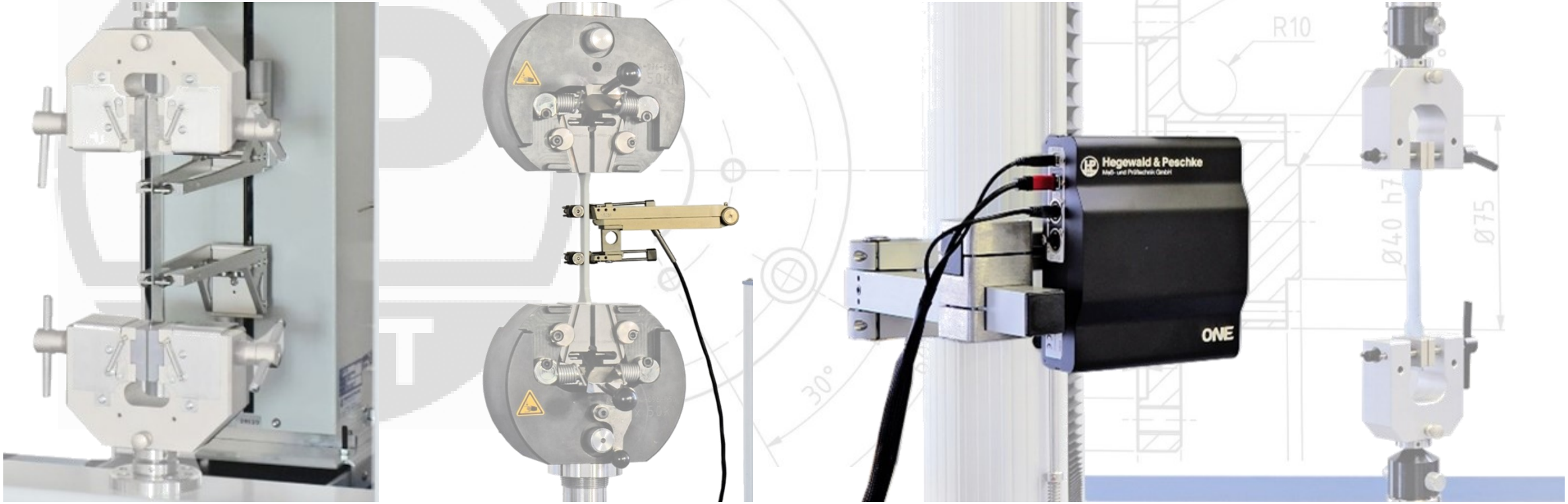
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Extensometer – Dehnungsaufnehmer



Inhalt

- Definition
- Einsatzzweck
- Auswahlkriterien
- Übersicht und Extensometertypen
- Messprinzipien
- Extensometertypen und ihre Spezifika
- Konkrete Anwendungen & Speziallösungen
- Normung, Genauigkeit und Kalibration

Definitionen

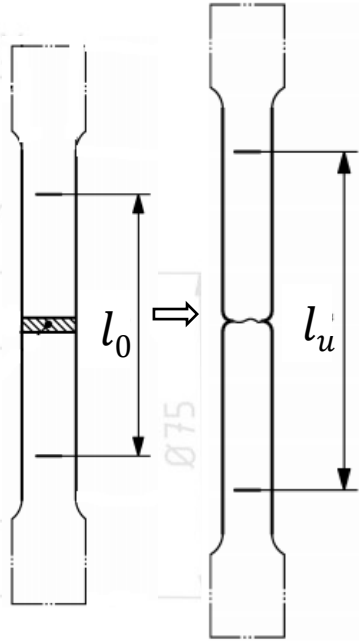
Extensometer, auch genannt Dehnungsaufnehmer oder Dehnungssensoren sind Messgeräte, die in der Werkstoffprüfung zum Messen der Längen- oder auch Breitenänderung direkt an der Materialprobe eingesetzt werden. Auf Basis der Verformung des Materials wird die Dehnung bestimmt.

Dehnung ist ein Messkanal, der die Längenänderung (Δl) in Bezug auf die Anfangslänge (l_0) eines Körpers unter Belastung (Verkürzung oder Verlängerung) beschreibt.

(l_u…Messlänge nach Bruch)

Die Prüftemperatur muss dabei beachtet werden, da Temperaturänderungen auch Wärmedehnung/-schrumpf der Probe zur Folge hat.
Das Formelzeichnen der Längsdehnung ist ε.

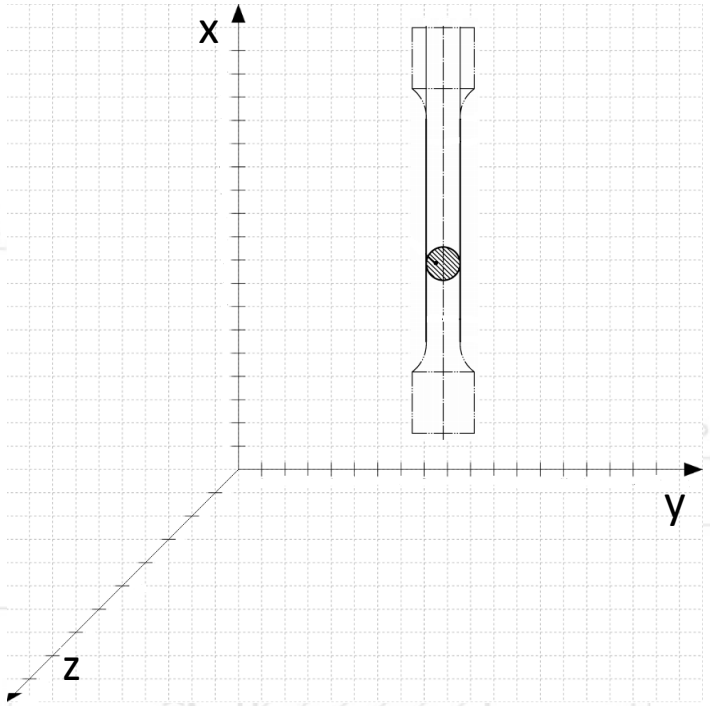
Vergrößern sich die Abmessungen des Körpers wie beim Zugversuch, wird dieses positive Dehnung oder Streckung genannt. Im Umkehrfall, zum Beispiel beim Druckversuch, wird von einer negativen Dehnung oder Stauchung gesprochen.



$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Definitionen

Um die Belastung eines Zugstabes vollständig beschreiben zu können, muss nebst der Längsdehnung auch die Querdehnung berücksichtigt werden. Bezeichnet man die Zugachse als x-Achse stehen Querdehnungen in y- und z-Richtung im rechten Winkel dazu. Bei Rundproben kann man die Querdehnung ($\Delta d/$d) als relative Durchmesseränderung bezeichnen. Häufig ist die Querdehnung proportional zur Längsdehnung ($\Delta l/l$).



Der Proportionalitätsfaktor wird Querkontraktionszahl ν genannt und ist eine dimensionslose Größe, die im elastischen Bereich konstant ist und vom belasteten Material abhängt. Das Verhältnis der Quer- und Längsdehnung wird auch Poissonzahl oder Querdehnzahl genannt.

$$\frac{\Delta d}{d} = \nu \frac{\Delta l}{l}$$

Definitionen

Bisher wurde auf die Längenänderung bezogen auf die Ausgangslänge (l_0) vor der ersten Krafteinleitung eingegangen. Diese Methode ist üblich und besonders einfach, da die Ausgangslänge eine Konstante ist. Man spricht explizit von der technischen Dehnung.

Es wurde auch bereits erwähnt, dass während eines Zugversuchs Änderungen des Querschnitts auftreten. So beginnt die Probe nach erreichen der max. Zuglast (meist bei Zugfestigkeit R_M) einzuschnüren. Deshalb nennt man die plastische Dehnung bei Höchstkraft auch Gleichmaßdehnung.

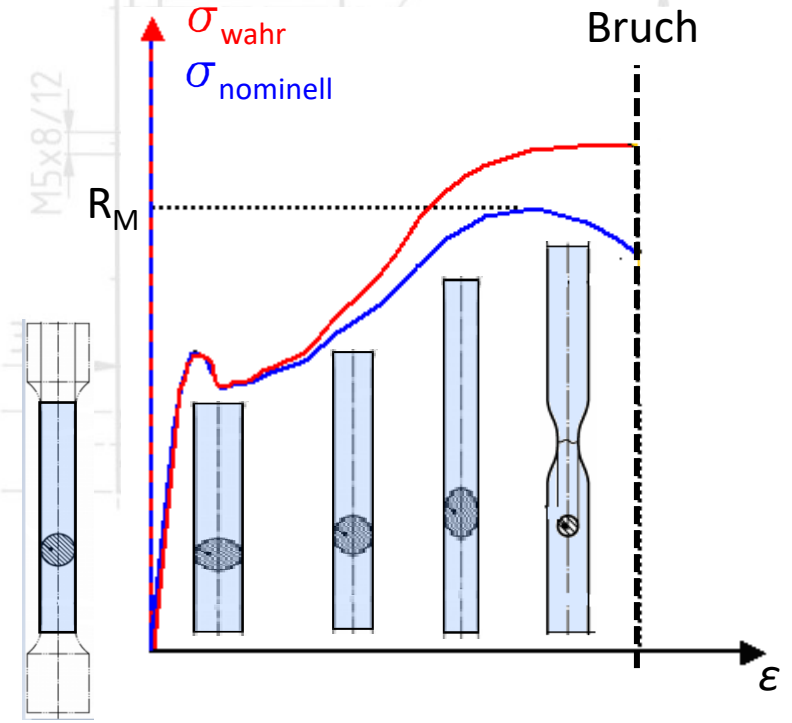
Da die nominelle Spannung auf den Anfangsquerschnitt (Konstante) bezogen wird, entsteht im technischen Spannungs-Dehnungs-Diagramm ein Maximum.

