Verformungspunkte, die außerhalb des Bereichs der Kurvenanpassung liegen, und eine Unsicherheit in die Interpolationsgleichung einführen. Zur Berechnung dieses Beitrags kann eines der folgenden beiden Verfahren herangezogen werden:

C.1.8.1 Residuum-Verfahren

Diese Komponente kann mit Hilfe von Theorien der Statistik abgeschätzt werden. Ausgehend von der Annahme, dass die Kalibrierkräfte gleich verteilt seien, lässt sie sich mit Hilfe der folgenden Gleichung vereinfachen:

$$u_8 = \frac{F_N}{X_N} \sqrt{\frac{\delta_r}{n-d-1}} \quad \text{oder} \quad w_8 = \frac{F_N}{F \times X_N} \sqrt{\frac{\delta_r}{n-d-1}}$$

Dabei ist

- δ_r die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen der mittleren Verformung und dem mit Hilfe der Interpolationsgleichung berechneten Wert;
- n die Anzahl der Kraftkalibrierungsstufen;
- d der Grad der Gleichung.

C.1.8.2 Abweichungsverfahren

Diese Komponente ist die Differenz zwischen der mittleren gemessenen Verformung und dem mit Hilfe der Interpolationsgleichung berechneten Wert:

$$u_8 = \left| \frac{\bar{X}_r - X_a}{\bar{X}_r} \right| \times F \quad \text{oder} \quad w_8 = \left| \frac{\bar{X}_r - X_a}{\bar{X}_r} \right|$$

C.1.9 Berechnung der kombinierten Standardunsicherheit der Kalibrierung und der erweiterten Unsicherheit

Die Berechnung der kombinierten Standardunsicherheit kann entweder in Einheiten der Kraft und als Relativwerte erfolgen.

C.1.9.1 In Einheiten der Kraft, u_c , und erweiterte Unsicherheit, U

Für jede Kalibrierkraft ist die kombinierte Standardunsicherheit u_c durch Kombination der einzelnen quadrierten Standardunsicherheiten wie folgt zu berechnen:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 u_i^2}$$

u_c ist graphisch über der Kraft aufzutragen, und danach sind die Koeffizienten einer Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung sämtlicher Datenpunkte zu bestimmen.

Die Form der angepassten Kurve (z. B. linear, polynomisch, exponentiell) hängt von den Kalibrierergebnissen ab. Aus Gründen der Einfachheit wird eine lineare Gleichung empfohlen. Falls diese zu Werten führt, die geringer als der kleinste kombinierte Unsicherheitswert sind, sollte eine konservativere Kurvenanpassung angewendet und/oder ein Mindestwert für die Unsicherheit festgelegt werden, bei dem es sich empfehlungsgemäß um den kleinsten erhaltenen Wert der kombinierten Standardunsicherheit (in Einheiten der Kraft) handeln sollte.

Die erweiterte Unsicherheit U ist durch die Gleichung gegeben, deren Koeffizienten das Doppelte von deren Wert betragen – für jede Kraft innerhalb des Kalibrierungsbereiches kann dann eine erweiterte Unsicherheit berechnet und entweder als Relativwert oder in Einheiten der Kraft angegeben werden.

C.1.9.2 Als Relativwerte, w_c , und erweiterte Unsicherheit, W

Für jede Kalibrierkraft ist die kombinierte Standardunsicherheit w_c durch Kombination der einzelnen quadrierten Standardunsicherheiten wie folgt zu berechnen:

$$w_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 w_i^2}$$

w_c ist graphisch über der Kraft aufzutragen, und danach sind die Koeffizienten einer Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung sämtlicher Datenpunkte zu bestimmen.

Die Form der angepassten Kurve (z. B. linear, polynomisch, exponentiell) hängt von den Kalibrierungsergebnissen ab. Falls diese zu Werten führt, die geringer als der kleinste kombinierte Unsicherheitswert sind, sollte eine konservativere Kurvenanpassung angewendet und/oder ein Mindestwert für die Unsicherheit für die betreffenden Teile des Kalibrierungsbereiches festgelegt werden.

