

DIN EN 4861



ICS 17.180.01; 49.025.01

Einsprüche bis 2019-09-26

Entwurf**Luft- und Raumfahrt –
Metrologisches Messverfahren für kinematische Felder durch digitale
Bildkorrelation;
Deutsche und Englische Fassung FprEN 4861:2019**

Aerospace series –

Metrological assessment procedure for kinematic fields measured by digital image correlation;

German and English version FprEN 4861:2019

Série aérospatiale –

Procédure d'évaluation métrologique applicable aux mesures de champs cinématiques par corrélation d'images numériques;

Version allemande et anglaise FprEN 4861:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-07-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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

Gesamtumfang 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (FprEN 4861:2019) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Werkstoffe, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet. Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-02-05 AA „Metallische Werkstoffe“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieses Dokuments die Englische Fassung hinzugefügt.

Es wird darauf hingewiesen, dass auf Grund der Verfahrensweise zur Normenerstellung bei ASD-STAN dieser Norm-Entwurf E DIN EN 4861 ausschließlich der formellen Annahme der deutschen Sprachfassung von EN 4861 dienen kann. Im Rahmen dieser Umfrage sind daher ausschließlich redaktionelle Stellungnahmen zur deutschen Übersetzung möglich.

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

ISO 9513 siehe DIN EN ISO 9513

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9513, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung*

Luft- und Raumfahrt — Metrologisches Messverfahren für kinematische Felder durch digitale Bildkorrelation

Série aérospatiale — Procédure d'évaluation métrologique applicable aux mesures de champs cinématiques par corrélation d'images numériques

Aerospace series — Metrological assessment procedure for kinematic fields measured by digital image correlation

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: formelle Abstimmung
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Kurzbeschreibung.....	6
6 System zur Bewertung der messtechnischen Leistung	7
6.1 Kurzbeschreibung.....	7
6.2 Rückverfolgbarkeit der messtechnischen Leistungsbewertung	7
7 Vorabinspektion	7
7.1 Ziel	7
7.2 Aufzeichnungen zur Inspektion	7
7.3 Identifizierung von Elementen des Extensometer-Systems.....	7
8 Messung der physikalischen Pixelgröße	8
8.1 Bei Monovisionsmessungen – Software-Verfahren	8
8.2 Bei Monovisionsmessungen – manuelles Verfahren	8
8.3 Bei Monovisionsmessungen – Identifizierung während des Leistungsbewertungsverfahrens.....	8
8.4 Bei Stereovisionmessungen	8
9 Messtechnischer Bewertungsprozess	8
9.1 Umweltaspekte.....	8
9.2 Kalibrierungs-Inkremente	9
9.3 Verfahren zur messtechnischen Leistungsbewertung.....	11
9.4 Bestimmung der Merkmale des Extensometer-Systems	11
9.4.1 Auflösung.....	11
9.4.2 Fehler der systematischen Abweichungskomponente.....	12
10 Klassifizierung des Extensometer-Systems.....	12
10.1 Eingabedaten	12
10.2 Analyse der Daten	12
10.3 Kriterien für die Klassifizierung	12
10.4 Bewertung der Ergebnisse.....	13
11 Messunsicherheitsbestimmung	13
11.1 Messunsicherheit der messtechnischen Leistungsbewertung	13
11.2 Bestimmung des Unsicherheitsbudgets.....	14
12 Intervalle der messtechnischen Leistungsbewertung für Extensometer-Systeme	14
13 Zertifikate der messtechnischen Leistungsbewertung	14
13.1 Pflichtangaben	14
13.2 Darstellung der Daten	15
Anhang A (informativ) Messunsicherheit.....	16
A.1 Einleitung	16
A.2 Kalibriereinrichtung.....	17

A.3	Auflösung.....	18
A.4	Wiederholpräzision	18
A.5	Relativer mittlerer Fehler des Extensometer-Systems	18
A.6	Erweiterte Messunsicherheit	18
A.7	Typische Werte der Messunsicherheit	19
A.8	Beispiel eines Unsicherheitsbudgets für das Extensometer-System	19
Anhang B (informativ) Klassifizierung des Systems für die Bewertung der messtechnischen Leistung.....		22
Anhang C (normativ) Kovarianz- und Kovarianzmatrix		23
Anhang D (informativ) Muster für den Bericht der messtechnischen Bewertung		29
D.1	Bericht der messtechnischen Bewertung für kinematische Felder, gemessen durch digitale Bildkorrelation	29
D.1.1	Identifikation des Extensometer-Systems	29
D.1.2	Kurzbeschreibung	29
D.1.3	Datum der messtechnischen Bewertung	29
D.1.4	Betreiber.....	29
D.1.5	Systemkonfiguration	29
D.1.6	System zur Bewertung der messtechnischen Leistung	29
D.1.7	Bewertungsplan	30
D.1.8	Ergebnisse – Beurteilung der Auflösung.....	32
D.1.9	Ergebnisse – Klassenfeld	33
D.1.10	Synthese	33
Anhang E (informativ) Alternativer Ansatz für die optische Modell-Identifikation bei Monovisionmessungen		36
E.1	Messungen	36
E.2	Bild.....	37
Literaturhinweise		38

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 4861:2019) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie — Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der ASD erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

Dieses Dokument ist derzeit zur formellen Abstimmung vorgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Überwachung von mechanischen Prüfungen und Inspektionen fest, die sowohl am Material (Coupon) als auch im strukturellen Maßstab durch den Einsatz von Messungen kinematischer Felder durch digitale Bildkorrelation durchgeführt werden. Dieses Dokument beschreibt ein In-situ-Verfahren zur Beurteilung der messtechnischen Leistung eines Extensometer-Systems, das Bildkorrelation für die Ermittlung von Verschiebungsfeldern nutzt und Verformungsfelder mittels Extrapolation berechnet. Es kann vor dem eigentlichen Beginn der Prüfung (oder Inspektion) implementiert werden. Es informiert über die messtechnische Leistung bei Prüfbedingungen.