Berücksichtigt wird die Querschnittsänderung bei der wahren Spannung, die man auf Basis der Volumenkonstanz entsprechend berechnen kann.

Dito verhält es sich bei der wahren Dehnung ε_w , die statt der konstanten Anfangslänge auf der aktuelle zeitlich veränderliche Anfangsmesslänge beruht ($dl/\,l$).

$$\varepsilon_w \int_{l_0}^{l} d\varepsilon = \int_{l_0}^{l} \frac{dl}{l} = \ln\frac{l}{l_0} = \ln(1+\varepsilon)$$

Deshalb wird sie auch oft logarithmische Dehnung bezeichnet.



Warum ein Extensometer?

Einsatzzweck:

Extensometer werden zur Bestimmung der Verformung direkt an der Probe eingesetzt.

Die Messung der Verformung ist damit deutlich präziser als über den Traversenverfahrweg.

Sämtliche Einflussfaktoren wie die Steifigkeit des Maschinenrahmens, Setzeffekte im Versuchsaufbau oder zum Beispiel die Keilschließwirkung bei Keilspannzeugen führen nicht zur Verfälschung des Messergebnisses.

Folglich fordern viele Normen wie zum Beispiel die ISO 6892-1 für Zugversuche an metallischen Werkstoffen oder die DIN EN ISO527-1 für die Bestimmung von Zugeigenschaften an Kunststoffen den Einsatz von Extensometern, um Parameter wie den E-Modul oder den Anstieg der elastischen Gerade zu bestimmen und daraus resultierende Kenngrößen wie die Dehngrenze oder die Streckdehnung, etc.

mögliche Auswahlkriterien für Extensometer

- gewünschte Messergebnisse, Kennwerte
- Probenmaterial, -form, -größe
- Messweg
- Messgenauigkeit, Auflösung
- Versuchsmodul (Biege, Zug, Druck, Peel, …)
- Versuchsaufbau
- Umgebungs- und Prüfbedingungen
- Automatisierungsgrad
- Prüfhäufigkeit / Bedienaufwand
- Preis und Wartungsanforderungen

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

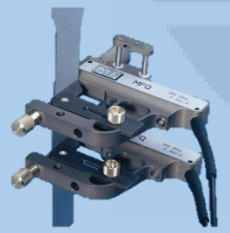
Übersicht Verformungsmessgeräte

Dehnungsaufnehmer

berührende Messung
taktil/ mechanisch

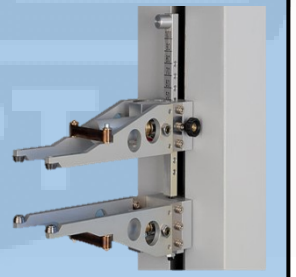
Ansatzdehnungsaufnehmer

Transversal

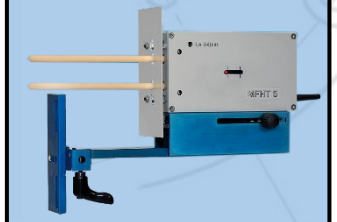


Longitudinal

Langweg-Extensometer

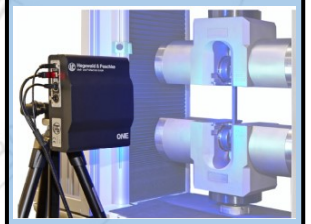


Hochtemperatur-Extensometer



berührungslose Messung
optisch

Video-extensometer



Laser Speckle Extensometer

Extensometer für Baustahl

Laser-extensometer

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Übersicht Verformungsmessgeräte

Dehnungsaufnehmer

berührende Messung
taktil/ mechanisch

Ansatzdehnungsaufnehmer

+ preiswerte Lösung
+ hohe Messgenauigkeit
+ Schwingungsunabhängig
+ **E-Modulbestimmung** (doppelseitig)
+ Dehnungsregelung möglich

- eingeschränkter Messweg
- nur für ausreichend steife Proben
- manuelles An-/Absetzen
- nicht bis Bruch geeignet

Langweg-Extensometer

+ einfaches Handling - voll/teilautomatisiert
+ hohe Messgenauigkeit
+ erweiterter Messweg bis zu 1100mm
+ **Bestimmung von Kennwerten im elastischen Bereich und bis Bruch**
+ geeignet für Dehnungsregelung
+ **verschiedenste Probenmaterialien**
(Metall- & Gummischneiden, variabler Anpressdruck)

- nicht für dünnste, spröde Materialien
- Umbau für verschiedene Prüfmodule
(Zugrichtung / Druck/Biegerichtung)

berührungslose Messung
optisch

Video / Laser-Speckle-Extensometer

+ kein Kontakt mit Probe (Folien möglich)
+ hohe Messgenauigkeit
+ Dehnungsregelung möglich
+ geeignet für Temperaturkammer/Ofen
+ ohne Probenmarkierung möglich
+ Längs- und Querdehnung über definierten Bereich möglich
+ Dehnungsverteilung über gesamte parallele Länge

- Abhängig von optisch stabilen Bedingungen
- Messbereich und Auflösung sind direkt abhängig

Laser-Extensometer

+ kein Kontakt mit Probe
+ hohe Messgenauigkeit (Klasse 0,2)
+ geeignet für Dehnungsregelung
+ geeignet für Höchsttemperatur-prüfung
+ geeignet für Automatisierung

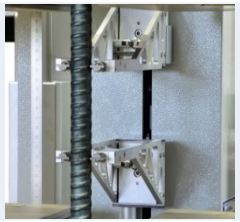
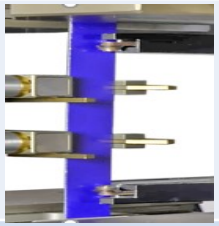
- Messmarkierung notwendig
- Einrichtaufwand – als fixe Konfiguration empfohlen für wiederkehrende Prüfaufgabe
- beschränkter Sichtbereich
(für ein System max. 300mm)

Quantität in der Praxis

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

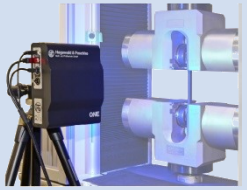
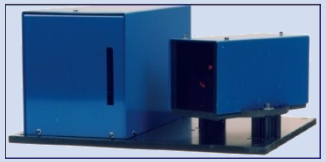
Übersicht taktiler Dehnungsaufnehmer
Vor- und Nachteile

Preis steigt

Anklemm-Extensometer		Langweg-Extensometer	
Transversal	Longitudinal	Longitudinal	Transversal
			
+ Messen der Breitenänderung	+ Messen der Längenänderung	+ Messen der Längenänderung	+ Messen der Breitenänderung
+ Klasse 0,2	+ Klasse 0,2	+ ab Klasse 0,5	+ Klasse 0,5
+ Bestimmung von senkrechter Anisotropie (r-Wert) bzw. der Poissonzahl µ + eine oder zwei Messstellen	+ (**Metall**) Bestimmung des E-Moduls E (doppelseitig), Anstieg der elastischen Gerade m_E, Dehngrenze R_p, Streckgrenze R_e + (**Kunststoff**) Bestimmung des Zugmodul E_t, Streckdehnung ε_y	+ (**Metall**) Bestimmung des Anstieg der elastischen Gerade m_E, Dehngrenze R_p, Streckgrenze R_e, Gleichmaßdehnung A_g, Bruchdehnung A + (**Kunststoff**) Bestimmung des Zugmodul E_t, Streckdehnung ε_y, Dehnung bei Zugfestigkeit ε_m, Bruchdehnung ε_b	+ Bestimmung von senkrechter Anisotropie (r-Wert) bzw. der Poissonzahl µ + eine oder zwei Messstellen
+ preislich attraktiv + für Metalle & Thermoplaste (Flach- und Rundproben) - begrenzter Messweg - muss im Test abgenommen werden - nicht für sprödbrechende Proben wie Gusseisen empfohlen) Beispielhaftes Video: https://www.youtube.com/watch?v=GkBt5dP6qhM		+ Messweg zwischen 200mm (z.B. Metalle) bis 1100mm (Elastomere) → für Metalle, Thermoplaste und Elastomere (mit Gummischneide mgl.) + ideal für hohes Prüfaufkommen (manuell, teil- und vollautomatisiert) + je nach Auflösung und Messbereich zur Ermittlung elast. Kennwerte und zur Bruchdehnungsbestimmung geeignet Beispielhaftes Video: https://www.youtube.com/watch?v=Dh6Jy-MnumQ	

