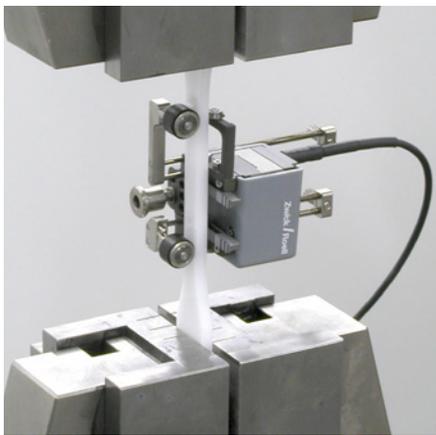
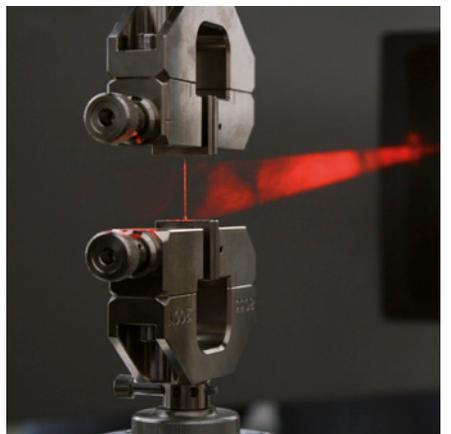
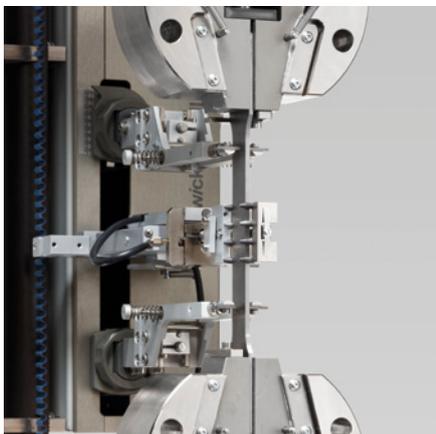


Längenänderungsaufnehmer für Material-Prüfmaschinen



Inhalt

1	Zwick Kernkompetenz: Längenänderungsaufnehmer	2
2	Welcher Längenänderungsaufnehmer für welche Anwendung?	3
3	Direkte und indirekte Längenänderungsmessung	7
4	Relevante Kennwerte.....	8
4.1	Längenänderungsmessung	8
4.2	Breitenänderungsmessung.....	9
5	Auswahlkriterien	9
6	Überblick über die Zwick Längenänderungs-Messsysteme.....	11
7	Berührende Messsysteme	12
7.1	Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern	12
7.2	Ansetzaufnehmer	16
8	Berührungslose Messsysteme	18
8.1	videoXtens	19
8.2	laserXtens	20
8.3	lightXtens	23

1 Zwick Kernkompetenz: Längenänderungsaufnehmer

Die Längenänderungsmessung ist eine Kernkompetenz von Zwick. Langjährige Erfahrung in der Entwicklung und Konstruktion, die komplette Fertigung der Geräte im Hause sowie die Vielzahl an Kundeninstallationen garantieren Ihnen den neuesten Stand in der Längenänderungsmesstechnik. In vielen Bereichen übernimmt Zwick mit seinen Innovationen eine Vorreiterrolle.

Die Produktpalette umfasst Längenänderungsaufnehmer mit unterschiedlichen Auflösungen, Messprinzipien und Messwegen. Generell wird unterschieden in:

- Berührende Längenänderungsaufnehmer
 - Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern
 - Inkrementale und analoge Ansetzaufnehmer
 - Aufnehmer für Druck- und Biegeprüfungen
- Berührungslos messende Längenänderungsaufnehmer
 - Mit Messmarken (Probenvorbereitung meist erforderlich)
 - Ohne Messmarken (keine Probenvorbereitung notwendig)

Die Vorteile auf einen Blick

- **Innovation:** Die Verformungsmessung ist eine Schlüsseltechnologie im Prüfmaschinenbau. Zwick ist führend in dieser Technologie – im Einsatz an empfindlichsten Materialien als auch an robusten Proben. Im Zwick-Produktprogramm finden Sie Längenänderungsaufnehmer, die Ihnen kein anderer bieten kann.
- **Breitetes Portfolio:** Zwick bietet eine umfassende Auswahl an Längenänderungsaufnehmern, vom analogen Ansetzaufnehmer bis hin zum vollautomatisierten Universal-Längenänderungsaufnehmer. Für Prüfungen von hochdehnbaren Proben wie Elastomeren finden Sie ebenso ein geeignetes System wie auch für spröde Materialien (z.B. Keramik). Wir unterstützen Sie mit sachkundiger Beratung sowie Vorversuchen im hauseigenen Anwendungslabor und finden das optimale System für Sie.
- **Der Bediener im Vordergrund:** Die Zwick Längenänderungsaufnehmer sind auf den Bediener ausgerichtet. Sie sind möglichst einfach an die Probe anzusetzen und zu bedienen. Für höchste Prüfleistungen sind automatisierte Prüfabläufe vom Ansetzen bis zum Abheben der Messfühler nach dem Bruch der Probe möglich.
- **Qualität:** Auch bei den Längenänderungsaufnehmern erhalten Sie die beste Zwick-Qualität, bei der die Verarbeitung hochwertigster Materialien, die Genauigkeit sowie die hohe Verfügbarkeit der Systeme im Vordergrund stehen.

2 Welcher Längenänderungsaufnehmer für welche Anwendung?

Die Anforderungen an Längenänderungsaufnehmer sind so vielfältig wie die Anwendungen, für die sie eingesetzt werden. Anhand verschiedener Kriterien findet sich der am besten geeignete Längenänderungsaufnehmer für eine bestimmte Anwendung oder einen Anwendungsbereich.

Die Anforderungen an Längenänderungsaufnehmer sind vor allem abhängig von den Eigenschaften des zu prüfenden Materials, den Formen und Abmessungen der daraus gefertigten Proben und den zu erfüllenden Prüfvorschriften bzw. Normen. Sie definieren unter anderem den Ablauf der Prüfung, die zu bestimmenden Kenngrößen mit Genauigkeiten und die Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel die Prüftemperatur.