Mit diesem Dokument kann die messtechnische Leistung der Messtechnik quantifiziert werden. Die hier beschriebene Methodik ist nicht als Kalibrierschritt zu betrachten. Dieses Bezugsdokument enthält keine vollständige Festlegung der konstitutiven Elemente eines generischen Systems der Messung mithilfe digitaler Bildkorrelation (en: Digital Image Correlation, DIC). Dieses Dokument bezieht sich nicht auf die Messung von 3D-Formen mithilfe von Stereokorrelationssystemen.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Extensometer-System

Ausrüstung, mit der auf der Oberfläche eines geprüften Teils die Verschiebungs- oder Dehnungsfelder gemessen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Ausrüstung besteht aus einem Bilderfassungsgerät und einem Computersystem zum Berechnen der Verschiebungs- und/oder Dehnungsfelder aus den aufgezeichneten Bildern.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Anwendung dieses Dokuments gilt der Begriff „Extensometer-System“ insbesondere für Messungen von kinematischen Feldern durch digitale Bildkorrelation.

3.2

Anwender

die für die Implementierung des Extensometer-Systems verantwortliche Person;

3.3

2D-Messung — Monovision

Extensometer-System, das aus einem einzigen Bildgeber besteht, ist ein Monovisionssystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses System kann Vollfeldmessdaten in zwei (2) Dimensionen ausgeben. Die relevante Ebene steht senkrecht zur optischen Achse des Bildgebungssystems.

3.4

3D-Oberflächenmessung — Stereokorrelation

Extensometer-System, das aus (mindestens) zwei (2) Bildgebern besteht, ist ein Stereovisionssystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Durch vorherige Kalibrierung nach Herstelleranweisungen liefert das System Messungen von Verschiebungsfeldern in drei (3) Dimensionen der überwachten Oberfläche. Diese auf die Bildkorrelation angewendete Praxis wird durch den Begriff Stereokorrelation definiert.

4 Symbole und Abkürzungen

Die in diesem Dokument verwendeten Symbole sind in Tabelle 1 zusammen mit ihrer Bezeichnung aufgeführt.

Tabelle 1 — Symbole und Bezeichnungen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$l_{\max}$	Höchstmaß der gemessenen Verschiebung	mm
$l_{\min}$	Mindestmaß der gemessenen Verschiebung	mm
l_i	vom Extensometer-System angezeigte Verschiebung	μm
l_t	von der Einrichtung zur Beurteilung der messtechnischen Leistung angegebene Verschiebung	μm
q_{rb}	relativer Fehler der systematischen Abweichungskomponente des Extensometer-Systems	%
q_b	absoluter Fehler der systematischen Abweichungskomponente des Extensometer-Systems	μm
r	Auflösung des Extensometer-Systems	μm

5 Kurzbeschreibung

Die Bewertung der messtechnischen Leistung eines Extensometer-Systems umfasst einen Vergleich der vom Extensometer-System gelieferten Messwerte mit bekannten Längenänderungen, die von einem System zur Bewertung der messtechnischen Leistung bereitgestellt und vorgeschrieben werden.

ANMERKUNG Der Anwender kann den oder die Verschiebungsbereiche festlegen, über die die messtechnische Leistungsbewertung durchgeführt werden soll. Auf diese Weise kann die Leistung des Extensometer-Systems optimiert werden. Der Anwender sollte besondere Vorsicht walten lassen, um reale Verschiebungen, die in der betreffenden Struktur erzeugt werden, von den experimentellen Verschiebungen zu unterscheiden, die üblicherweise als „Starrkörperbewegungen“ bezeichnet werden. Daher wäre es in diesem Fall angebracht, die Leistungsbewertung auf das Zentrum des Betriebsbereichs zu konzentrieren.

Der Bewertungsprozess vergleicht die bekannte Verschiebung vom Kalibrierhilfsmittel mit der Ausgabe des Extensometer-Systems. Diese Ausgabe wird in Form von Daten von Computerdateien bereitgestellt, die von der Software erzeugt werden, die die auf den erfassten Bildern basierende Analyse der kinematischen Felder durchführt. Diese Dateien sollten die Verschiebungsfelder enthalten, die ausgewertet werden, und die Koordinate, an der sie ausgewertet werden.

ANMERKUNG Bei bestimmten Typen von Extensometer-Systemen hängt die Kalibrierung und Klassifizierung auch von der Fähigkeit des Systems zur Bewertung der messtechnischen Leistung ab.

6 System zur Bewertung der messtechnischen Leistung

6.1 Kurzbeschreibung

Das System zur Bewertung der messtechnischen Leistung, das es erlaubt, eine bekannte Verschiebung l_t in Bezug auf das betreffende Objekt anzuwenden, darf aus einem starren Rahmen bestehen, an dem das Bilderfassungsgerät angebracht ist. Das System zur Bewertung der messtechnischen Leistung umfasst einen Mechanismus zur Bewegung entlang der drei (3) Achsen im Raum durch Translation, gegebenenfalls mit einer (1) bis zu drei (3) Umdrehungen, und eine Messvorrichtung, von der bekannt ist, dass sie diese Verschiebungen präzise ermittelt. Diese Längenänderungen können beispielsweise durch ein Interferometer, einen linearen Inkrementalgeber oder Endmaße sowie einen Komparator oder eine Messschraube gemessen werden.

Die Kalibriereinrichtung sollte kalibriert sein und die in Anhang B, Tabelle B.1 angegebenen Leistungsanforderungen erfüllen.

6.2 Rückverfolgbarkeit der messtechnischen Leistungsbewertung

Die Kalibriereinrichtung und die unterstützende Ausrüstung (wie Messschraube, Messschieber und optische Projektionsmikroskope) müssen unter Verwendung von Normen kalibriert werden, die auf das Internationale Einheitensystem (SI) rückverfolgbar sind.

Die Messunsicherheit im Zusammenhang mit Messungen, die von der unterstützenden Ausrüstung vorgenommen werden, darf ein Drittel des zulässigen Fehlers des zu kalibrierenden Extensometer-Systems nicht überschreiten, siehe Tabelle 2. Das Temperaturmessgerät muss eine Auflösung von 0,1 °C haben.

7 Vorabinspektion

7.1 Ziel

Vor der Bewertung muss das Extensometer-System inspiziert werden. Die Qualität von mechanischen, optischen und elektronischen Komponenten und Geräten wurde in Bezug auf die Ausstattung, wie die freie Bewegung von Tischen und Objektiven, Verkabelung, Anschlüsse und Festplattenplatz validiert.