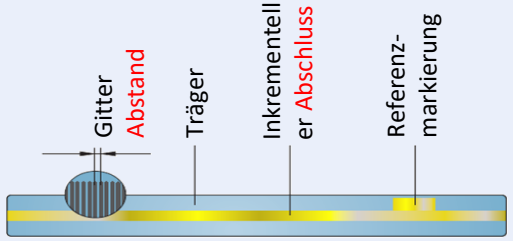
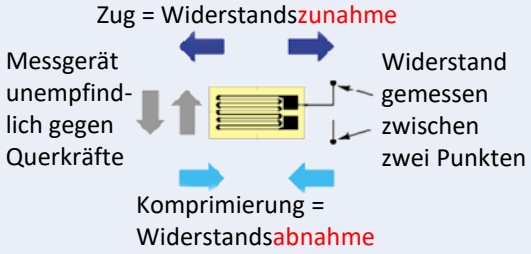
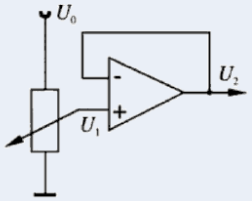
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Übersicht optische Dehnungsmessgeräte
Vor- und Nachteile

Videoextensometer	Laserextensometer	Extensometer für Baustahl	Laser Speckle Extensometer
			
+ kontaktloses Prüfverfahren			
+ Klasse 0,5	+ Klasse 0,2	+ Klasse 1	+ Klasse 1
+ Bestimmung der Längs- und Querdehnung möglich		+ Ermittlung der Längenänderung von Betonstahl und Walzdrähten	+ Bestimmung von Längen- und Querschnittsänderung möglich
+ bei Zug-, Druck- und Biegeversuchen einsetzbar + E-Modulbestimmung möglich		+ Messung von Zugverformung an Baustahl nach DIN 488 + Ermittlung der Rippengeometrie	+ bei Zug- und Druckversuchen einsetzbar + E-Modulbestimmung möglich
+ arbeitet mit Specklepattern – Probenoberflächenabhängig keine Markierung nötig	- kontrastreiche Probenmarkierung nötig (Messmarken)	+ hohe Auflösung	+ keine Probenmarkierung nötig
+ Dehnungsregelung möglich	+ Dehnungsregelung möglich	+ direkte Auslegung für Baustahl, z.B. Zählen der Rippen möglich	
+ Einsatz in Kombination mit Ofen, Temperaturkammer und Klimaschränken möglich			
+ großer Messweg und hohe Auflösung durch Multi-Kamera-Konfiguration möglich	- Aufwand für korrekte Aufbringung der Messmarken		- Specklemuster wird mit Laser (Schutzklasse) aufgebracht; Detektion erfolgt jedoch über übliches Kamerasystem

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Messprinzipien

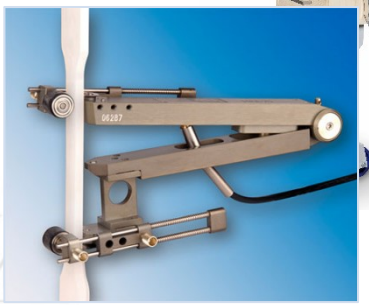
Inkrementelle Verfahren	• Schnelle, zuverlässige und genaue Längenmessung • Unempfindlich gegenüber Erschütterungen und Stöße • Definiertes thermisches Verhalten • Keinen Einfluss auf die Genauigkeit durch Änderung des Luftdrucks oder der Luftfeuchtigkeit Anwendung vorwiegend bei Langwegdehnungsaufnehmern	
Dehnmess-streifen	• DMS wird mit einer stabilisierten Gleichstromversorgung angeregt und kann mit zusätzlicher Konditionierungselektronik am Nullpunkt der Messung auf Null gesetzt werden • da auf den gebundenen DMS eine Widerstandsänderung einwirkt und die Wheatstone-Brücke aus dem Gleichgewicht bringt • Ausgang 2mV/V • temp. /mechanisch empfindlich • Anwendung bei Anklemmdehnungsaufnehmern und für den Feinmessbereich bei Langwegdehnungsaufnehmern	
Potentiometrisch	• Das Eingangssignal (kinematische Messung und = Winkel oder Position) wird in eine Widerstandsänderung umgewandelt • temp. /mechanisch empfindlich • Versorgungsspannung trägt zur Messung bei • Anwendung bei älteren Langwegdehnungsaufnehmern	
Optisch	Messbasis ist ein optisches Messsystem • Genauigkeit wellenlängenabhängig • zeitlicher Vergleich von Bildaufnahmen oder Reflexionsinformationen mit nachgelagerten mathematischen Algorithmen zur Bestimmung der Dehnung in [mm]	Anwendung bei: • Video • Laser • Laser Speckle

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

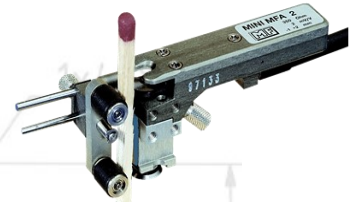
berührende Messung I

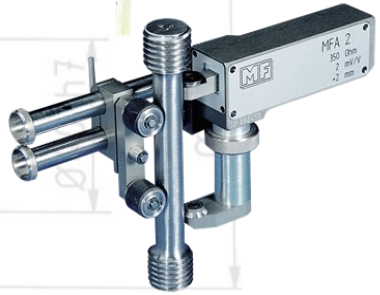
Clip-on Extensometer (Anklemmdehnungsaufnehmer)

Anklemmextensometer werden vor Versuchs-Beginn an die Zugprobe geklemmt. Üblicherweise wird diese Art der Extensometer zur Bestimmung der Streckgrenzen R_{eH} / R_{eL}, Dehngrenzen $R_{p0.2}$ / $Rp_{1,0}$ / $R_{t0,5}$ und zur Bestimmung des Anstiegs der elastischen Gerade verwendet. Darüber hinaus kann es zur Ermittlung des E-Modul (Elastizitätsmoduls) eingesetzt werden. Aufgrund des begrenzten Messweges (z. Bsp. < 2 mm / < 25mm) werden die Geräte nach Bestimmung dieser Kennwerte im laufenden Versuch abgenommen. Deshalb ist der Begriff Längenänderungsaufnehmer präziser als Dehnungsmesser.
Nebst MFA-Systemen für die axiale Dehnung gibt es auch Clip-on Extensometer (MFQ) für die Querdehnungsbestimmung mit ein oder zwei Messpunkten.



+ kostengünstig bei gleichzeitig hoher Auflösung/Genauigkeit (Klasse 0,2 DIN EN ISO 9513 möglich)
+ direkt an Probe angesetzt; d.h. es werden keinerlei Schwingungen durch das Extensometer auf die Probe übertragen
+ besonders geeignet zur Bestimmung des E-Moduls und von Dehn- und Streckgrenzen
+ geeignet für Dehnungsmessung und für dehnungsgeregelte Zugversuche
+ für Einsatz in Temperaturkammern geeignet
+ doppelseitige Ausführung möglich (Brucheinschnürung, E-Modul)
+ biaxiale Dehnungsmessung in Kombination mit transversalen Extensometern (MFQ) möglich (Bestimmung der Querkontraktionszahl, Poisson Zahl gemäß ISO 527-1)
- manuelles abnehmen des Extensometers vor Bruch empfohlen (Mechanische Anschläge schützen vor ungewollter Überlastung, auch bei vorzeitigem Bruch der Probe mit angesetztem Dehnungsaufnehmer)
- nicht für splitternde spröde Proben (Sicherheit) oder dünne flexible Proben (Beeinflussung durch Gewicht/Schneide) geeignet
- Für die Bestimmung der Bruchdehnung ungeeignet





Messprinzip Dehnmessstreifen-Vollbrücke

unterschiedliche Ausführungen bzgl. Gerätegewicht, Schneiden (rund, eckig; Hartmetall, Gummi) und Messweg
Anfangsmesslängen L_0 von 10 mm bis 300 mm über Distanzstücke

+ besonders geeignet für steife Proben (Metalle, Thermoplaste, Composite)

berührende Messung II

Langwegdehnungsmessgeräte

Diese Aufnehmer stehen im direkten mechanischen Kontakt mit der Probe und können zur Längenänderungsmessung bis zum Bruch verwendet werden.
Je nach Typ verfügen die Geräte über eine hohe Messauflösung bis 0,01 µm. Sie werden vor Versuchsstart manuell oder automatisch angesetzt und genutzt zur Bestimmung von elastischen Kennwerten, Streckgrenzen, Dehngrenzen, der Gleichmaßdehnung Ag bis zur Bruchdehnung A.