Probenabhängige Kriterien

Die Materialeigenschaften Steifigkeit, Festigkeit und Verformbarkeit sowie die Probenabmessungen sind nicht nur bestimmend für Anfangsmesslänge und Messwege. Sie geben zudem Auskunft darüber, welche Aufnehmer oder Messfühler direkt an der Probe angesetzt werden können, ohne dass durch die dadurch verursachte

Belastung die Kraftmessung verfälscht oder die Probe beschädigt wird. Sehr dünne Proben sind meist klemmempfindlich (zum Beispiel Folien), drahtförmige Proben bieten für die berührungslose Messung keine ausreichend breite Sichtfläche (zum Beispiel dünner Draht, Durchmesser < 2 mm).

Eine hohe Steifigkeit im Anfangsbereich, gefolgt von einer hohen Verformbarkeit, erfordert gegebenenfalls eine Kombination von Längenänderungsaufnehmern: einen, der im Anfangsbereich hochgenau misst und einen, der einen großen Messweg erfassen kann.

Proben mit sehr glatten, spiegelnden Oberflächen oder aus transparenten, durchsichtigen Materialien sind beispielsweise nicht für die berührungslose optische Messung ohne Messmarken geeignet.

Von besonderer Bedeutung ist auch das Verhalten bei Probenbruch. Die Probenreste eigensteifer Proben mit relativ geringer Rückverformung (zum Beispiel Metalle und harte Kunststoffe) rutschen bei Probenbruch durch die Messschneiden der angesetzten Aufnehmer ohne diese zu beschädigen. Kippbare Messschneiden vermeiden Aufnehmerschäden auch dann, wenn die Probenoberfläche relativ rau ist.



Auswahlschema für den geeigneten Längenänderungsaufnehmer

Bei hochdehnbaren und biegeweichen Proben könnten dagegen die Messschneiden oder der Aufnehmer von den sich rückverformenden und dabei seitlich ausweichenden oder aufspießenden Probenresten (zum Beispiel bei Drahtseilen) beschädigt oder zerstört werden. Daher wird hierfür auf berührungslos messende, optische Messsysteme zurückgegriffen.

Messtechnische Kriterien

Bei berührend messenden Längenänderungsaufnehmern ist der Messweg meist ein konstruktionsbedingter, fester Wert. Die (Anfangs-)Messlänge wird manuell oder automatisch über einen größeren Bereich in festen Stufen oder kontinuierlich eingestellt.

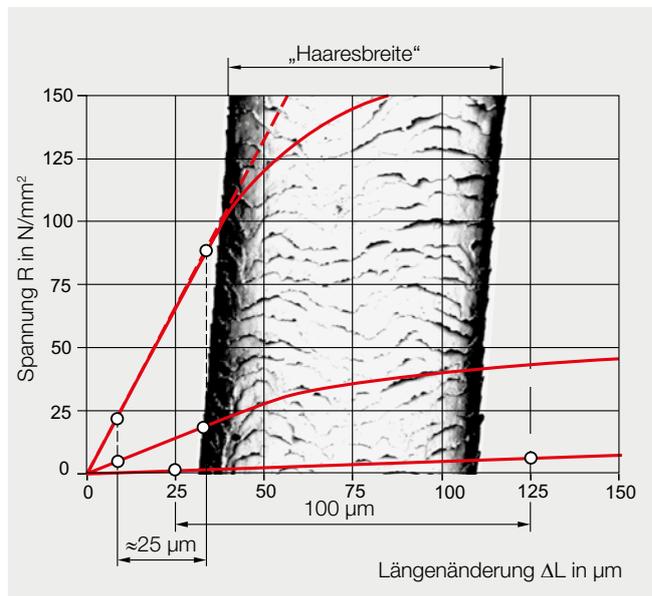
Bei berührungslos messenden Aufnehmern mit Videokamera muss das Sichtfeld größer sein, als die Summe aus Messweg und Anfangsmesslänge. Das Sichtfeld kann durch den Wechsel von Objektiven beziehungsweise durch die Änderung des Abstands von Kamera zur Probe variiert werden. Bei doppeltem Sichtfeld führt das beispielsweise zu einer Halbierung der Auflösung. Jede geänderte Messanordnung erfordert eine neue Justage.

Messgenauigkeit

Anforderungen an die Genauigkeit der Längenänderungsmessung sind meist in den anwendungsspezifischen Prüfvorschriften und Normen enthalten. Einige Prüfnormen, wie zum Beispiel für Zugversuche an Metallen und Kunststoffen, beziehen sich auf spezielle Normen zur Kalibrierung von Längenänderungsmesssystemen und die darin definierten Genauigkeitsklassen.

Größenverhältnisse im Feinmessbereich

Die Grafik zeigt charakteristische Spannungs-Längenänderungs-Kennlinien mit Messpunkten für die Auswertung von Elastizitäts- beziehungsweise Zugmodul vor dem Hintergrund eines menschlichen Haares. Dies verdeutlicht die hohen Genauigkeitsanforderungen an einen Längenänderungsaufnehmer, um beispielsweise das Zugmodul an Kunststoffen nach ISO 527 zu bestimmen. Das zu verwendende Längenänderungsmesssystem muss bei einer Anfangsmesslänge von 50 mm eine Genauigkeit von 1 μm im Messbereich von 25 μm bis 125 μm bieten.



Größenverhältnisse im Feinmessbereich

Handhabung

Einfaches Einbauen und Umrüsten sowie weitgehend automatische Prüfabläufe reduzieren den Personal- und Zeitaufwand und erhöhen zugleich die Qualität der Prüfungen, weil subjektive Einflüsse minimiert werden. Dies gilt besonders für Serienprüfungen.

Kosten/Nutzen

Höhere Beschaffungskosten können sich schnell amortisieren, insbesondere dann, wenn der Längenänderungsaufnehmer für ein größeres Anwendungsspektrum eingesetzt werden kann und somit weitere Beschaffungen unnötig werden. Ferner sind die aktuellen Betriebskosten für das System relevant. Hierunter fallen beispielsweise Wartungsarbeiten wegen Verschleiß, Zeitaufwand für die Konfiguration von manuellen Systemen für die Prüfung oder die für die Probenvorbereitung notwendigen Zeiten und Kosten.

Längenänderungsaufnehmer mit Videokamera oder optischen Verfolgersystemen benötigen jeweils eine Probenmarkierung. Der Verbrauch an Einweg-Messmarken ist zu berücksichtigen.