Das Extensometer-System ist, soweit möglich, im Zustand „wie vorgefunden“ zu bewerten. Die Ergebnisse müssen analysiert und das System gegebenenfalls angepasst und neu bewertet werden. In diesem Fall müssen beide Datensätze in den Bericht aufgenommen werden.

7.2 Aufzeichnungen zur Inspektion

Über die Vorabinspektion müssen Aufzeichnungen geführt werden, in denen der „vorgefundene“ Zustand des Extensometer-Systems angegeben wird, wann die Prüfung durchgeführt wurde und wer sie durchgeführt hat. Diese Aufzeichnungen über die Vorabinspektion können entweder in Form eines schriftlichen Berichts oder einer ausgefüllten „Pro-Forma“-Kontrollliste erfolgen.

7.3 Identifizierung von Elementen des Extensometer-Systems

Das Extensometer-System muss eindeutig identifiziert werden. Teile, die vom Anwender während der üblichen Verwendung des Extensometer-Systems verändert werden können und die die messtechnische Bewertung des Extensometer-Systems beeinflussen, müssen nach Möglichkeit auch eindeutig identifiziert werden (z. B. Kamera, Linse, Beleuchtung). Diese eindeutigen Zuordnungsmerkmale sind Teil der Aufzeichnungen für das Extensometer-System. Dadurch kann auf jede Komponente des Systems und auf die Einstellparameter verwiesen werden (z. B. Linseneinstellungen, Berechnungsparameter der digitalen Bildkorrelation).

8 Messung der physikalischen Pixelgröße

8.1 Bei Monovisionsmessungen – Software-Verfahren

Die Messung der physikalischen Größe des Pixels wird nach den Spezifikationen des Messsystemherstellers durchgeführt.

8.2 Bei Monovisionsmessungen – manuelles Verfahren

Die Messung der physikalischen Größe des Pixels wird nach dem internen Verfahren des Anwenders durchgeführt. Das Verfahren und das Ergebnis dieser Messung sind zu dokumentieren.

8.3 Bei Monovisionsmessungen – Identifizierung während des Leistungsbewertungsverfahrens

Eine Alternative besteht darin, ein in Anhang E vorgeschlagenes Identifizierungsverfahren in Betracht zu ziehen. Bei diesem Verfahren muss der Anwender in der Lage sein, die Verschiebungsfeldmessungen mit dem Extensometer-System und metrischen Messungen für die Bewertung der messtechnischen Leistung in Pixel zu exportieren.

8.4 Bei Stereovisionsmessungen

Diese Messung ist nicht anwendbar, da sie während des Kalibrierschritts von Stereokorrelationscodes behandelt wird.

9 Messtechnischer Bewertungsprozess

9.1 Umweltaspekte

Die Umgebungstemperatur während der messtechnischen Leistungsbeurteilung des Extensometer-Systems muss aufgezeichnet werden.

Im Allgemeinen sollte die Kalibrierung des Extensometer-Systems bei einer Temperatur durchgeführt werden, die auf ± 2 °C stabil ist, wobei die Zieltemperatur im Bereich von 18 °C bis 28 °C liegt. Temperaturänderungen während des messtechnischen Leistungsbewertungsprozesses können die Messunsicherheit der Kalibrierung erhöhen und in einigen Fällen die Fähigkeit beeinflussen, die messtechnische Leistung des Extensometer-Systems richtig zu bewerten.

Bei Extensometer-Systemen, die bei Temperaturen außerhalb des empfohlenen Bereichs von 10 °C bis 35 °C verwendet werden, sollte die messtechnische Bewertung bei oder nahe der Prüftemperatur durchgeführt werden, wenn entsprechende Einrichtungen vorhanden sind.

Das Extensometer-System muss für die Bewertung der messtechnischen Leistung für eine ausreichende Dauer vor der Bewertung in der Nähe des Systems oder auf dem System angebracht werden, damit die Teile des Extensometer-Systems und des Systems zur Bewertung der messtechnischen Leistung, die sich berühren, sich bei der messtechnischen Bewertungstemperatur stabilisieren.

9.1.4 Beleuchtungsbedingungen

Die Beleuchtungsbedingungen für den messtechnischen Leistungsbewertungsprozess sollten mit denen des betrieblichen Einsatzes des Extensometer-Systems identisch und konsistent sein.

ANMERKUNG Ein Histogramm der Graustufenverteilung könnte die Qualität der Lichtverhältnisse zwischen den beiden (2) Verwendungen belegen.

9.1.5 Bei künstlichen zufälligen Speckle-Mustern

Für experimentelle Coupons oder Komponenten, die eine künstliche Anwendung eines zufälligen Speckle-Musters (z. B. Farbe) erfordern, sollte dieses während des messtechnischen Leistungsbewertungsprozesses und während der betrieblichen Verwendung des Extensometer-Systems stabil und unverändert sein.

ANMERKUNG Die Messung wird mit demselben künstlichen zufälligen Speckle-Muster wie für die messtechnische Leistungsbewertung durchgeführt.

9.2 Kalibrierungs-Inkremente

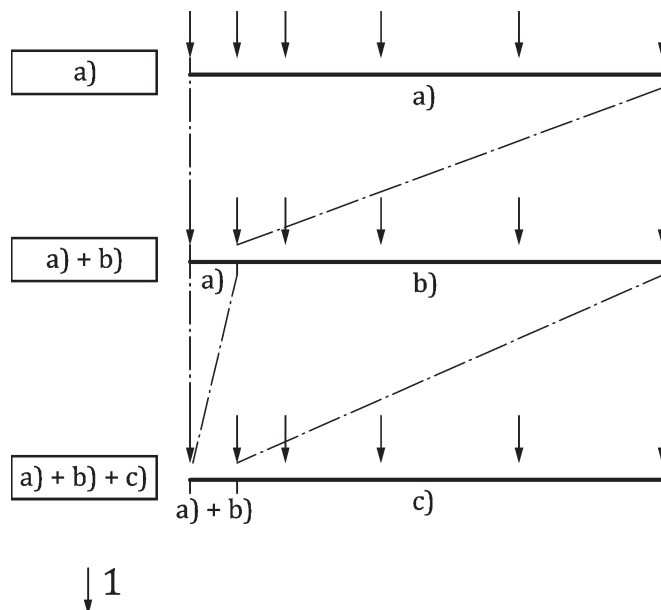
9.2.1 Der Anwender muss den Bereich der Verschiebungen festlegen, für den das Extensometer-System bewertet werden soll.