+ direkte Längenänderungsmessung
+ variable Anfangsmesslänge von 10mm bis Messweg
+ hervorragend geeignet für die Dehnungsregelung von Zugversuchen
+ großer maximaler Messweg zur Bestimmung der Eigenschaften bis Probenbruch, selbst bei weichen Kunststoffen/ Elastomeren; zudem geeignet für Bestimmung von elastischen Kennwerten wie Dehn- und Ersatzstreckgrenzen
+ automatisches Ansetzen und Abnehmen der Messarme möglich
+ Einsatz in Temperaturkammer möglich (spezielle Messarme)
+verschiedene Schneidensysteme möglich (rund / eckig; Hartmetall, stumpf, gummiert)

- Taktiles Messsystem – kritisch für spröde empfindliche Proben (Folien, Fasern)

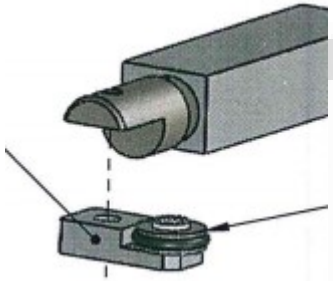
maximaler Messweg bis 1100 mm (abzüglich L_0)

+ in Abhängig der Prüfquantität sollten teil-/vollautomatisierte Systeme verwendet werden, die deutliche Handlingvorteile bieten. Somit sind die Langweg-Dehnungsaufnehmer für Prüfungen an Metallen und Kunststoffen empfohlen, wo zum einen die Ermittlung von elastischen Kennwerten erforderlich ist als auch die Dehnung bis Bruch bestimmt werden soll. Zudem erleichtern automatisierte Dehnungsaufnehmer den Prüfprozess und sind besonders bei höherem Prüfaufkommen empfohlen.

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

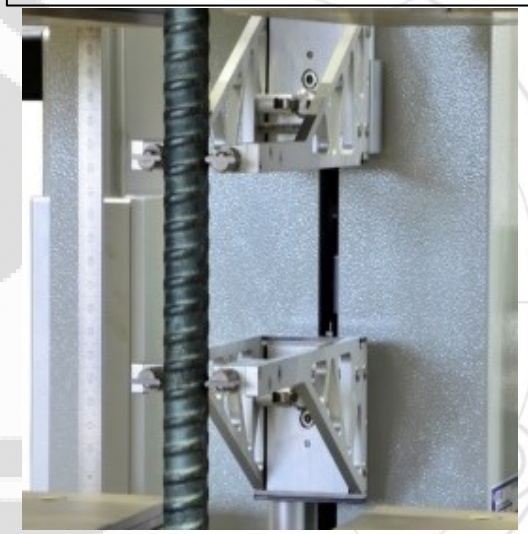
berührende Messung III

Merkmale von Langwegdehnungsmessgeräten für Zugversuche



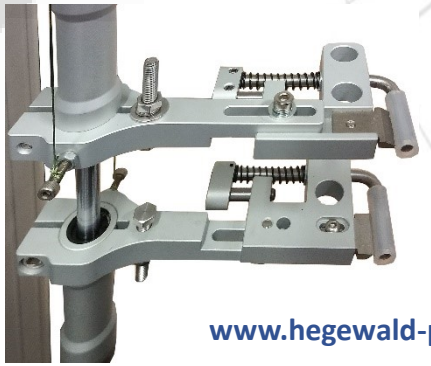
Gummierte Messschneide für Kunststoffe

Verschiedene Formen von Messarmen und Messschneiden

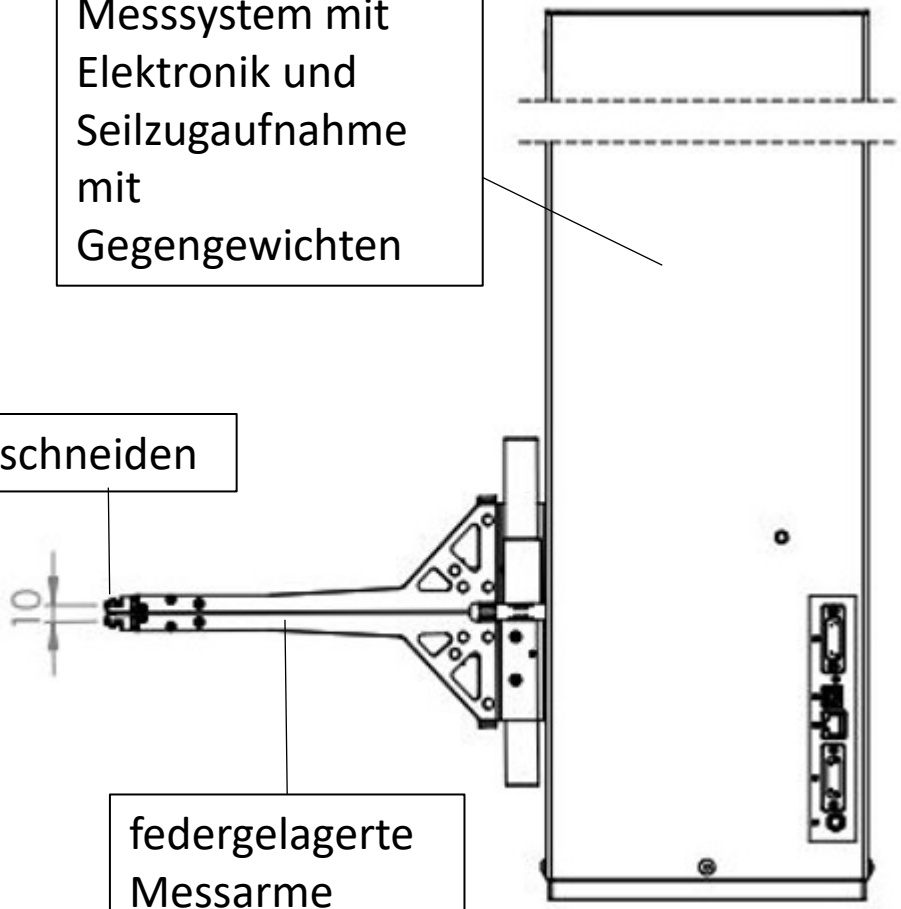


geschütztes Messsystem mit Elektronik und Seilzugaufnahme mit Gegengewichten

HMI Messschneiden rund und gerade mit Klappmechanismus für Flachproben und Drähte

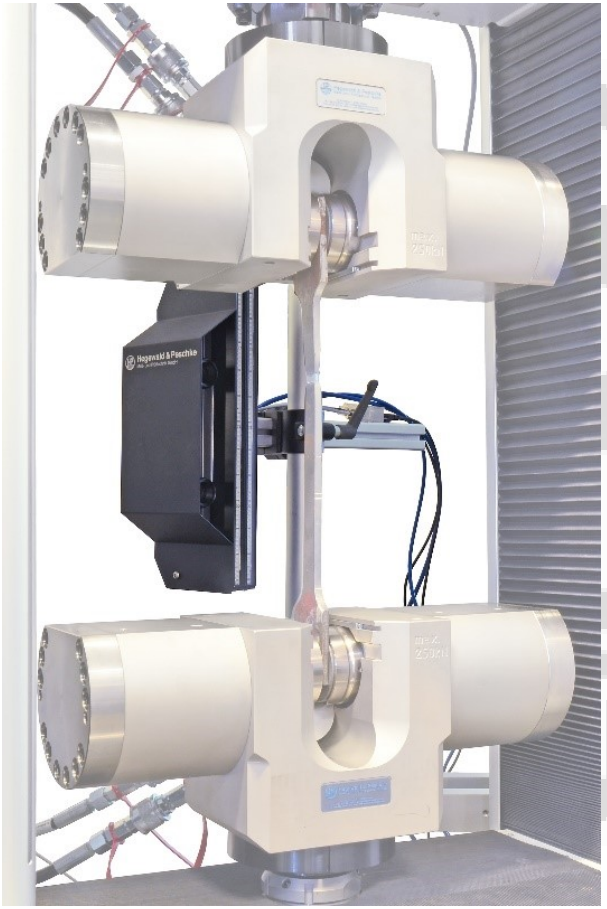


Messschneiden



federgelagerte Messarme

optische Prüfverfahren I



+ Kontaktfrei

+ Keine Mechanische Beeinflussung der Probe

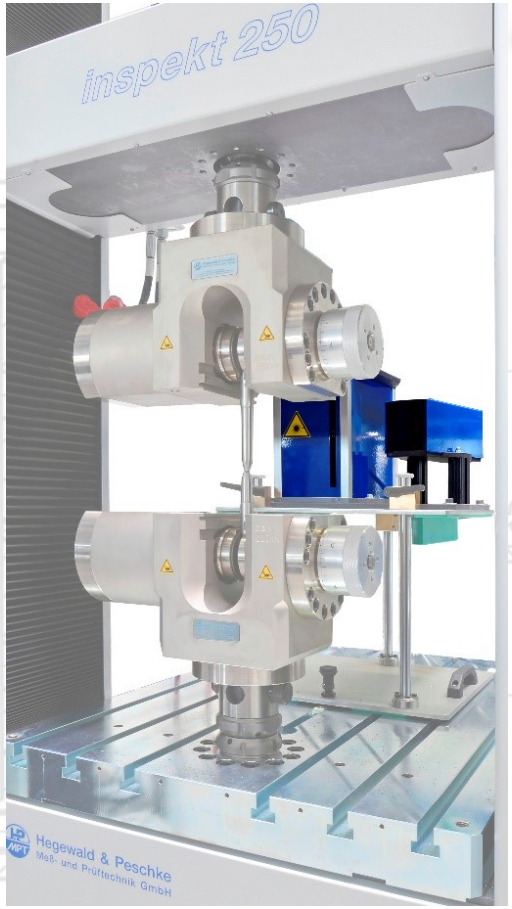
+ Geeignet für fast alle Materialien (Metalle, Folien, Seile, Textilien, …)