Berührend messende Längenänderungsaufnehmer

Ansetzaufnehmer sowie Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern stehen im direkten, mechanischen Kontakt mit der Probe durch quer zur Messlänge ausgerichtete Messschneiden. Die kleinen Anpresskräfte bewirken durch eine mikrometerfeine Einprägung der Messschneiden in die Probenoberfläche eine leicht formschlüssige und damit präzise positionierte Kontaktstelle. Dies ist ein wesentlicher Faktor für die große Messgenauigkeit und kleine Streubandbreite der Messwerte.

Allerdings können Messfühler und Aufnehmer durch den direkten Kontakt mit der Probe beim Probenbruch beschädigt oder sogar zerstört werden, wenn es sich um hochdehnbare oder nicht eigensteife Proben handelt.

Ansetzaufnehmer

Ansetzaufnehmer werden meist manuell direkt an die Probe angesetzt. Dadurch wird die Probe belastet. Die Messwegübertragung von der Probe über die angelegten Messschneiden bis zum Wegsensor ist kurz und steif. Es gibt praktisch keine Relativbewegungen zwischen Probe und Aufnehmer. Seine Messgenauigkeit ist deshalb unübertroffen hoch. Der Messweg ist meist auf wenige Millimeter begrenzt. Zwick bietet hier mit den patentierten inkrementalen Ansetzaufnehmern ein digitales Messsystem in kleinster Bauform mit einer Auflösung von $0,1 \mu\text{m}$ und einem großen Messweg bis 40 mm .

Das Zwick Portfolio enthält darüber hinaus auch Ansetzaufnehmer mit Gewichtsentlastung sowie mit beidseitigem Messsystem zur Kompensation überlagerter Biegespannungen in automatischer Ausführung.

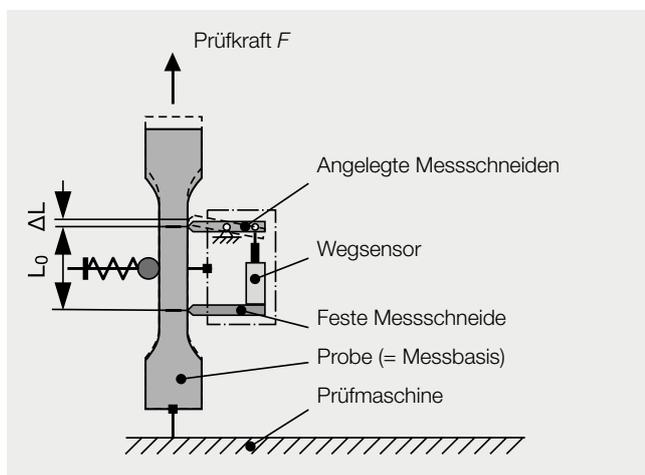


Bild 1: Messung mit Ansetzaufnehmer

Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern

Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern bieten den Vorteil der weitgehend automatischen Betätigung sowie eines für viele Anwendungen ausreichenden großen Messweges mit hoher Messgenauigkeit. Ausführungen mit sehr leichtgängigen Messfühlern belasten die Probe kaum mehr als aufgeklebte Messmarken für berührungslos messende, optische Längenänderungsaufnehmer. Durch beidseitig angesetzte Messfühler wird auch hier der Einfluss überlagerter Biegespannungen weitgehend kompensiert.

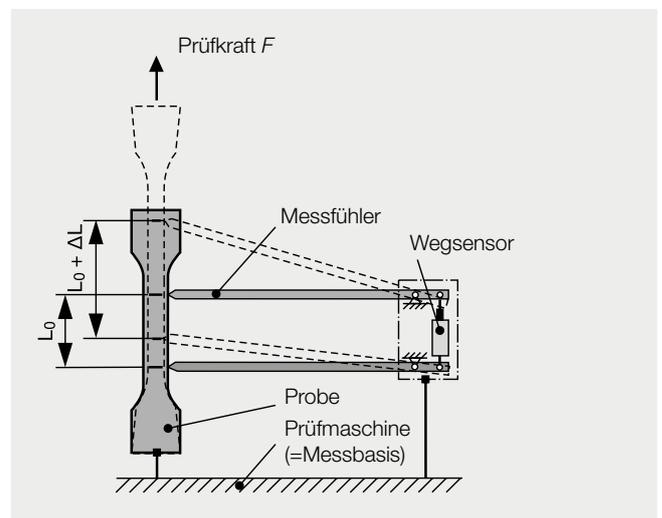


Bild 2: Messung durch Längenänderungsaufnehmern mit Messfühlern

Berührungslos messende Längenänderungsaufnehmer

Der entscheidende Vorteil berührungslos messender Längenänderungsaufnehmer liegt darin begründet, dass sie ohne Beschädigungsgefahr auch bei entsprechend kritischen Proben bis zum Bruch eingesetzt werden können.

videoXtens - Messen mit Messmarken

Der videoXtens benötigt Messmarken auf der Probe, die sich optisch von der Umgebung möglichst deutlich abgrenzen. Falls die Probenoberfläche keine Marken aufweist, werden Messmarken an die Probe angeklebt, aufgeklebt oder die Probe direkt mit Farbe markiert bzw. ein Farbmuster aufgesprüht.

Die Messmarken-Position wird aus den Helligkeitswerten einer bestimmten Fläche um die Messmarken durch Bestimmung der optischen Mitte ausgewertet. Spezielle Beleuchtungselemente für Fläche und Hintergrund der Probe optimieren den Kontrast zu den Messmarken.

Bei der Verformung der Probe können die Verschiebungen beziehungsweise Helligkeitsänderungen von Messmarken und Probe sowie Umgebungseinflüsse (Lichtreflexe usw.) die optische Mitte beeinflussen. Dies resultiert eventuell in einer größeren Streubandbreite der Messwerte im Vergleich zu berührenden Messsystemen.