9.2.2 Die Anzahl der Kalibrierpunkte und die Anzahl der Bereiche, auf denen die Bewertung durchgeführt wird, müssen auf der Beziehung zwischen der minimalen Verschiebung, bei der eine Eigenschaft bestimmt wird, $l_{\min}$, und der maximalen Verschiebung, bei der eine Eigenschaft bestimmt wird, $l_{\max}$, basieren. Der Ansatz muss für jede Messachse durchgeführt werden, zwei (2) für die Monovision und drei (3) für die Stereokorrelation.

9.2.3 Die folgende Reihe von Messungen muss für eine (1) Messachse durchgeführt werden:

- a) Wenn $(l_{\max}/l_{\min})$ kleiner oder gleich 10 ist, muss ein (1) Bereich von mindestens fünf (5) Inkrementen aufgezeichnet werden.
- b) Wenn $(l_{\max}/l_{\min})$ größer als 10, aber kleiner oder gleich 100 ist, müssen zwei (2) Bereiche, ($l_{\min}$ bis $10 l_{\min}$ und $10 l_{\min}$ bis $l_{\max}$) oder ($l_{\min}$ bis $0,1 l_{\max}$ und $0,1 l_{\max}$ bis $l_{\max}$), von je mindestens fünf (5) Inkrementen aufgezeichnet werden.
- c) Wenn $(l_{\max}/l_{\min})$ größer als 100 ist, müssen drei (3) Bereiche, ($l_{\min}$ bis $10 l_{\min}$, $10 l_{\min}$ bis $100 l_{\min}$, $100 l_{\min}$ bis $l_{\max}$) oder ($l_{\min}$ bis $0,01 l_{\max}$, $0,01 l_{\max}$ bis $0,1 l_{\max}$, $0,1 l_{\max}$ bis $l_{\max}$), von je mindestens fünf (5) Inkrementen aufgezeichnet werden.

Für jede der drei (3) Kategorien [a), b), c), siehe oben] darf das Inkrement zwischen zwei (2) beliebigen benachbarten Punkten ein Drittel des Bereichs nicht überschreiten. Beispiele für diese Inkremente sind in Bild 1 dargestellt.



Legende

- 1 Bewertungspunkte
- a) Reihe nach 9.2.3 a)
- b) Reihe nach 9.2.3 b)
- c) Reihe nach 9.2.3 c)

Bild 1 — Schematische Darstellung der Bewertungspunktverteilung

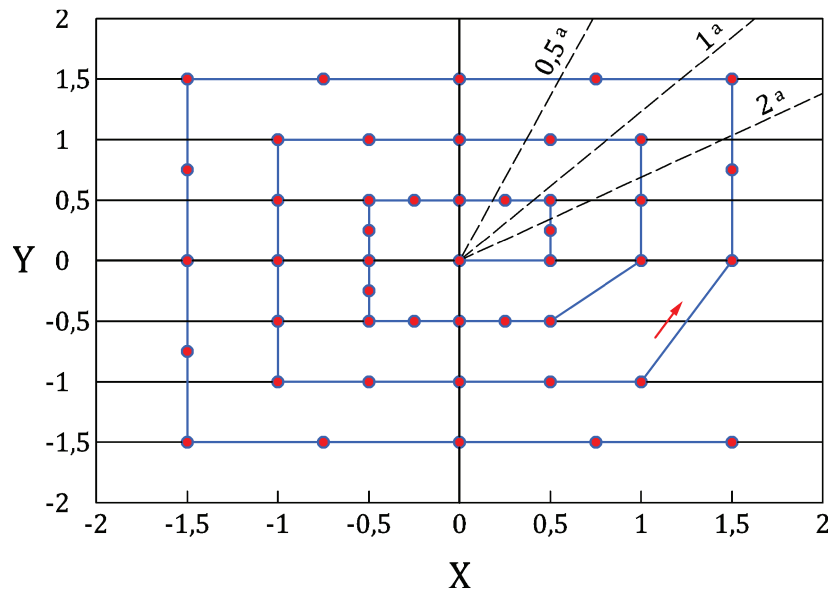
ANMERKUNG 1 Eine Zugfestigkeitsprüfung, die aus dem Extensometer-System nur das Modul und die Endspannungen misst, würde in die Kategorie a) fallen. Eine Zugfestigkeitsprüfung, die die Endspannungen und die Bruchdehnung vom Extensometer-System bestimmt, oder eine Kriechbruchprüfung würden in die Kategorie b) oder Kategorie c) fallen.

ANMERKUNG 2 Bei Ermüdungsfestigkeitsprüfungen wird ein Bereich von mindestens fünf (5) Inkrementen [wobei ein Inkrement zwischen zwei (2) beliebigen benachbarten Punkten ein Drittel des Bereichs zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ nicht überschreiten darf] verwendet.

ANMERKUNG 3 Die Werte, die aus den obigen Berechnungen abgeleitet werden, können auf die nächsten geeigneten Inkremente eingestellt werden, um mit denen der Kalibriereinrichtung übereinzustimmen.

9.2.4 Bei der Ermittlung von $l_{\max}$ und $l_{\min}$ sind Betriebsfaktoren wie die thermische Ausdehnung bei Prüfungen bei erhöhten Temperaturen und zusätzliche Verschiebungskontingente zur Einbeziehung von Gegebenheiten, wie z. B. Unterschiede zwischen den Prüfaufbauten einzelner Prüfungsdurchläufe, zu berücksichtigen.

Bei der Implementierung müssen die verschiedenen Messachsen oder räumlichen Freiheitsgrade vermischt werden, damit diese drei (3) Mischungsverhältnisse erfüllt werden: 0,5, 1 und 2, siehe Bild 2.



Legende

- Bewertungspunkt
- ^a Mischungsverhältnis

Bild 2 — Abbildung einer Bewertungspunktverteilung für eine 2D-Überwachung

9.3 Verfahren zur messtechnischen Leistungsbewertung

Die Beurteilung besteht aus einer Reihe von Messungen, wie in 9.2 definiert. Je nach bestimmungsgemäßer Verwendung des Extensometer-Systems ist die Reihe für zunehmende Längen oder abnehmende Längen ausgelegt.