+ Geeignet für Temperaturanwendungen

+ Auswertung der gesamten freien Messlänge / Dehnungsverteilung möglich

- Abhängig von Optischen Einflüssen (Sonneneinstrahlung, Deckenlampen)

- Je nach Messprinzip begrenzte Messrate



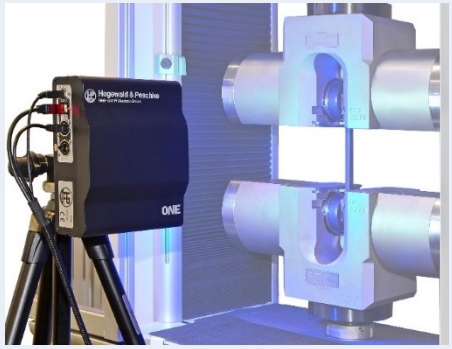
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

berührungslose Prüfverfahren II – Videoextensometer

Videoextensometer

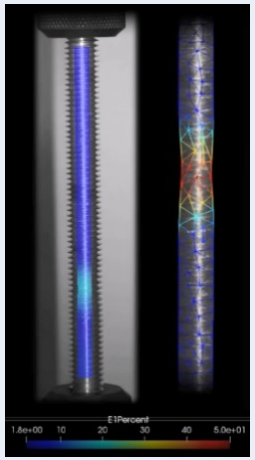
Das Videoextensometer ist ein berührungslos arbeitendes Verformungsmessgerät für die Materialprüfung, auf Basis hochauflösender Kameratechnologie und unter Nutzung der Oberflächenstruktur bzw. bei Bedarf zusätzlich aufgebrachter Markierungen.

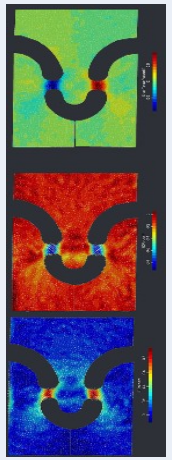
+ geeignet für Zug-, Druck-, Biege-, Scher- und Torsionsversuche an allen Materialien
+ berührungsloses Messverfahren auf Basis hochauflösender Videotechnologie
+ Bei geeigneter Oberflächenstruktur ist keine zusätzliche Probenmarkierung erforderlich
+ kombinierte Bestimmung von Längs- und Querdehnung möglich
+ erweiterbar zu Mehrkamerasystemen für größere Messbereiche
+ Stabil und reproduzierbar: Klasse 0,5 nach ISO 9513 im festgelegten Sichtfeld ab Lo 1mm
+ zur Dehnungsmessung und -regelung einsetzbar
+ Einsatz in Verbindung mit Temperatur- und Klimakammern sowie Öfen möglich



→ Optional: Digital Image Correlation (DIC) mit Post-Processing

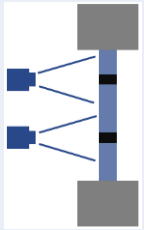
- Bestimmung und 2D-Visualisierung lokaler Dehnungen (orts- und richtungsaufgelöst)
- Erstellung farbcodierter Gebietskarten zur Visualisierung der Dehnungsverteilung
- Veranschaulichung und Bewertung komplexer Veränderungen bei Bauteil-versuchen
- Menge der Echtzeitinformationen deutlich erhöht



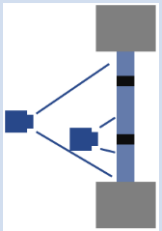


→ Optional: Multi-Kamera-Systeme

„Multi Camera - Splitted mode“: Auswertung von sehr großen Proben über zwei Kameras (pro Messmarke eine Kamera)



„Multi Camera – Area near and far“: ein hochauflösender Messbereich zur Auswertung der elastischen Verformung + ein großes Sichtfeld zur Auswertung der Bruchdehnung

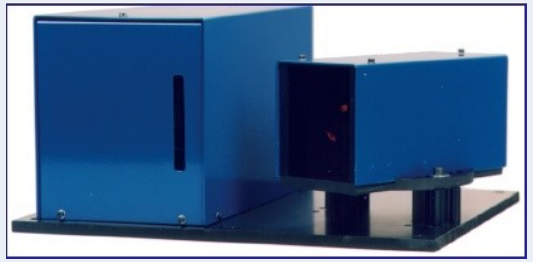


+ für verschiedenste Materialien wie Metall, Kunststoffe, Elastomere, Composite aber auch dünne empfindliche Folien
+ auch für kleinste Dehnungen an additiven formschlüssigen Proben einsetzbar (mit (tele)zentrischen Linsensystemen)

berührungslose Prüfverfahren III – Laserextensometer

Laserextensometer

Das Laserextensometer ist ein kontaktloses Verformungsmessgerät, welches mithilfe der diffusen Reflektion von Laserstrahlen an vorher aufzubringenden Probenmarkierungen die Längenänderung hochauflösend detektiert.



+ Geringere Störanfälligkeit gegenüber äußeren Einflüssen (z.B. Umgebungslichtverhältnisse)
+ Höchste Präzision über gesamten Messbereich bis zu 300 mm
+ Keine zusätzliche Beleuchtung notwendig
+ Messung von Probenbewegungen zum Messgerät bzw. vom Messgerät weg
+ Messung bei Zug-, Druck- und Biegeversuchen
+ Stabile Dehnungsregelung möglich
+ ortsaufgelöste Dehnungsmessungen (inhomogene Werkstoffe) möglich
+ in Öfen, Temperatur- und Klimakammern anwendbar
- Messmarken von hoher Haltequalität und guter Kontur nötig

Messlänge bis 300 mm (optional erweiterbar)

Genauigkeitsklasse 0,2 gemäß DIN EN ISO 9513

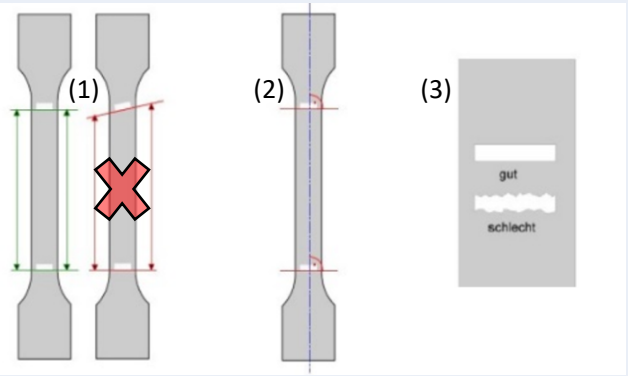
Anfangsmesslänge L_0 ab 2 mm

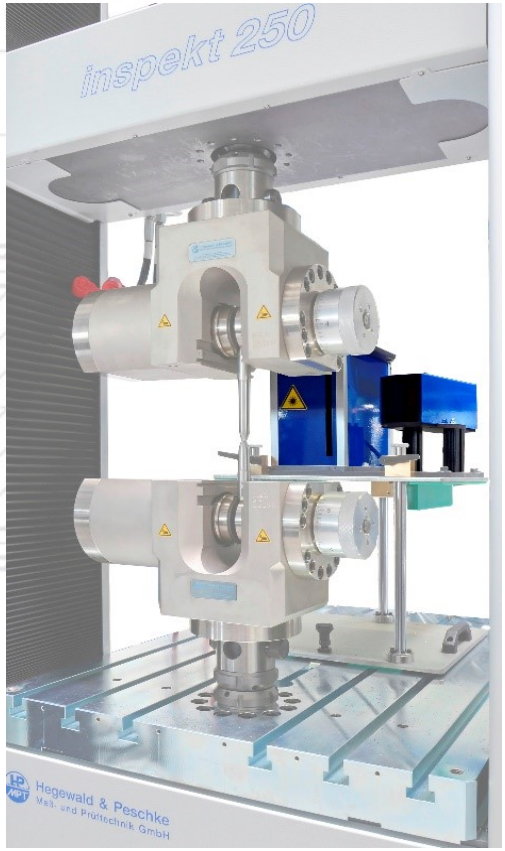
Einfluss der Qualität der Markierung

Hohe Qualität = Hohe Genauigkeit der Dehnungsmessung auch bei sich ändernden Bedingungen

- Kanten der Messmarkierungen parallel zueinander ausgerichtet (1)
- senkrecht zur Scanlinie/Prüfachse ausgerichtet (2)
- gerader Kantenverlauf der einzelnen Messmarken (3)

→ kontrastreiche Markierung erfolgt mittels Klebestreifen, Permanentmarker, Tintenstrahldruck (folgt gut der Probendeformation) oder Airbrush





+ vor allem für Langzeitmessungen mit hoher Auflösung geeignet, da diese über lange Dauer gehalten wird (driftfreies System)

berührungslose Prüfverfahren IV – Laser Speckle Extensometer

Laser Speckle Extensometer

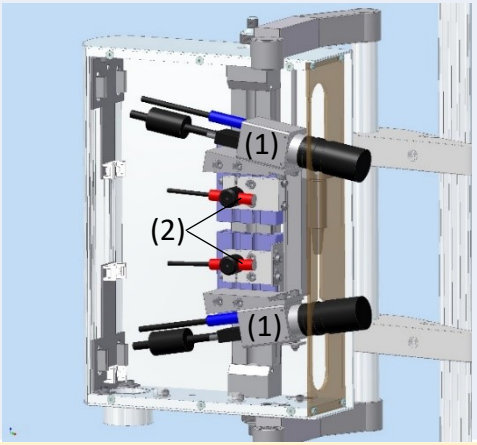
Das Laser Speckle Verfahren ist ein berührungslos arbeitendes Verformungsmessgerät für die Materialprüfung, auf Basis der Laser-Speckle-Auswertung.