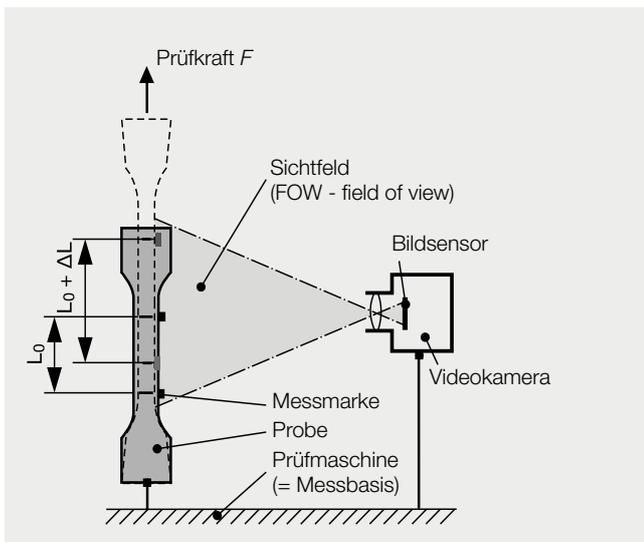


Bild 1: Messung mit Längenänderungsaufnehmern mit Videokamera

laserXtens - Messen ohne Messmarken

Der laserXtens ist ein Sonderfall unter den berührenden messenden Längenänderungsaufnehmern, da er keine Messmarken benötigt. Er nutzt die, wie ein Fingerabdruck einzigartige Struktur der Probenoberfläche zur Generierung virtueller Messmarken. Die auf diese Messstellen gerichtete Laserstrahlen werden entsprechend der Oberflächenstruktur in unterschiedliche Richtungen reflektiert und bilden so für die beobachtende Videokamera ein spezifisches Muster von Fleckchen (speckle). Durch laufende Messung und Auswertung werden ausgewählte Messpunkte verfolgt. Dabei wird die Änderung der Oberflächenstruktur - und damit des Speckle-Musters - während der Probenverformung berücksichtigt.

Der laserXtens vereinigt damit viele Vorteile in einem Gerät: hohe Auflösung und Genauigkeit, durch Berührungslosigkeit keine Beeinflussung der Messung, er arbeitet verschleißfrei und ist auch im erweiterten Temperaturbereich und im Hochtemperaturbereich einsetzbar.



Bild 2: Der laserXtens mit dem typischen Speckle-Muster

Zwick bietet ein breites Spektrum an Längenänderungsaufnehmern

Berührend messende Aufnehmer messen sehr genau und sind kostengünstig. Berührungslos messende Aufnehmer sind immer dann unverzichtbar, wenn die Probe kritisch auf Messschneiden reagiert oder beim Probenbruch berührend messende Aufnehmer beschädigen würde.

Einen universellen Aufnehmer, der die unterschiedlichsten, kundenspezifischen Anforderungen an die Messtechnik, die Handhabung des Aufnehmers im Alltag und das verfügbare Budget abdeckt, gibt es nicht. Das große Anwendungsspektrum erfordert verschiedene Aufnehmer mit unterschiedlichen Funktionen, Eigenschaften und Kosten-Nutzen-Aspekten. Für jede Anwendung muss deshalb der am besten geeignete Aufnehmer ausgewählt werden.

Durch unser breites Spektrum an Aufnehmern und eine fachkundige Beratung wird die passende Lösung für jeden Kunden gefunden. Ein gut ausgerüstetes Anwendungstechnisches Labor, das für Vorversuche an kundeneigenem Material genutzt werden kann, ist eine weitere große Hilfe im Entscheidungsprozess.

3 Direkte und indirekte Längenänderungsmessung

Verschiedene Werkstoffkennwerte setzen voraus, dass bei der Beanspruchung einer Probe im Zug-, Druck- oder Biegeversuch sowohl die Kraft wie auch die Verformung der Probe (Längenänderung, Dehnung, Druckverformung, Durchbiegung) gemessen werden.

Messtechnisch wird zwischen indirekter und direkter Längenänderungsmessung unterschieden.

Indirekte Längenänderungsmessung

Bei der indirekten Längenänderungsmessung wird zur Ermittlung der Längenänderung einer Probe die Abstandsänderung der Traversen gemessen. Dabei wird jede Verformung der im Kraftfluss der Maschine liegenden Einheiten in die Messung einbezogen. Die Summe dieser Verformungen muss gegenüber der zu messenden Längenänderung vernachlässigbar sein. Das heißt, dass sie kleiner als der zulässige Messfehler ist oder durch eine sogenannte Korrekturkurve teilweise eliminiert werden kann. Diese Korrekturkurve kann für eine spezifische Maschinenkonfiguration ermittelt und zur Korrektur der Längenänderungswerte benutzt werden, wenn die Eigenverformung des Prüfaufbaus hinreichend reproduzierbar ist.

Die Änderung des Traversenweges (und damit auch der Traversengeschwindigkeit) wird bei Material-Prüfmaschinen von Zwick mittels digitalem Traversenwegaufnehmer mit einer sehr hohen Auflösung aufgezeichnet, die bei allen Maschinentypen unter $0,2 \mu\text{m}$ liegt.

Die Längenänderungsmessung über den Traversenweg ist unter anderem für folgende Fälle geeignet:

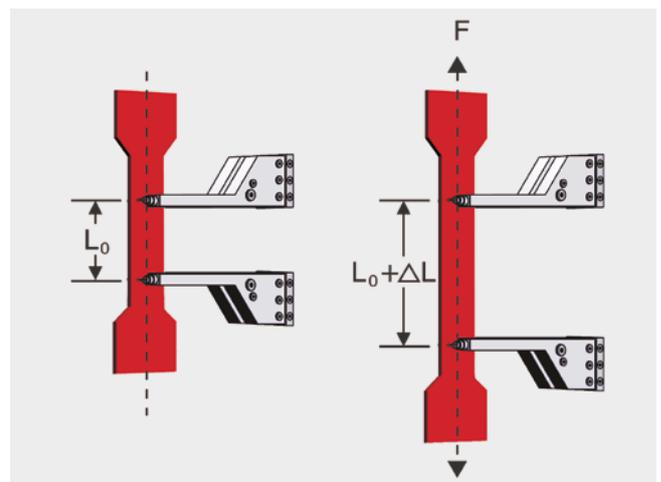
- Druckversuche, bei denen über eine Korrekturkurve Einflüsse aus dem Prüfaufbau kompensiert werden können
- Druckversuche an Proben mit hoher Verformung (z.B. > 30 bis 50 mm)
- Kennwerte mit großen Dehnungen (Bruchdehnung)
- Streifenproben und parallel klemmende Probenhalter, bei denen eine definierte Einspannlänge gewährleistet ist und die Probe nur geringes Fließverhalten aufzeigt
- Feste, nicht fließende Materialien

Direkte Längenänderungsmessung

Die Messung der Längenänderung direkt an der Probe schließt alle unerwünschten Nebeneffekte aus. Hierzu zählen die Verformungen des Lastrahmens (Spindeln, Säulen, Traversen), die Verformung des Kraftaufnehmers, der Probenhalter sowie das Fließen der Probe aus den Probenhaltern.