9.4 Bestimmung der Merkmale des Extensometer-Systems

Die Merkmale des unten definierten Extensometer-Systems sollten für jede Messachse und unabhängig voneinander auch bei Vermischung von Punkten beurteilt werden.

9.4.1 Auflösung

9.4.1.1 Die Auflösung r ist die kleinste Größe, die am Extensometer-System abgelesen werden kann.

9.4.1.2 Die Auflösung des Extensometer-Systems ist das Ergebnis einer Messung an 11 Bildern in einem „Referenz“-Zustand der gemessenen Konstruktion. Es darf keine Last auf den Versuchsaufbau ausgeübt und er darf nicht bewegt werden.

9.4.1.3 Das Ergebnis ist die aus zehn gemessenen Verschiebungsfeldern aufgebaute Kovarianzmatrix. Das Auflösungsfeld wird aus der so genannten Kovarianzmatrix abgeleitet. Um das Auflösungsfeld festzulegen, wird die Quadratwurzel der diagonalen Terme der Kovarianzmatrix genommen, die der Varianz der einzelnen, unabhängig voneinander ermittelten Zufallsgrößen entspricht.

ANMERKUNG Die Verwendung der Kovarianzmatrix ist in Anhang C dargestellt.

9.4.2 Fehler der systematischen Abweichungskomponente

9.4.2.1 Relativer Fehler der systematischen Abweichungskomponente und relatives Fehlerfeld der systematischen Abweichungskomponente

Der Fehler der systematischen Abweichungskomponente der Genauigkeit, q_{rb} , für eine gegebene Verschiebung, l_t , wird aus Gleichung (1) berechnet:

$$q_{rb} = \frac{l_i - l_t}{l_t} \times 100 \quad (1)$$

Diese Berechnung wird an allen Punkten des Verschiebungsfeldes angewendet, die von dem Extensometer-System zum Berechnen eines relativen Fehlerfelds der systematischen Abweichungskomponente bereitgestellt werden.

9.4.2.2 Absoluter Fehler der systematischen Abweichungskomponente und absolutes Fehlerfeld der systematischen Abweichungskomponente

Der absolute Genauigkeitsfehler, q_b , für eine gegebene Verschiebung, l_t , wird aus Gleichung (2) berechnet:

$$q_b = (l_i - l_t) \quad (2)$$

Diese Berechnung wird an allen Punkten des Verschiebungsfeldes angewendet, die von dem Extensometer-System zum Berechnen eines absoluten Fehlerfelds der systematischen Abweichungskomponente bereitgestellt werden.

10 Klassifizierung des Extensometer-Systems

10.1 Eingabedaten

Die erforderlichen Eingabedaten für die Klassifizierung des Extensometer-Systems sind:

- das Pixel/mm-Verhältnis für die 2D-Überwachung;
- die Auflösung (absolut und/oder relativ) des Extensometer-Systems (siehe 9.4.1);
- für jeden Punkt das Fehlerfeld der systematischen Abweichungskomponente (absolut und/oder relativ);
- die Bestätigung, dass das messtechnische Bewertungssystem die Anforderungen dieses Dokuments für jeden Beurteilungsdatenpunkt erfüllt.

10.2 Analyse der Daten

Die gesammelten Daten werden wie folgt bewertet:

- das Auflösungsfeld des Extensometer-Systems für jeden Punkt der messtechnischen Bewertung wird mit den Grenzwerten in Tabelle 2 verglichen, und es wird eine Klassifizierung bestimmt;
- für jeden Beurteilungsdatenpunkt der Beurteilung wird der Fehler der systematischen Abweichungskomponente mit den Grenzwerten in Tabelle 2 verglichen, und es wird eine Klassifizierung bestimmt.

10.3 Kriterien für die Klassifizierung

Tabelle 2 gibt die maximal zulässigen Werte für das Auflösungsfeld und das Fehlerfeld der systematischen Abweichungskomponente an.

Tabelle 2 — Klassifizierung des Extensometer-Systems

Klasse des Extensometer- Systems	Auflösung ^a		Fehler der systematischen Abweichungs- komponente ^a
	Prozentsatz des Ablesewertes $(r/l_i) \cdot 100$ %	absoluter Wert ^b r px	relativer Wert q_{rb} %
0,2	0,1	0,02	$\pm 0,2$
0,5	0,25	0,05	$\pm 0,5$
1	0,5	0,1	$\pm 1,0$
2	1,0	0,2	$\pm 2,0$
^a Wobei der größere Wert gilt. ^b Nur für Monovisionsüberwachung.			

10.4 Bewertung der Ergebnisse

10.4.1 Die in 9.2 angegebenen Daten werden gesammelt und der maximale Klassifizierungswert für jedes der folgenden Elemente wird bestimmt:

- für die Datenpunkte zum Bezugszustand der messtechnischen Leistungsbewertung: das Auflösungsfeld des Extensometer-Systems;
- für die Datenpunkte der messtechnischen Leistungsbeurteilung: das Fehlerfeld der systematischen Abweichungskomponente;
- für die Datenpunkte der messtechnischen Leistungsbewertung: die Klassifizierung des Systems für die Bewertung der messtechnischen Leistung.

Dieser Höchstwert dieser drei (3) Parameter ist als Klassifizierung für das Extensometer-System definiert.

10.4.2 Wenn Anpassungen erforderlich sind, damit das Extensometer-System die Klassenanforderungen für seine bestimmungsgemäße Verwendung erfüllt, kann der Kalibrieranbieter mit Genehmigung des Labors solche Anpassungen vornehmen, um die Leistung des Extensometer-Systems zu verbessern. Die Aufzeichnungen aus der ersten messtechnischen Leistungsbewertung müssen als Teil der Dokumentation der messtechnischen Leistungsbewertung aufbewahrt und bereitgestellt werden. Die Ergebnisse nach der Anpassung sind auf dem Zertifikat für die messtechnische Leistungsbewertung anzugeben.

11 Messunsicherheitsbestimmung

11.1 Messunsicherheit der messtechnischen Leistungsbewertung

Viele Elemente tragen zur Messunsicherheit des Bewertungsprozesses bei. Die folgenden Punkte müssen bewertet und in die Berechnung des Unsicherheitsbudgets einbezogen werden:

- Messunsicherheit der Kalibrierung des Systems für die Bewertung der messtechnischen Leistung;
- Umgebungstemperaturschwankungen während der messtechnischen Leistungsbewertung;
- Unterschiede zwischen Anwendern, wenn mehr als eine (1) Person die messtechnischen Leistungsbewertungen in einem Labor durchführt.