+ keine Probenmarkierung nötig, sondern Erzeugung des Speckle Musters durch die Laser
+ Einsatz in Temperaturkammer möglich
+ Versuche an den unterschiedlichsten Materialien möglich
- Schutzklasse für Laser
- Auswertung des Specklemuster erfolgt über Videokameras
- Mitführung des Messsystem für die Bestimmung der technischen Dehnung (Tiefenschärfe kritisch)

Messlänge L_0 0 bis 250 mm
Genauigkeitsklasse 0,5 nach DIN EN ISO 9513

Messprinzip Laser-SpeckleMuster

- 2 Laserdioden – 2 Speckle-Muster – 2 Detektorkameras
- Durch Streuung des Laserlichtes an natürlicher Probenoberfläche entsteht probenspezifisches Muster („Fingerabdruck“)
- erzeugte Muster dienen als imaginäre Messmarken
- Detektion erfolgt über die hochauflösenden CCD-Kameras
- Zu Beginn der Messung wird erstes Speckle-Muster als Referenz aufgenommen und gespeichert
- Bei jeder weiteren Aufnahme werden Referenzmuster im Bild gesucht und Versatz bzw. Verschiebung zur Liveaufnahme berechnet



(1) Hochauflösende CCD-Kameras zur Detektion

(2) Laserdioden zur Erzeugung der Speckle Muster

+ vor allem für Langzeitmessungen geeignet, da hohe Genauigkeit über lange Dauer gehalten wird (driftfreies System)

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

kombinierte Messung von Längs- und Querdehnung

Taktil über Anklemmextensometer

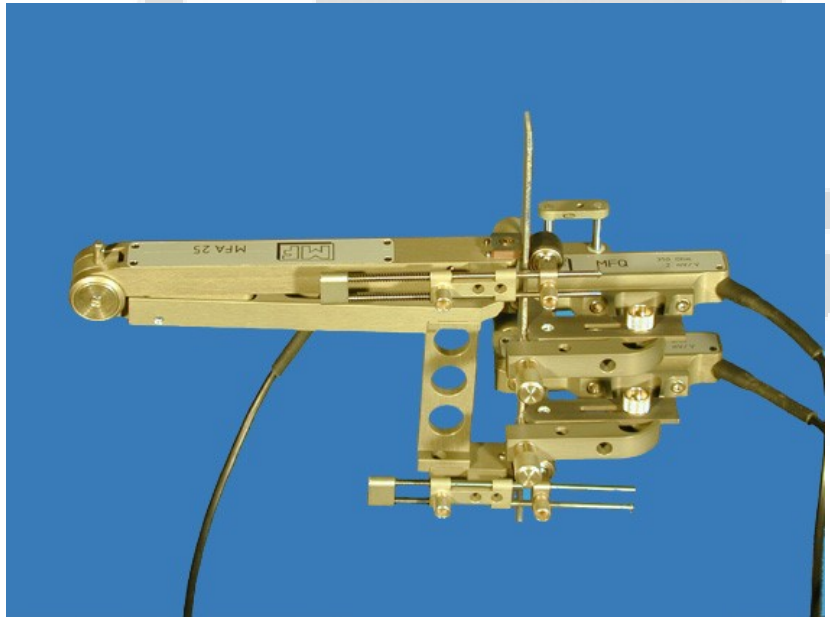
- Lo >50mm notwendig
- Kompliziertes Handling

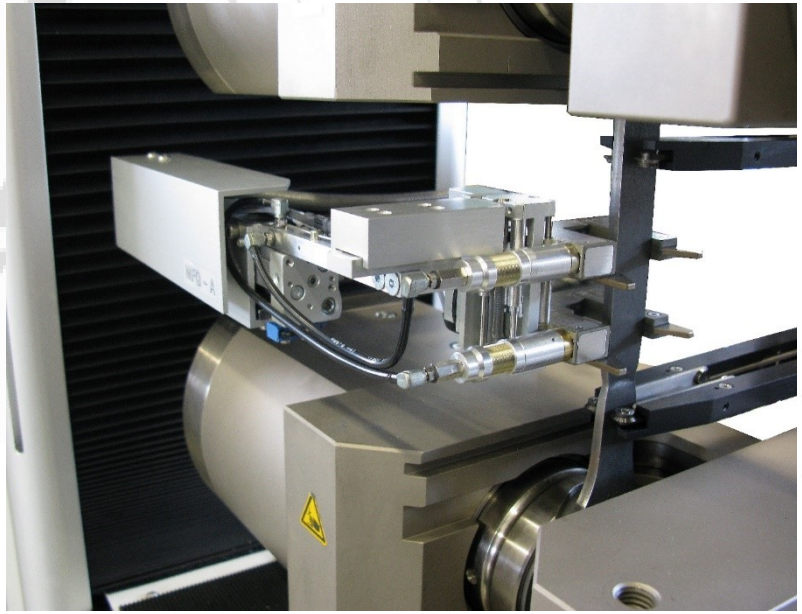
Taktil über Langwegextensometer

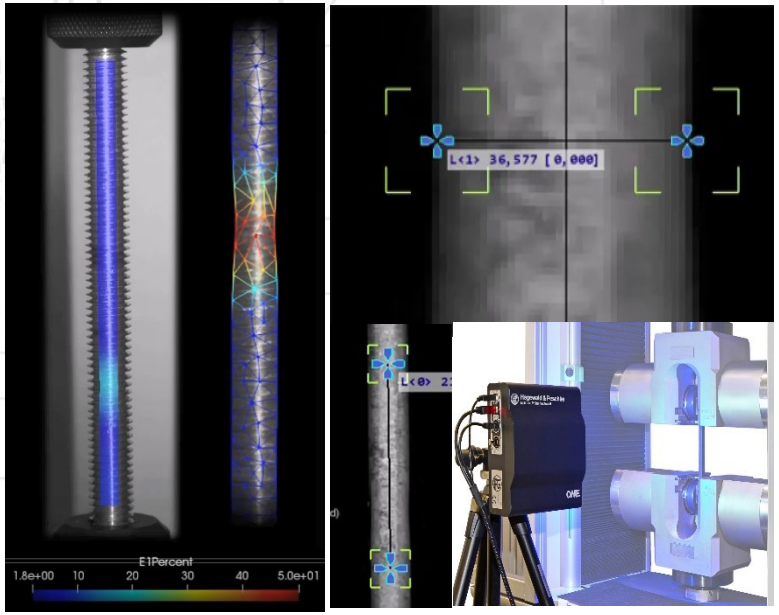
- Lo >50mm notwendig
- Automat. Mitführung des Breitenaufnehmer
- Automat. Breitenerkennung

Taktil über Videoextensometer

- Keine Einschränkung für Lo
- Messbereich statt Messtellen
- Automat. Detektion der größten Einschnürung