Zwick stellt Messsysteme für folgende Aufgaben zur Verfügung:

- Längenänderungsmessung (Verformungsmessung in Zugrichtung)
- Breitenänderungsmessung (Verformungsmessung quer zur Zugrichtung)
- Verformungsmessungen bei Druck- und Biegeprüfungen



Direkte Längenänderungsmessung

Eine direkte Längenänderungsmessung ist unbedingt erforderlich:

- wenn dies in der Prüfnorm angegeben ist;
- wenn das Ergebnis nicht durch die elastische Verformung der Maschinenkomponenten verfälscht werden soll;
- wenn das Probenverhalten im Einspannbereich das Ergebnis verfälschen könnte (vorallem bei weichen Materialien der Fall);
- wenn die Probenverformung außerhalb der Messlänge unberücksichtigt bleiben soll;
- wenn selbstklemmende Probenhalter verwendet werden, bei denen die Wegänderung der Klemmbacken nicht berücksichtigt werden soll.

4 Relevante Kennwerte

4.1 Längenänderungsmessung

Die Längenänderungsmessung während der Beanspruchung der Probe bis zum Bruch kann entsprechend den zu ermittelnden Kennwerten in verschiedene Bereiche unterteilt werden:

- Feindehnungsmessungen im elastischen Bereich und am Beginn des Bereichs mit bleibender Verformung
- Bestimmung von Dehngrenzen ab dem Beginn der bleibenden Verformung
- Bestimmung der Gleichmaß- und Bruchdehnung

Feindehnungsmessung

Diese dient bei Metallen in erster Linie zur Ermittlung des Elastizitätsmoduls und der technischen Elastizitätsgrenze (0,01 %-Dehngrenze) und bei Kunststoffen zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls. Der hierfür zu erfassende Dehnungsbereich liegt zwischen 0,05 % und 0,25 % (bei Folien auch bis zu 1 %).

Diese Kennwerte erfordern die Messung kleinster Längenänderungen mit entsprechend hoher Auflösung und enger Fehlergrenze. Gemäß ISO 9513 sind hierfür die Ansetzaufnehmer, die Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern (multiXtens, makroXtens) sowie der laserXtens und videoXtens geeignet (siehe Grafik).

Bestimmung von Dehngrenzen

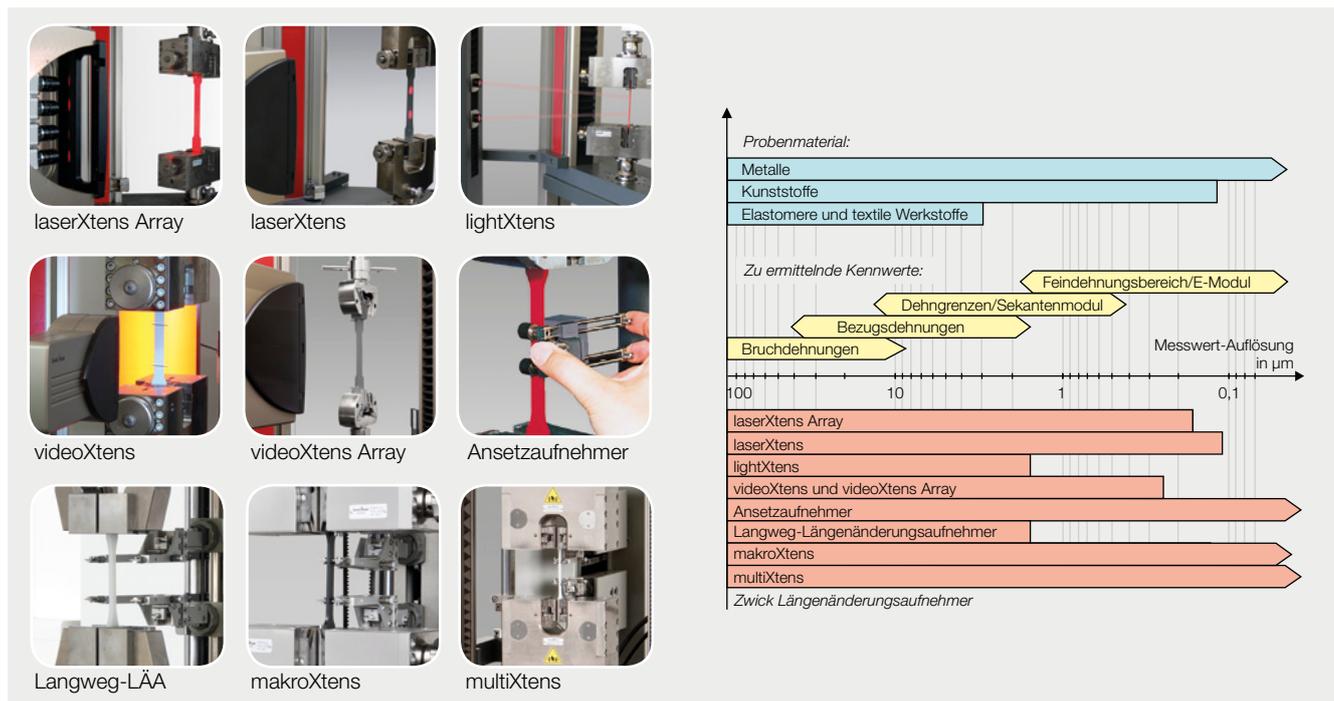
Wenn bei der Prüfung von Metallen oder Kunststoffen im Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Übergang vom elastischen zum plastischen Bereich stetig ist, dann werden zur Charakterisierung der Werkstoffe Dehngrenzen bestimmt.

Für die Ermittlung von Dehngrenzen können alle analogen und inkrementalen Ansetzaufnehmer, Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern oder auch berührungslose Messsysteme, wie lightXtens, videoXtens und laserXtens eingesetzt werden (siehe Grafik unten).

Gleichmaß- und Bruchdehnung

Die Gleichmaßdehnung ist die nichtproportionale Dehnung unter Beanspruchung bei Höchstkraft und wird an Metallen ermittelt. Mit direkter Längenänderungsmessung kann kontinuierlich vom elastischen Bereich bis zum Probenbruch geprüft werden.