Weitere Informationen finden Sie in Anhang A (informativ).

11.2 Bestimmung des Unsicherheitsbudgets

Die Messunsicherheit muss bestimmt werden. Ein Berechnungsbeispiel, das zeigt, wie eine Messunsicherheitsbeurteilung für ein Extensometer-System durchgeführt wird, ist im Anhang A (informativ) aufgeführt.

ANMERKUNG Die Anforderungen dieses Dokuments beschränken die Hauptkomponenten der Messunsicherheit bei der Bewertung der messtechnischen Leistung von Messsystemen mit digitaler Bildkorrelation. Durch die Übereinstimmung mit diesem messtechnischen Dokument wird die Messunsicherheit explizit berücksichtigt, wie es einige Akkreditierungsnormen erfordern. Die Verringerung der zulässigen systematischen Abweichungskomponente um die Höhe der Messunsicherheit würde zu einer doppelten Zählung der Messunsicherheit führen. Die Klassifizierung eines Extensometer-Systems, das für eine bestimmte Klasse zertifiziert ist, stellt nicht sicher, dass die Genauigkeit einschließlich der Messunsicherheit unter einem bestimmten Wert liegt. Zum Beispiel hat ein Extensometer-System, das die Klasse 0,5 erfüllt, nicht notwendigerweise eine Abweichung einschließlich einer Messunsicherheit von weniger als 0,5 %.

12 Intervalle der messtechnischen Leistungsbewertung für Extensometer-Systeme

12.1 Die Zeit zwischen zwei (2) messtechnischen Leistungsbewertungen hängt vom Typ des Extensometer-Systems, dem Wartungsstandard und der Anzahl der Anwendungen des Extensometer-Systems ab. Unter üblichen Bedingungen wird empfohlen, dass die messtechnische Leistungsbewertung bei jeder neuen Verwendung des digitalen Bildkorrelationsüberwachungssystems durchgeführt wird.

12.2 Das Extensometer-System muss nach jeder Reparatur oder Anpassung, die die Messgenauigkeit beeinflusst, bewertet werden.

13 Zertifikate der messtechnischen Leistungsbewertung

13.1 Pflichtangaben

Das Zertifikat für die messtechnische Leistungsbewertung muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- a) Verweisung auf dieses Dokument;
- b) Name und Anschrift des Eigentümers des Extensometer-Systems;
- c) Identifikation des Extensometer-Systems (Typ, Fabrikat, Seriennummer und Einbauposition);
- d) Typ und Bezugsnummer des Systems für die messtechnische Leistungsbewertung;
- e) Temperatur während des messtechnischen Leistungsbewertungsprozesses;
- f) Art der Längenänderungen, für die die messtechnische Leistungsbewertung durchgeführt wurde, d. h. entweder für Vergrößerungen oder Verkleinerung der Länge;
- g) Berechnungsparameter, die für DIC-Messungen verwendet werden (z. B. Größe der Facette oder des betreffenden Teilbereichs, Facettenabstand, Elementgröße, Skalenzahl);
- h) Datum der messtechnischen Leistungsbewertung;
- i) Name der Person, die die messtechnische Leistungsbewertung durchgeführt hat, sowie Name oder Markenzeichen der Kalibrierorganisation;
- j) alle Ergebnisse aus der messtechnischen Leistungsbewertung (vorgefundener Zustand und, falls angepasst, nach der Anpassung vorgenommene Messungen);

- k) Angabe zur Messunsicherheit;
- l) Klassifizierung für jeden Bereich des Extensometer-Systems.

Elemente auf dem Zertifikat können in einem Bericht dargestellt werden, auf den verwiesen wird.

13.2 Darstellung der Daten

Die Ergebnisse der Bewertung müssen im Zertifikat tabellarisch angegeben werden und die jedem Punkt der messtechnischen Leistungsbewertung zugeordneten individuellen Werte des Fehlers der systematischen Abweichungskomponente enthalten.

Die Ergebnisse der Bewertung dürfen im Zertifikat auch grafisch dargestellt werden.

Ein Muster eines solchen Bewertungsberichts wird in Anhang D (informativ) vorgeschlagen.

Anhang A (informativ)

Messunsicherheit

A.1 Einleitung

Der in diesem Anhang vorgestellte Ansatz zur Bestimmung der Messunsicherheit berücksichtigt nur die Messunsicherheiten, die mit der Gesamtmessleistung der Verschiebungsmessungen verbunden sind. Diese Messunsicherheiten der Leistung spiegeln den kombinierten Effekt aller separaten Messunsicherheiten wider.

Die Messunsicherheit der Bezugsmessgeräte (Kalibriereinrichtungen) ist im entsprechenden Kalibrierzertifikat angegeben. Faktoren, die diese Größen beeinflussen, sind:

- a) Umwelteinflüsse wie Temperaturabweichungen;
- b) Drift des Verschiebungsstandards;
- c) Interpolationsabweichung des Bezugsgeräts.

Diese Größen sollten berücksichtigt werden. Abhängig von der Konstruktion des Systems zur Bewertung der messtechnischen Leistung ist es auch erforderlich, die Position des damit verbundenen Extensometer-Systems einzubeziehen.

Bei den gemessenen Variablen des Extensometer-Systems, die für die Schätzung der Messunsicherheit relevant sind, sollten folgende Komponenten berücksichtigt werden:

- Koaxialität des Extensometer-Systems in Bezug auf das System zur Bewertung der messtechnischen Leistung;
- Verschiebungsänderungsindikator;
- relative Messunsicherheit aufgrund der Auflösung des Systems zur Bewertung der messtechnischen Leistung;
- relative Abweichung des Systems zur Bewertung der messtechnischen Leistung;
- Wiederholpräzision des Indikators des Extensometer-Systems;
- Auflösung des Extensometer-Systems;
- Temperatureinflüsse.