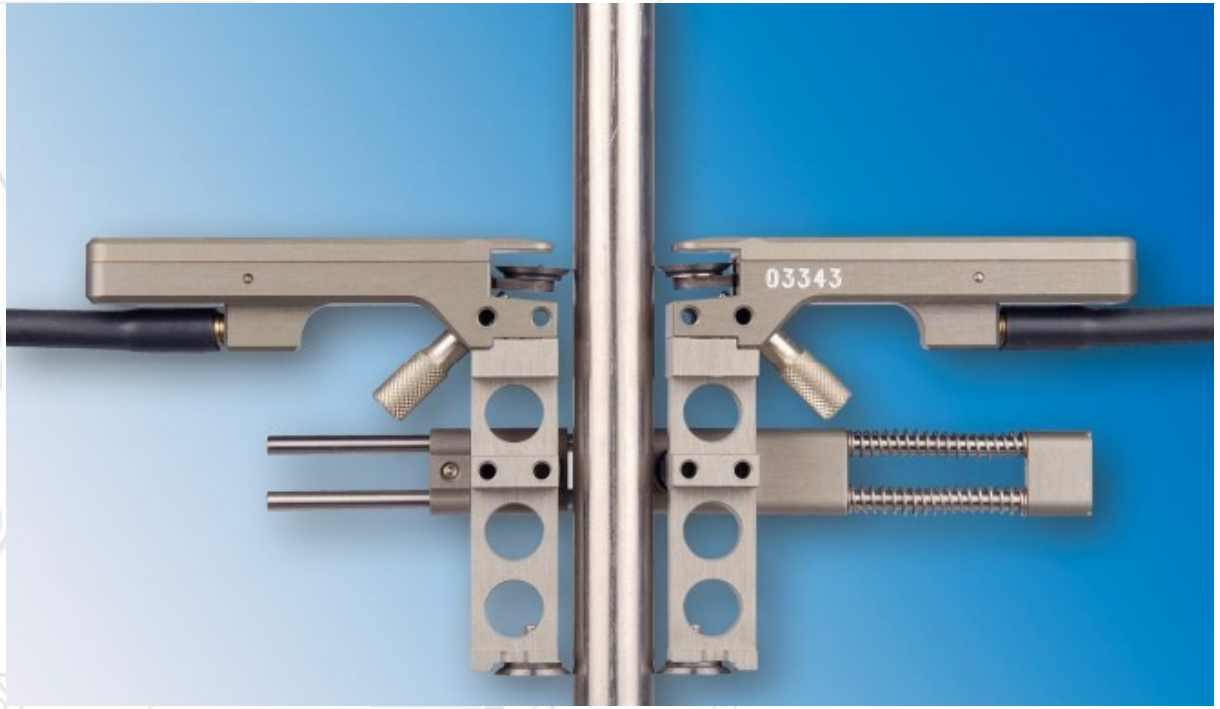


Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Metallzugversuch nach ISO6892-1
Anhang G:
Bestimmung des Elastizitätsmodul E

Um E-Modul Werte im uniaxialen Zugversuche mit einem akzeptablem Maß an Unsicherheit zu bestimmen fordert die Normung :

- Ein Dehmesssystem besser Klasse 0,5, ISO9513.
- Eine große Messlänge (≥ 50mm).
- Dass die Dehnung an gegenüberliegenden Seiten der Probe gemessen wird.
- Auswertung jeder einzelnen Seite (mind. zwei Dehnkanäle)
- Optimale Prüfbedingungen (schwingungsfrei, hohe Axialität)



⇨ FAZIT: Um diese Bedingungen zu gewährleisten MUSS ein **doppelseitiges Anklemmextensometer** verwendet werden bei dem die Dehnung an beiden Probenseiten separat ermittelt wird und das im Gegensatz zu Langwegdehnungsmesssystemen keine Schwingungen von der Maschine auf die Probe überträgt.

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Extensometer für Baustahl

Optischer Dehnungsaufnehmer für Baustahl und Walzdraht

Einsatzgebiet:

Optische berührungslose Dehnungsmessung bei der Zugprüfung nach DIN 488 an Betonstahl und Walzdraht.

Messprinzip / Eignung:

- berührungsfrei arbeitendes System auf videooptischer Basis zur Messung der aktuellen Zugdehnung während des Zugversuches sowie zur Ermittlung von Gleichmaßdehnung Agt, Bruchdehnung A10, A5 und A11,2

+ optional Bestimmung der Rippengeometrie

Anklemmdehnungsaufnehmer für Baustahl und Walzdraht

Einsatzgebiet:

Taktiler Dehnungsaufnehmer ab Klasse 0,5 nach ISO9513 für Zugversuche an Baustahl

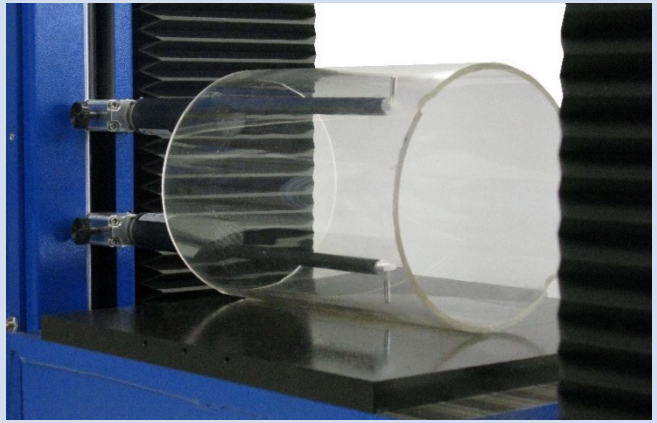
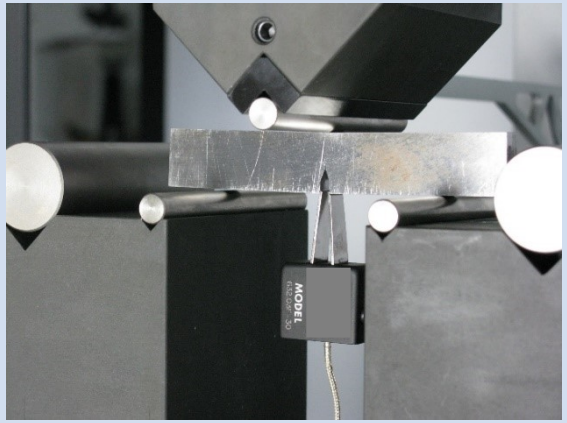
Messprinzip / Eignung:

- Für viele Proben ab Ø 4 mm und 15 mm Breite zur Ermittlung der Streckgrenzen und Gleichmaßdehnung geeignet.
- Anfangsgerätemesslänge 50 bis 200mm

+ durch robustes Design – besonders für Baustahl und grobe Proben mit Zunder geeignet

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

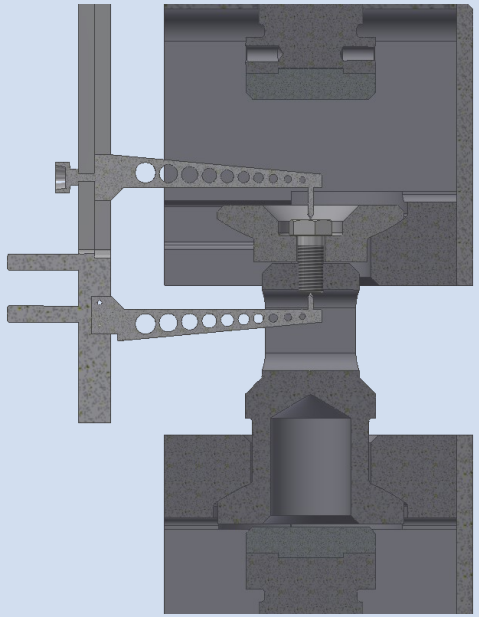
Spezialdehnungsmessgeräte I

Spezialdehnungsmessgerät für Innendurchmesserprüfung	Ansatzverformungsmessgerät zur Riss- und Bruchzähigkeitsbestimmung
	
• Langwegdehnungsmessgerät für Verformungsmessung innerhalb des Rohres • Innendurchmesser von 100 mm bis 1500 mm (optional erweiterbar) • maximale Rohrlänge von 450mm • Genauigkeitsklasse ab Kl. 0,5 nach DIN EN ISO 9513	• Ansetzverformungsmessgerät zur Bestimmung der Riss- oder Bruchzähigkeit in Kerbgeometrien • in statischen und dynamischen Versuchen einsetzbar • Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 9513 (optional Klasse 0,5) • Messprinzip DMS-Vollbrücke • Standardtemperaturbereich -100 °C bis +150 °C
Besonders geeignet zur Verformungsmessung bei Scheiteldruckversuchen an Kunst- und Leichtbaustoffen sowie für Ringsteifigkeitsuntersuchungen nach ISO 9969, DIN 5086 und DIN 50086-2-4	Ideal geeignet zur Ermittlung von K_{IC} und J_{IC} sowie zur Aufzeichnung von Risswiderstandskurven (R-Kurven)

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

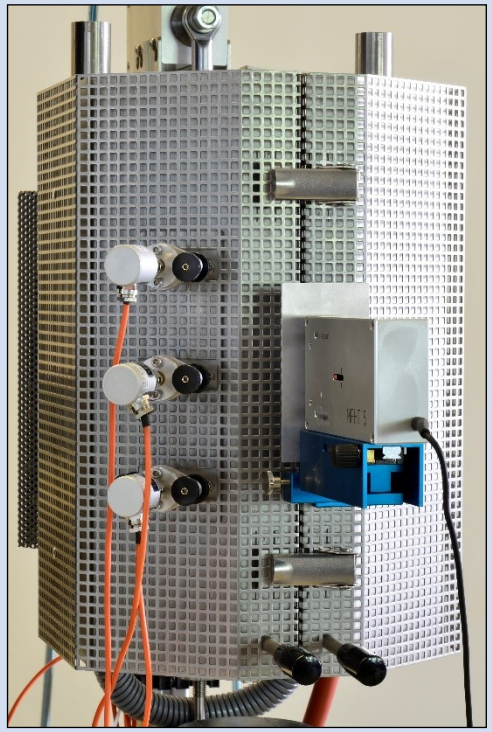
Spezialdehnungsmessgeräte II

Spezialdehnungsmessgerät für Schraubenprüfung nach DIN EN ISO 898-2



- Bestimmung der Längenänderung von Schrauben mittels Messspitzen über **Gesamtlänge**
- Genauigkeitsklasse 0,5 nach DIN EN ISO 9513