Die Bruchdehnung ist die bleibende Längendehnung an der Probe nach dem Bruch bezogen auf die Anfangsmesslänge. Zur Ermittlung der Bruchdehnung muss der Aufnehmer für große Messwege ausgelegt und für Prüfungen bis zum Bruch geeignet sein. Hierfür bieten sich vor allem Fühleraufnehmer mit kippbaren Messschneiden oder berührungslose Messsysteme an. Ansetzaufnehmer sind für die Ermittlung der Bruchdehnung nur bedingt geeignet.



Anwendungsbereich der Zwick Längenänderungsaufnehmer in Abhängigkeit der Messwert-Auflösung

4.2 Breitenänderungsmessung

Poissonzahl (μ)

Die Poissonzahl μ ist ein Maß für das Verformungsverhalten in Längs- und Querrichtung im Zugversuch. Sie wird bevorzugt bei langfaserverstärkten Kunststoffen ermittelt. Zur Messung der Poissonzahl müssen zwei Dehnungsmesssysteme eingesetzt werden, die gleichzeitig in beide Richtungen wirken.

Als Lösung bietet Zwick hier den analogen und inkrementalen Breitenänderungsaufnehmer, sowie ein berührungsloses Breitenänderungs-Messsystem auf Videobasis (videoXtens Breitenänderungsaufnehmer). Die Breitenänderungsaufnehmer werden in Verbindung mit einem Fühleraufnehmer (multiXtens, makroXtens) eingesetzt.

Senkrechte Anisotropie (r-Wert)

Die senkrechte Anisotropie charakterisiert die Kaltumformbarkeit von Feinblechen bezüglich des Werkstoffverhaltens beim Tiefziehen. Der r-Wert kennzeichnet den Widerstand eines Blechwerkstoffes gegen Blechdickenverminderung bei einachsiger Zugbeanspruchung. Für die Ermittlung der Werte muss an einer Schulterprobe die Breitenänderung gemessen werden.

Für diese Breitenänderungsmessung eignet sich ein analoger oder inkrementaler Breitenänderungsaufnehmer in Verbindung mit dem makroXtens.

Alternativ bietet sich der videoXtens Breitenänderungsaufnehmer an, unser berührungsloses Breitenänderungs-Messsystem auf Videobasis.

Speziell für diese Prüfung vorgesehen ist der biaxiale inkrementale Ansetzaufnehmer, der für die Längen- und Breitenänderungsmessung konzipiert wurde.

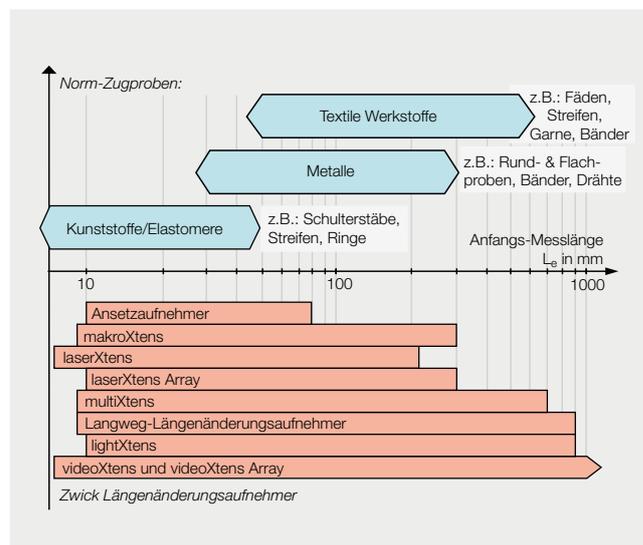
5 Auswahlkriterien

Prinzipiell muss entschieden werden, ob eine direkte Längenänderungsmessung erforderlich ist oder eine indirekte Messung der Längenänderung über den Traversenweg ausreichend ist.

Wenn nun aus diesen Überlegungen heraus die Wahl auf eine direkte Längenänderungsmessung fällt, muss die Auswahl eines Längenänderungsaufnehmers mit der erforderlichen technischen Beschaffenheit getroffen werden. In Abhängigkeit des zu prüfenden Werkstoffes und den zu ermittelnden Prüfergebnissen sind im Folgenden einige Kriterien aufgelistet, die für die richtige Auswahl beachtet werden müssen.

Anfangs-Messlänge L_0

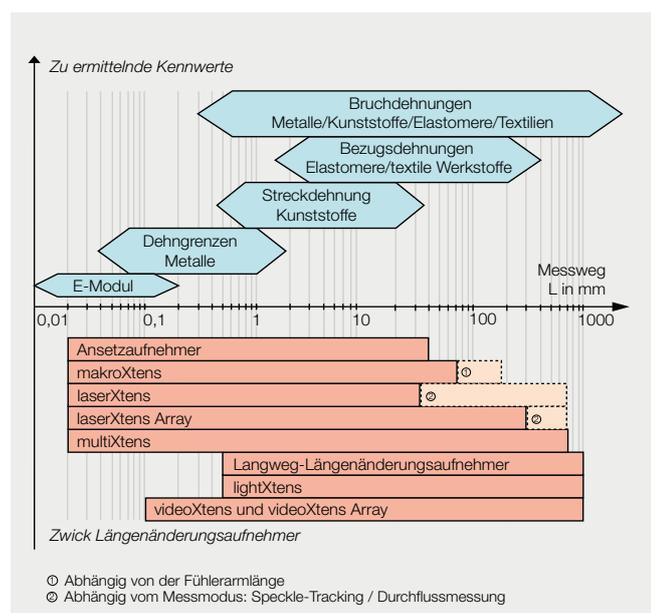
Entsprechend der Probenform und -abmessung sind verschiedene Anfangs-Messlängen L_0 in den Prüfnormen vorgeschrieben. Meist ist die L_0 bei großen Dehnungen relativ klein und bei kleinen Dehnungen relativ groß. Im Metallbereich hängt die Anfangsmesslänge L_0 bei proportionalen Proben direkt vom Probenquerschnitt ab.



Anwendungsbereich der Zwick Längenänderungsaufnehmer in Abhängigkeit der Anfangs-Messlänge L_0

Messweg

Der Messweg des Längenänderungsaufnehmers muss für die zu prüfende Probe ausreichend sein. Ist die Dehnung der Probe nicht bekannt, kann sie für verschiedene Materialien und Kennwerte abgeschätzt werden (siehe Grafik unten).