Die erweiterte Unsicherheit W ist durch die Gleichung gegeben, deren Koeffizienten das Doppelte von deren Wert betragen – für jede Kraft innerhalb des Kalibrierungsbereiches kann dann eine erweiterte Unsicherheit berechnet und entweder als Relativwert oder in Einheiten der Kraft angegeben werden.

C.2 Unsicherheit während des späteren Einsatzes des Kraftmessgeräts

Die Unsicherheit, die mit der Kraft verbunden ist, die sich aus den vom Kraftmessgerät nach seiner Kalibrierung erhaltenen Verformungsmesswerten ergibt, besteht aus Beiträgen einer Reihe von Quellen:

- 1) Kalibrierungsunsicherheit;
- 2) Auflösung;
- 3) Beitrag aufgrund der Umkehrspanne;
- 4) Drift in der Empfindlichkeit seit der Kalibrierung;
- 5) Wirkung des Einsatzes bei einer anderen Temperatur;
- 6) Wirkung des Einsatzes bei anderen End-Belastungsbedingungen;
- 7) Wirkung des Einsatzes mit anderen Störkomponenten;
- 8) Wirkung des Einsatzes mit einem anderen Zeit-Belastungsprofil;
- 9) Wirkung von linearen Näherungen an die Interpolationsgleichung;
- 10) Wirkung des Ersatz-Anzeigegegeräts, falls ein solches verwendet wurde.

Es kann davon ausgegangen werden, dass keine dieser Wirkungen mit einer anderen korreliert, so dass deren quadrierte Standardunsicherheiten summiert werden können, um für jede einzelne Kraft (unter der Annahme, dass für alle bekannten Abweichungen eine entsprechende Korrektur vorgenommen wurde) eine kombinierte Standardunsicherheit zu berechnen. Falls z. B. die Temperaturempfindlichkeit des Kraftaufnehmers ebenso wie der Temperaturunterschied (zwischen Kalibrierung und späterer Verwendung) bekannt ist, sollte entweder eine Korrektur in Bezug auf die berechnete Kraft vorgenommen oder die entsprechende Wirkung der Unsicherheit nicht quadriert, sondern linear hinzuaddiert werden.

C.2.1 Kalibrierunsicherheit

Diese beträgt die Hälfte des Wertes der nach C.1.9 mit Hilfe der erweiterten Unsicherheitsgleichung berechneten erweiterten Unsicherheit.

C.2.2 Auflösungsunsicherheit

Die gemessene Kraft ergibt sich aus neuen Verformungsmesswerten. Aufgrund dessen muss die Auflösung des Anzeigegegeräts nochmals in ähnlicher Weise wie in C.1.4 beschrieben einbezogen werden. Falls die Ablesewerte um mehr als die Auflösung des Anzeigegegeräts schwanken, sollte die Auflösung als die Hälfte des Schwankungsbereichs angesetzt werden.

C.2.3 Berechnung des durch die Umkehrspanne bedingten Beitrags

Die in 7.5.4 definierte Umkehrspanne v ist keine Komponente der Kalibrierunsicherheit. In welcher Form diese Eigenschaft zu berücksichtigen ist, hängt davon ab, auf welche Art und Weise der Kraftaufnehmer nach der Kalibrierung eingesetzt wird.

Falls der Anwender ausschließlich ansteigende Messungen durchführt, sollte keine Umkehrkomponente in die Unsicherheit der gemessenen Kraft einbezogen werden.