Es ist möglich, die Messunsicherheit der Extensometer-Systeme für einachsige oder mehrachsige Prüfungen zum Zeitpunkt der Leistungsbewertung entweder aus den Spezifikationsgrenzen oder aus den erhaltenen Messwerten zu berechnen. Diese Berechnungen werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

Da der Genauigkeitsfehler, der auch als systematische Abweichungskomponente bezeichnet wird, in der Regel bei der Bewertung der messtechnischen Leistung nicht korrigiert wird, sofern er innerhalb der Spezifikationen von Tabelle 2 liegt, sollte der Bereich, in dem der geschätzte relative Fehler E vernünftigerweise erwartet werden kann, als $E = q \pm U$ angegeben werden, wobei q der in 9.4.2 definierte relative Genauigkeitsfehler und U die erweiterte Messunsicherheit [1] [2] ist.

Die Bedingung für die Bewertung der messtechnischen Leistung ist erfüllt, wenn der relative Fehler der systematischen Abweichungskomponente, q_{rb} , siehe Tabelle 2, innerhalb der gegebenen Grenzabweichung liegt.

A.2 Kalibriereinrichtung

Die Standardmessunsicherheit in Bezug auf die Kalibriereinrichtung, u_{std} , ist gegeben durch:

$$u_{std} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_A^2 + u_B^2 + u_D^2} \quad (A.1)$$

Dabei ist

u_{cal} die Standardmessunsicherheit, gleich dem 0,5-fachen der erweiterten systematischen Abweichungskomponente der Kalibriereinrichtung, die aus dem Kalibrierzertifikat oder anderen relevanten Informationen ermittelt wird;

u_A die relative Standardmessunsicherheit aufgrund der Temperaturabweichung zwischen der Kalibriertemperatur des Extensometer-Systems und der Kalibriertemperatur der Kalibriereinrichtung;

$$u_A = \frac{\alpha \cdot a_{temp}}{\sqrt{3}} \quad (A.2)$$

Dabei ist

α der Temperaturkoeffizient der Kalibriereinrichtung nach den Herstellerspezifikationen;

a_{temp} die Temperaturabweichung zwischen der Kalibriertemperatur des Extensometer-Systems und der Kalibriertemperatur der Kalibriereinrichtung;

u_B die relative Standardmessunsicherheit aufgrund von Langzeitinstabilitäten (Drift) der Kalibrierung;

$$u_B = \frac{a_{sensitivity}}{\sqrt{3}} \quad (A.3)$$

Dabei ist

$a_{sensitivity}$ die langfristige Instabilität (Drift) der Kalibriereinrichtung;

u_D die relative Standardmessunsicherheit aufgrund der linearen Annäherung an die Polynomkurve (falls erforderlich);

$$u_D = \frac{a_{deviation}}{\sqrt{2}} \quad (A.4)$$

Dabei ist

$a_{deviation}$ die relative Abweichung aufgrund der linearen Annäherung der Polynomkurve der Kalibriereinrichtung.

A.3 Auflösung

Die Standardmessunsicherheit in Bezug auf die relative Auflösung, u_r , ergibt sich aus einer Normalverteilung:

$$u_D = \frac{a_{\text{resolution}}}{3} \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

$a_{\text{resolution}}$ die relative Auflösung des Extensometer-Systems.

A.4 Wiederholpräzision

Die Standardmessunsicherheit in Bezug auf die Wiederholpräzision, u_b , ist die relative Standardabweichung des geschätzten relativen mittleren Fehlerwerts:

$$u_b = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (\text{A.6})$$

Dabei ist

n die Anzahl der Ablesungen;

q_i der gemessene Fehler der systematischen Abweichungskomponente (%);

q der mittlere gemessene Fehler der systematischen Abweichungskomponente (%).

A.5 Relativer mittlerer Fehler des Extensometer-Systems

Die Messunsicherheit des relativen mittleren Fehlers des Extensometer-Systems, u_q , ist gegeben durch:

$$u_q = \sqrt{u_r^2 + u_b^2 + u_{\text{std}}^2} = \sqrt{u_r^2 + u_b^2 + u_{\text{cal}}^2 + u_A^2 + u_B^2 + u_D^2} \quad (\text{A.7})$$

A.6 Erweiterte Messunsicherheit

Sobald alle relevanten Standardmessunsicherheiten berücksichtigt wurden (einschließlich der anderen oben genannten Beiträge), wird die kombinierte Messunsicherheit, u_q , mit einem Erweiterungsfaktor k multipliziert, um die erweiterte Messunsicherheit U zu erhalten.

Es wird empfohlen, einen Wert von $k=2$ zu verwenden, obwohl k auch aus der Anzahl der effektiven Freiheitsgrade auf der Grundlage der im ISO/IEC-Leitfaden 98-3 [1] festgelegten Prinzipien berechnet werden kann (siehe E.4.2, E.4.3 und G.4.2).

Daher ist U gegeben durch:

$$U = k \times u_q \quad (\text{A.8})$$

Dabei ist

k der Erweiterungsfaktor;

u_q die kombinierte Messunsicherheit.

Es kann vernünftigerweise erwartet werden, dass der geschätzte mittlere relative Fehler E in diesem Bereich liegt:

$$E = q \pm U \quad (\text{A.9})$$

A.7 Typische Werte der Messunsicherheit

In der Vergangenheit wurde die Messunsicherheit zur Klassifizierung nicht berücksichtigt. Die Messunsicherheit sollte jedoch berechnet werden und darf berücksichtigt werden. Dies kann Auswirkungen auf die Klassifizierung bestehender Extensometer-Systeme haben, da die maximal zulässigen Werte nicht geändert wurden.

Um die Messunsicherheit zu berücksichtigen, ist es sinnvoll, die neu definierten Kriterien mit zulässigen Messunsicherheitswerten zu verwenden, die in Tabelle A.1 dargestellt sind. Daher kann der gesamte Bereich des maximal zulässigen Fehlers der systematischen Abweichungskomponente weiterhin angewendet werden.

Tabelle A.1 — Typische maximale Messunsicherheitswerte für Extensometer-Systeme

Klasse des Extensometer-Systems	typische maximale Messunsicherheit ^a	
	relativer Wert	absoluter Wert
	U %	U μm
0,2	0,12	0,3
0,5	0,3	0,8
1	0,6	1,7
2	1,2	3,3
^a Wobei der größere Wert gilt.		