Anwendungsbereich der Zwick Längenänderungsaufnehmer in Abhängigkeit der Messwege

Beanspruchungsart

Beim Messbereich spielt auch die Beanspruchungsart eine Rolle. Für Druck- oder Wechsellastversuche liegen andere Anforderungen vor, als für Zugversuche. Beispielsweise dürfen für Wechsellastversuche die Längenänderungsaufnehmer kein Spiel aufweisen.

Auflösung, Genauigkeit

Außerdem müssen die in den einzelnen Prüfnormen angegebenen Auflösungen und Genauigkeiten berücksichtigt werden.

Bruch der Probe

Beim Bruch der Probe darf der Aufnehmer durch hohe elastische Rückverformung und damit auftretende hohe Beschleunigungskräfte nicht beschädigt werden.

Dieses Risiko besteht bei peitschenden Proben, wie zum Beispiel bei Elastomeren, Gummi, Seilen oder gewebten Bändern. In solchen Fällen bieten sich berührungslos messende Messsysteme an.

Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern werden bei Zwick mit kippbaren Messschneiden und Messfühlern ausgestattet. Bei einem Bruch der Probe kippen sie zur Seite ab und verhindern so die Beschädigung der Aufnehmer.

Kerb- und Biegeempfindlichkeit

Die Wahl des Längenänderungsaufnehmers hängt auch von der Kerb- und Biegeempfindlichkeit des Probenmaterials ab. Bei Ansetzaufnehmern, die direkt an der Probe angebracht werden, beeinflussen Gewicht beziehungsweise eine eventuelle Gewichtsentlastung, die Bauweise des Ansetzaufnehmers (Belastung der Probe durch ein Drehmoment) und die Art und Weise des Ansetzens die Prüfung. Beispielsweise könnte die Anbringung von optionalen Gegenrollen bei dünnen Probenquerschnitten eine Verfälschung der Messergebnisse hervorrufen.

Mitnahmekräfte

Bei Längenänderungsaufnehmern mit Messfühlern und Ansetzaufnehmern müssen die Mitnahmekräfte möglichst gering sein, um eine Beeinflussung der Probe auszuschließen. Bei den Längenänderungsaufnehmern von Zwick ist dies gewährleistet.

Randfaserdehnung

Das Material und die Probenform geben Auskunft darüber, ob unterschiedliche Randfaserdehnungen auftreten können, die durch eine Mittelung bei der Dehnungsmessung berücksichtigt werden müssen. Unterschiedliche Randfaserdehnungen resultieren zum Beispiel aus einer Belastung der Probe durch Biegespannungen (bei einseitigen Ansetzaufnehmern mit nur einer Gegenrolle oder mit langen Hebeln) oder aus einer nicht genau axialen Einspannung der Probe.

Prüfung in Temperierkammern

Bei der Verformungsmessung in Temperierkammern sind Längenänderungsaufnehmer mit verlängerten Messfühlern oder berührungslose Längenänderungsaufnehmer einzusetzen.

6 Überblick über die Zwick Längenänderungs-Messsysteme

Die Auswahl des geeigneten Längenänderungsaufnehmers hängt vom zu prüfenden Werkstoff, den zu ermittelnden Prüfergebnissen und der entsprechenden Norm ab (Kriterien mit Abhängigkeiten siehe nachfolgende Tabelle).

Prüfergebnisse	Norm	Berührende Messsysteme							Berührungslose Messsysteme			
		multiXtens	makroXtens	Langweg-Längenänderungsaufnehmer	Inkrementaler Ansetzaufnehmer	Biaxialer inkrem. Ansetzaufn. (Länge & Breite)	Analoge Ansetzaufnehmer	Aufnehmer 3-Punkt-Biegevorrichtung	videoXtens ¹⁾ , videoXtens Array ¹⁾	laserXtens / HP, laserXtens Compact / HP	laserXtens Array	lightXtens
Kunststoffe und Elastomere												
Poissonzahl	ISO 527	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	-	-	-	-	-	●	-	-	-
Zugmodul	ISO 527	●	●	-	●	-	●	-	●	-	-	-
Druckmodul	ISO 604	●	●	-	●	-	●	●	●	-	-	-
Biegemodul	ISO 178	●	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-
Zug-Kriechmodul	ISO 899-1	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	-
Biege-Kriechmodul	ISO 899-2	●	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-
3,5 % Biegespannung	ISO 178	●	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-
Biege-Bruchdehnung	ISO 178	●	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-
Streckdehnung	ISO 527	●	●	●	○	-	-	-	●	●	●	●
Spannung bei x % Dehnung	ISO 527	●	●	●	○	-	○	-	●	○	●	●
Bezugswerte	ISO 37, DIN 53504	●	-	●	-	-	-	-	●	○	●	●
Dehnung bei Zugfestigkeit	ISO 527	●	○	●	○	-	○	-	○	○	○	●
Dehnung bei Zugfest., Streifen	ISO 37, DIN 53504	●	-	●	-	-	-	-	○	○	○	●
Reißdehnung	ISO 527	●	○	●	○	-	-	-	○	○	○	●
Reißdehnung, Streifen	ISO 37, DIN 53504	●	-	-	-	-	-	-	○	○	○	●
Reißdehnung, Streifen	ISO 527-3	●	○	●	-	-	-	-	○	○	○	●
Metalle												
r-Wert	ISO 10113, ASTM E 517	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	-	-	●	-	-	●	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	-
n-Werte	ISO 10275, ASTM E 646	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	-
E-Modul/Hooksche Gerade	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	●	-	●	●	●	(●)
Druckmodul	DIN 50106	(●)	(●)	-	●	-	●	-	●	-	●	-
Biegemodul	ISO 7438	●	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-
Hysterese (E-Modul)	ISO 6892-1	●	●	-	●	●	-	-	●	-	●	●
Bruchdehnung	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	-	●	-	-	●	○	●	●
Streckgrenzdehnung	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	○	-	●	●	●	(●)
Spannung bei x %-Dehnung	ISO 6892-1	●	●	-	●	●	○	-	●	○	●	(●)
Dehnung bei Zugfestigkeit	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	○	-	●	●	●	(●)
Dehngrenze x	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	○	-	●	●	●	(●)
Dehngrenze bei ges. Dehnung	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	○	-	●	○	●	(●)
Gleichmaßdehnung	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	●	-	-	●	●	●	(●)
Dehngeschwindigkeitsregelung	ISO 6892-1, ASTM E8	●	●	-	●	-	●	-	-	●	-	-