— Entwurf —

Führt der Anwender jedoch Messungen mit abnehmenden Werten der Kraft durch, ohne eine Korrektur vorzunehmen, so muss in die Unsicherheit der gemessenen Kraft die Umkehrspanne v durch Addieren der folgenden Komponente einbezogen werden:

$$u_{\text{rev}} = \frac{F_{\text{N}}}{\sqrt{3}} \left| \frac{\bar{X}_{\text{r}} - \bar{X}'_{\text{r}}}{X_{\text{N}}} \right| \quad \text{oder} \quad w_{\text{rev}} = \frac{F_{\text{N}}}{F \times \sqrt{3}} \left| \frac{\bar{X}_{\text{r}} - \bar{X}'_{\text{r}}}{X_{\text{N}}} \right|$$

Diese Komponente kann im Kalibrierschein angegeben werden. Sie kann darüber hinaus in quadrierter Form zu den in C.1 beschriebenen Unsicherheitskalibrierungskomponenten hinzuaddiert werden, um eine kombinierte Kalibrierungsunsicherheit mit zusätzlicher Umkehrwirkung zu erhalten.

C.2.4 Drift

Diese Komponente kann aus dem Verlauf der in früheren Kalibrierungen des Kraftaufnehmers erhaltenen Kalibrierungsergebnisse abgeschätzt werden. Die genaue Unsicherheitsverteilung (und möglicherweise sogar eine geschätzte Fehlerkorrektur) hängt (hängen) vom jeweiligen Kraftaufnehmer ab, es wird jedoch eine Rechteckverteilung mit einer erweiterten Unsicherheit von \pm der größten früheren Änderung als konservativen Schätzwert vorgeschlagen. Liegen keine diesbezüglichen Angaben vor, so sollte ein Schätzwert anhand der Gebrauchshistorie ähnlicher Geräte ermittelt werden.

C.2.5 Temperaturwirkung

Die Temperaturwirkung auf den Null-Ausgangswert kann vernachlässigt werden, da sie aufgrund der Berechnung des Verformungswerts bedeutungslos wird, der Wirkung der Temperatur auf die Empfindlichkeit oder die Spannweite muss jedoch Rechnung getragen werden. Falls die tatsächliche Temperaturempfindlichkeit des Kraftaufnehmers bekannt ist, sollte die berechnete Kraft entsprechend korrigiert werden. Im wahrscheinlicheren Falle, dass als einzige Information die Auslegungstoleranz des Herstellers vorliegt, muss eine auf diesem Wert und dem Temperaturunterschied zwischen der Kalibrierung und dem späteren Einsatz des Kraftaufnehmers beruhende Unsicherheitskomponente verwendet werden. Es wird empfohlen, hierfür eine Rechteckverteilung zu verwenden. Der Koeffizient (oder die Toleranz) ist jedoch in der Regel für eine stabilisierte Temperatur ohne Gradienten angegeben – falls also der Kraftaufnehmer unter Bedingungen eingesetzt wird, bei denen er Temperaturgradienten ausgesetzt ist, sollte ein zusätzlicher Unsicherheitsbeitrag berücksichtigt werden.

C.2.6 End-Belastungswirkung

Die in Abschnitt B.2 festgelegte Druckstückprüfung gibt einen Hinweis auf die Empfindlichkeit eines Druckkraftaufnehmers in Bezug auf End-Belastungswirkungen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sollten in Verbindung mit Angaben zu den späteren Einsatzbedingungen des Kraftaufnehmers die Bestimmung von realistischen Unsicherheitsbeiträgen für diese Wirkungen ermöglichen.

C.2.7 Wirkung Störkomponenten

Die in der Kalibrierunsicherheit enthaltene erweiterte Vergleichspräzision gilt nur für einen Mittelwert von jeweils drei am Kalibriergerät durchgeführten Messungen. Üblicherweise treten beim späteren Gebrauch des Kraftmessgeräts parasitische Komponenten angewendet, die größer als die während der Kalibrierung angewendeten sind.

Es wird daher empfohlen, dass der Anwender die Kraftmessung wiederholt, wobei der Kraftaufnehmer zwischen den einzelnen Messreihen um die Kraftachse zu drehen ist. Auf diese Weise kann der mit der beobachteten Schwankung verbundenen Komponente Rechnung getragen werden.