A.8 Beispiel eines Unsicherheitsbudgets für das Extensometer-System

Kalibrierung eines 10 mm-Extensometer-Systems im Bereich von 0,1 mm bis 10 mm, siehe Tabelle A.2, Tabelle A.3 und Tabelle A.4:

- erweiterte systematische Abweichungskomponente von Kalibriereinrichtungen: 0,2 μm für ≤ 2 mm; und 1,0 μm für > 2 mm;
- Temperaturkoeffizient der Kalibriereinrichtung: $\alpha = 10^{-6}$ 1/K;
- Temperatur der Kalibrierung: 25 °C;
- Temperatur der Kalibrierung für die Kalibriereinrichtung: 20 °C;
- langfristige Stabilität der Kalibriereinrichtung; $a_{\text{sensitivity}} = 4 \times 10^{-4}$;
- Auflösung des Extensometer-Systems $a_{\text{resolution}} = 0,1 \mu\text{m}$;
- Anzahl der Kalibrierläufe = 2.

So kann Folgendes berechnet werden:

— $a_{\text{temp}} = 5 \text{ K}$;

— $\alpha \cdot a_{\text{temp}} = 5 \times 10^{-6}$.

Tabelle A.2 — Ergebnisse der Leistungsbewertung eines Extensometer-Systems im Bereich von 0,1 mm bis 10 mm

Bezugs- wert	Mess- wert 1. Lauf	relativer Fehler der systema- tischen Abwei- chungs- kompo- nente des 1. Laufs	Mess- wert 2. Lauf	relativer Fehler der systema- tischen Abwei- chungs- kompo- nente des 2. Laufs	Durch- schnitt der Mess- werte	Durch- schnitt der rela- tiven syste- ma- tischen Ab- weich- ungs- kompo- nente	Durch- schnitt der abso- luten systema- tischen Abwei- chungs- kompo- nente	relative Stan- dard- messun- sicher- heit der Auf- lösung u_r nach A.5	relative Standard messun- sicher- heit der Wieder- hol- präzision u_b nach A.6
mm	mm	%	mm	%	mm	%	µm	%	%
0,1	0,099 6	–0,40	0,100 2	0,20	0,099 9	–0,10	–0,10	0,03	0,300
0,2	0,199 4	–0,30	0,200 4	0,20	0,199 9	–0,05	–0,10	0,01	0,250
0,4	0,399 6	–0,10	0,401 4	0,35	0,400 5	0,12	0,50	0,01	0,225
0,7	0,698 8	–0,17	0,701 3	0,19	0,700 1	0,01	0,05	0,00	0,179
1	0,997 9	–0,21	1,001 7	0,17	0,999 8	–0,02	–0,20	0,00	0,190
2	2,001 1	0,06	2,008 0	0,40	2,004 6	0,23	4,55	0,00	0,172
4	4,008 7	0,22	4,021 9	0,55	4,015 3	0,38	15,30	0,00	0,165
7	7,042 0	0,60	7,063 8	0,91	7,052 9	0,76	52,90	0,00	0,156
10	10,064 6	0,65	10,095 8	0,96	10,080 2	0,80	80,20	0,00	0,156

Tabelle A.3 — Messunsicherheitsberechnung für die 0,1 mm-Verschiebung des Extensometer-Systems

Größe	Quellen der Messun- sicherheit	Beitrags- wert der Messun- sicherheit	Wahr- schein- lichkeits- verteilung	Teiler	Messung der Messun- sicherheit u	Empfind- lichkeits- koeffizient [1]	Beitrag zur relativen Messun- sicherheit
u_{cal}	Messung	0,1 µm	normal	1	0,1 µm	0,01/µm	1,00E-03
u_A	Temperatur	5,00E-06	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,89E-06	1	2,89E-06
u_B	Empfindlichkeits- Drift	4,00E-04	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,31E-04	1	2,31E-04
u_D	Kurvenan- passung	0	Einzelpunkt	1	0	1	0,00E+00

Größe	Quellen der Messunsicherheit	Beitragswert der Messunsicherheit	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Teiler	Messung der Messunsicherheit u	Empfindlichkeitskoeffizient [1]	Beitrag zur relativen Messunsicherheit
u_r	Auflösung	0,1 μm	Rechteck	$\sqrt{12}$	0,029 μm	0,01/ μm	2,89E-04
u_b	Wiederholpräzision	3E-03	normal	1	3,00E-03	1	3,00E-03
Relative kombinierte Messunsicherheit				3,18E-03			
Erweiterte relative Messunsicherheit ($k = 2$)				6,36E-03			

Tabelle A.4 — Ergebnisse der erweiterten Messunsicherheit für das Extensometer-System

Nennwert	relative systematische Abweichungskomponente	relative Messunsicherheit	absolute systematische Abweichungskomponente	absolute Messunsicherheit
mm	%	%	μm	μm
0,1	−0,10	0,64	−0,1	0,6
0,2	−0,05	0,51	−0,1	1,0
0,4	0,12	0,46	0,5	1,8
0,7	0,01	0,36	0,1	2,5
1	−0,02	0,38	−0,2	3,8
2	0,23	0,35	4,6	7,0
4	0,38	0,33	15	13
7	0,76	0,32	53	22
10	0,80	0,32	80	32

Anhang B (informativ)

Klassifizierung des Systems für die Bewertung der messtechnischen Leistung

Bei jeder nominalen Verschiebung wird die absolute Größe der geschätzten Differenz, die mit der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt wird (oder für den alternativen Unsicherheitsansatz die absolute Größe der mittleren Differenz zwischen den durch die Kalibriereinrichtung und die Ausrüstung des Labors gemessenen Längenänderungen) zum erweiterten Unsicherheitswert hinzugefügt; die Summe dieser beiden (2) Zahlen, die als „erweiterte systematische Abweichungskomponente“ bezeichnet wird, sollte den in Tabelle B.1 angegebenen Wert nicht überschreiten, damit die Kalibriereinrichtung für die Bewertung von Extensometer-Systemen in die angegebene Klasse eingestuft werden kann.

Tabelle B.1 — Kriterien für die erweiterte systematische Abweichungskomponente der Kalibriereinrichtung

Klasse des Extensometer-Systems	Erweiterte systematische Abweichungskomponente der Kalibriereinrichtung ^a	
	relativer Wert %	absoluter Wert µm
0,2	±0,06	±0,2
0,5	±0,15	±0,5
1	±0,3	±1,0
2	±0,6	±2,0
^a Wobei der größere Wert gilt.		