Spezialextensometer für Einsatz mit Öfen



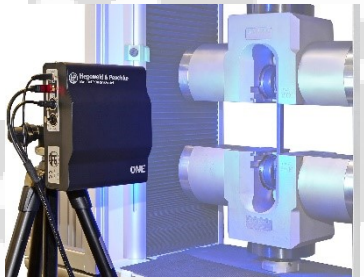
- Bestimmung der Längenänderung in Öfen bis max. 1700°C
- Messprinzip DMS Vollbrücke, mit keramischen Messspitzen
- Bestimmung des Anstieg der elast. Gerade, Dehngrenze – nicht bis Bruch empfohlen
- Genauigkeitsklasse 0,5 nach DIN EN ISO 9513

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Halterungen für Extensometer

… losgelöst von Prüfmaschine

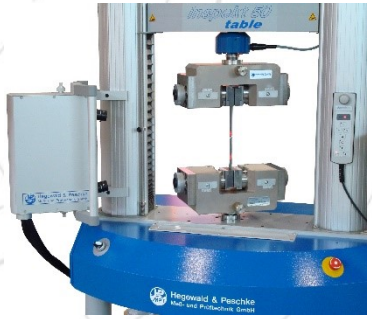
- Kamerastativ
- Standalone-Gerät
- Anklemmsysteme



… an Prüfmaschine befestigt

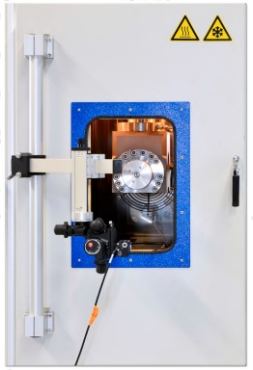
Halterung an:

- Festtraverse
- Fahrtraverse
- Obere Traverse
- Rahmen



…für Temperaturkammern oder Ofen

- an Maschinenrahmen
- an Temperiereinrichtung



Ein fester Ort und eine stabile schwingungsarme Fixierung sind wichtig für reproduzierbare Tests und zur Minimierung oder sogar Vermeidung von Einrichtungsaufwand in der täglichen Testanwendung!

Kalibrierung nach DIN EN ISO 9513:2013-05

DIN EN ISO 9513 --> Unterteilung der Längenänderungsmesseinrichtungen in vier Genauigkeitsklassen

Klasse 0,2 Klasse 0,5 Klasse 1 Klasse 2

Normanforderungen

- → Welche Genauigkeitsklasse für die Versuche benötigt wird, gibt die jeweilige Anwendungsnorm (z.B. metallischer Zugversuch - DIN EN ISO 6892, …)
- → Das eingesetzte Extensometer muss für den Anwendungsfall geeignet sein
- → Standardkalibrierung ist Klasse 1, da für die meisten Versuche ausreichend, gelegentlich wird auch Klasse 0,5 gefordert

Kriterien für die Klasseneinteilung nach Tabelle 2 aus DIN EN ISO 9513:2013

Klasse des Extensometers	Relative Abweichung der Anfangsgerätemesslänge q_{Le}	Auflösung *		Anzeigeabweichung *	
		Relativwert r_{rel}	Absolutwert r	Relativwert q_{rb}	Absolutwert q_b
0,2	± 0,2 %	0,10 %	0,2 µm	± 0,2 %	± 0,6 µm
0,5	± 0,5 %	0,25 %	0,5 µm	± 0,5 %	± 1,5 µm
1	± 1,0 %	0,50 %	1,0 µm	± 1,0 %	± 3,0 µm
2	± 2,0 %	1,00 %	2,0 µm	± 2,0 %	± 6,0 µm

* Der größere Wert ist zulässig
l_i: Anzeige am jeweiligen Messpunkt Extensometer
L_e: Anfangsmesslänge(L_0) Sollwert
r: Auflösung am jeweiligen Messpunkt
l_t: Anzeige am jeweiligen Messpunkt Kalibriergerät
L'_e: Anfangsmesslänge (L_0) Istwert

Die Klasseneinteilung des Extensometers erfolgt unter Einschluss und Ausschluss der bei der Kalibrierung berechneten Messunsicherheit. Dabei kann es sich ergeben, dass das Gerät ohne Messunsicherheit die jeweilige Klasse erfüllt, mit Messunsicherheit jedoch nicht. Dies hängt vom berechneten Wert der Messunsicherheit ab.

Beispielrechnung für Kalibrierung nach Klasse 1:

Anfangsmesslänge L_e= 50,0 mm L'_e= 50,2 mm
Auflösung r= 1 µm (am Messpunkt 0,1 mm)
Abweichung l_i= 0,500 mm l_t= 0,504 mm

$$q_{le} = \frac{(50{,}2\ mm\ - 50{,}0\ mm)}{50{,}0\ mm} \cdot 100 = 0{,}4\ \%$$

→ **0,4% ist kleiner ±1,0%, somit erfüllt**

$$r_{rel} = \frac{1\ \mu m}{100\ \mu m} \cdot 100 = 1{,}0\ \%$$

→ **1,0 % ist außerhalb der Normvorgaben, aber 1 µm zulässig (Absolutwert größerer Wert), somit erfüllt**

$$q_{rb} = \frac{(0{,}500\ mm\ - 0{,}504\ mm)}{0{,}504\ mm} \cdot 100 = -0{,}8\ \%$$

→ **absolute Abweichung ist mit 4 µm größer als geforderte 3 µm, aber -0,8 % entspricht Normvorgabe, somit erfüllt**

Kalibrierung nach DIN EN ISO 9513

- Vor der Kalibrierung muss die Längenmesseinrichtung einen ausreichend langen Zeitraum in der Nähe des Kalibriergerätes gelagert oder an diesem angesetzt sein (gleiche Kalibriertemperatur)
- Temperatur ist während der gesamten Kalibrierung aufzuzeichnen – Sollbereich von 18 °C bis 28 °C, Temperaturkonstanz von ± 2°C ist zu gewährleisten
- gewählte Kalibrierschritte werden nacheinander über Längenänderungsanzeige der Prüfmaschine angefahren und die Werte von der Anzeige des Kalibriergerätes in Protokoll übernommen

Ablauf eines typischen Kalibrierablaufes:

1. Sichtprüfung des Extensometers und Erstellung des Untersuchungsprotokolls
2. Festlegung der Messbereiche und der sich ergebenen Kalibrierschritte
3. Bestimmung von Auflösung r und der relativen Abweichung der Anfangsgerätemesslänge Eintragung aller relevanten Parameter in Kalibriersoftware
4. Vor Kalibrierung den relevanten Bereich zweimal mit angesetzten Kalibriergerät durchfahren
5. Messreihe 1 und 2 aufnehmen → Kalibrierprogramm ermittelt daraufhin Ergebnisse und erstellt Kalibrierschein
6. Restliche auftragsgebundene Eintragungen vornehmen

Auszug aus beispielhaftem Kalibrierprotokoll:

-		Messbereich:	5,0 mm	Richtung :	auf							
		Temperatur:	23,5 °C	Längenänderung l_i am Kalibriergerät in mm		absolute Anzeige-abweichung q_b in µm		relative Anzeige-abweichung q_{rb} in %		Erweiterte Mess-unsicherheit U k=2 in µm	Erweiterte Mess-unsicherheit U + Abweichung	Erweiterte Mess-unsicherheit U + Abweichung
Mess-wert	Auflösung r in µm	relative Auflösung	Längenänderung l_i an der Traverse in mm	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 2		Reihe 1	Reihe 2
1	1,0	0,20%	0,500	0,5007	0,5007	-0,67	-0,74	-0,13	-0,15	0,99	-0,33 %	-0,35 %
2	1,0	0,10%	1,000	1,0002	0,9998	-0,16	0,20	-0,02	0,02	1,75	-0,19 %	0,19 %
3	1,0	0,07%	1,500	1,5018	1,5015	-1,82	-1,50	-0,12	-0,10	2,50	-0,29 %	-0,27 %
4	1,0	0,05%	2,000	2,0013	2,0008	-1,26	-0,80	-0,06	-0,04	3,30	-0,23 %	-0,21 %
5	1,0	0,04%	2,500	2,5016	2,5016	-1,64	-1,58	-0,07	-0,06	4,06	-0,23 %	-0,23 %
6	1,0	0,03%	3,000	3,0003	2,9998	-0,26	0,17	-0,01	0,01	4,88	-0,17 %	0,17 %
7	1,0	0,03%	3,500	3,5009	3,5004	-0,92	-0,44	-0,03	-0,01	5,68	-0,19 %	-0,17 %
8	1,0	0,03%	4,000	3,9997	3,9989	0,25	1,07	0,01	0,03	6,51	0,17 %	0,19 %
9	1,0	0,02%	4,500	4,5004	4,5004	-0,36	-0,40	-0,01	-0,01	7,26	-0,17 %	-0,17 %
10	1,0	0,02%	5,000	4,9993	4,9995	0,70	0,54	0,01	0,01	8,06	0,18 %	0,17 %

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Kontakt zu Hegewald & Peschke

E-mail: info@hegewald-peschke.de
Tel.: +49 35242 445-0