Falls die Messungen nicht unter Drehung des Kraftaufnehmers wiederholt werden können, sollte die Spannweite der parasitischen Komponente geschätzt und die Empfindlichkeit des Kraftaufnehmers in Bezug auf parasitische Komponenten beurteilt werden. Daraufhin sollte eine auf deren Produkt basierende Unsicherheitskomponente einbezogen werden.

C.2.8 Zeit-Belastungsprofil

Das (in ISO 376 festgelegte) Verfahren für die Kalibrierung des Kraftmessgeräts und dessen spätere Anwendung bei der Überprüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung (nach ISO 7500-1 [1]) legen unterschiedliche Zeit-Belastungsprofile fest (in ISO 367 ist eine Wartezeit von 30 s vor der Ablesung gefordert, während ISO 7500-1 [1] die Kalibrierung mit einer langsam ansteigenden Kraft erlaubt). Falls das Kraftmessgerät empfindlich auf Zeit-Belastungswirkungen reagiert, würden diese beiden unterschiedlichen Vorgehensweisen zu Fehlern in der berechneten Kraft einführen. Die durch das Kriechen und die Nullpunkt-drift in die Kalibrierungsunsicherheit eingeführten Unsicherheitsbeiträge decken diese Wirkung bis zu einem gewissen Grade ab, es kann jedoch je nach Anwendungsfall ein weiterer Unsicherheitsbeitrag erforderlich sein.

Es muss mit Vorsicht vorgegangen werden, wenn vor Einsatz des Kraftmessgeräts keine Vorlast aufgebracht werden kann; dies gilt besonders, wenn es in beiden Belastungsarten betrieben werden soll (d. h. mit Umschaltung von Zug auf Druck und umgekehrt).

C.2.9 Wirkung von Näherungen an die Gleichung

Falls die im Kalibrierschein angegebene Ausgleichsfunktion nicht angewendet wurde, muss eine auf den Unterschieden zwischen der Ausgleichsfunktion und der verwendeten Gleichung beruhende Komponente addiert werden.

Einige Anzeigeräte erlauben die Eingabe von Punkten aus der Ausgleichsfunktion, so dass die Anzeige in Einheiten der Kraft erfolgt, führen aber anstelle der Anwendung der Ausgleichsfunktion eine lineare Interpolation zwischen diesen Punkten aus. Ist dies der Fall, so sollten die Auswirkungen dieser Näherung an die Kurve untersucht werden und erforderlichenfalls ein Unsicherheitsbeitrag aufgenommen werden.

C.2.10 Wirkung des ersetzten Anzeigeräts

Die Abweichung zwischen den beiden Anzeigeräten ist zu ermitteln (hierfür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, z. B. die Kalibrierung beider Anzeigeräte, die Verwendung eines gewöhnlichen Brückensimulators), und die Unsicherheit dieser Abweichung muss geschätzt werden (einschließlich von Faktoren wie der Kalibrierungsunsicherheit der Anzeigeräte und der Stabilität des gewöhnlichen Brückensimulators).

Falls Korrekturen vorgenommen werden, muss die Unsicherheit der Abweichung berücksichtigt werden. Werden keine Korrekturen vorgenommen, so müssen die Abweichung und ihre Unsicherheit berücksichtigt werden.

C.2.11 Wirkung von dynamischen Kräften

Die vorliegende Norm befasst sich nur mit der Messung von statischen Kräften. Falls das Kraftmessgerät unter dynamischen Bedingungen eingesetzt wird, muss weiteren Beiträgen Rechnung getragen werden. So können z. B. die Frequenzantwort des Kraftaufnehmers und des Anzeigeräts und die Wechselwirkung mit dem mechanischen Tragwerk erheblichen Einfluss auf die Messergebnisse haben. Aufgrund dessen ist bei dynamischen Messungen eine eingehende Analyse erforderlich, die jedoch außerhalb des Rahmens der vorliegenden Norm liegt.

Literaturhinweise

- [1] ISO 7500-1:2004, *Metallic materials — Verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Verification and calibration of the force-measuring system.*