● = Geeignetes System

(●) = Einsetzbar bei ausreichend großer Anfangsmesslänge L₀
○ = Einsetzbar, wenn die Probendehnung den Messbereich des Aufnehmers nicht überschreitet

¹⁾ = Auswahl des passenden Sichtfelds durch verschiedene Objektive

²⁾ = In Verbindung mit geeignetem Breitenänderungsaufnehmer

Diese Tabelle zeigt den Zwick Lösungsraum bei den ermittelnden Messergebnissen gemäß den Prüfnormen

7 Berührende Messsysteme

7.1 Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern

Diese Aufnehmer werden bei Zug-, Druck-, Biege- oder Wechsellastversuchen eingesetzt. Die Messlänge kann entsprechend der zu prüfenden Probe stufenlos eingestellt werden.

Die Längenänderungsaufnehmer mit Messfühlern von Zwick arbeiten mit inkrementalen Messsystemen. Die Übertragung der Längenänderung zum Messsystem erfolgt über spielfrei kippbar gelagerte Messschneiden an den Messfühlern. Die Fühlerklemmkräfte sind sehr klein und stufenlos einstellbar, so dass die Probe nicht beschädigt wird und ein einwandfreier Sitz der Messschneiden gewährleistet ist.

Auswechselbare Messfühler

Mit leicht auswechselbaren Messfühlern können diese Aufnehmer an die Versuchsart, den zu prüfenden Werkstoff und die Probenform angepasst werden. Einfach und schnell per Steckverbindung werden Messfühler für Zug-, Druck-, Biegeversuche oder für den Einsatz in Temperierkammern angebracht. Wechsel- und Rüstzeiten werden dadurch minimiert.

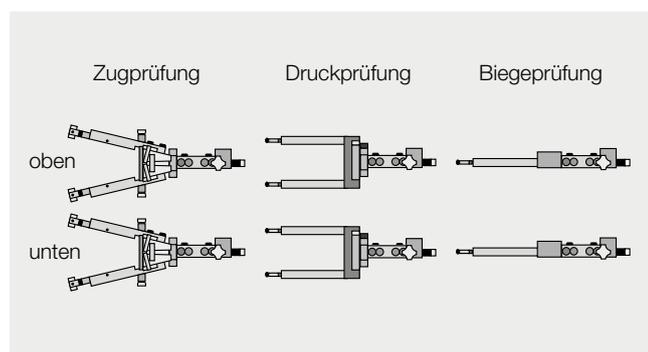


Bild 1: Durch verschiedene Ausführungen der Messfühler ergibt sich ein weites Anwendungsspektrum

Auswechselbare Messschneiden

Die Messschneiden sind ebenfalls leicht auswechselbar. Sie bestehen aus einer flachen und einer konvexen Schneide. Die Messschneiden können einfach gedreht werden, so dass je nach Probe (Flach- oder Rundprobe) immer ein punktförmiger Kontakt zwischen Probe und Messschneiden besteht, wodurch sehr exakte Messungen ermöglicht werden.

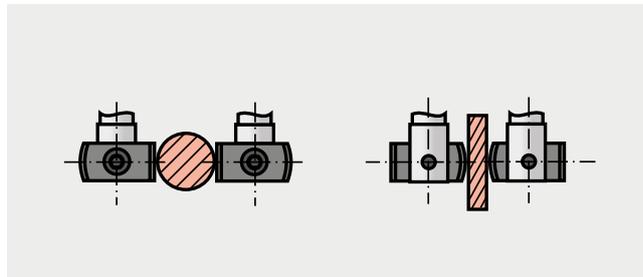


Bild 2: Rundproben mit geraden und Flachproben mit konvexen Messschneiden

Für kerbempfindliche Materialien stehen Messschneiden mit Vulkollanbelag und für extrem glatte Proben Messschneiden mit Korundbelag zur Verfügung.

Prüfung bis Probenbruch

Die um 180° kippbaren Messschneiden übertragen beim Bruch der Probe nur sehr geringe Kräfte auf die Messfühler, wodurch eine Beschädigung des Messfühlers und des Längenänderungsaufnehmers bei Probenbruch zuverlässig verhindert wird.

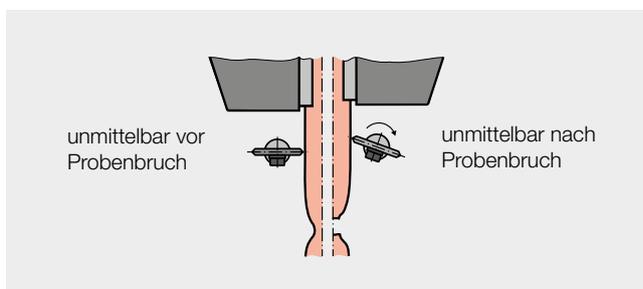


Bild 3: Funktionsprinzip der kippbar gelagerten Messschneiden

Einsatz in Temperierkammern

Der Einsatz in Temperierkammern ist durch Verwendung verlängerter Messfühler möglich. Diese werden durch den seitlichen Schlitz in der Temperierkammer geführt. Funktionalität und leichte Bedienbarkeit des Längenänderungsaufnehmers bleiben dabei voll erhalten.

Hoher Automatisierungsgrad

Je nach Aufnehmerart kann die Längenänderungsmessung in einem hohen Grad automatisiert werden. Dies beinhaltet sowohl die automatische Einstellung der Anfangsmesslänge, auch bei querschnittsbezogener Messlänge, sowie das Ansetzen und Abheben der Messfühler. Dadurch wird eine höhere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit sowie eine Verkürzung der Prüfzeiten erzielt.

multiXtens®

Anwendungsbereich

Der multiXtens ist ein universell einsetzbarer, hochgenauer Längenänderungsaufnehmer. Ideal geeignet für Zug-, Druck-, Biege- und zyklische Prüfungen an Kunststoffen, Elastomeren, Metallen, Composites, Hartschäumen und vielen weiteren Werkstoffen.

Durch die sehr hohe Messgenauigkeit, verbunden mit dem äußerst großen Messbereich, ist der multiXtens ideal geeignet für wechselnde Anforderungen (z.B. Kunststoff- und Elastomerprüfung oder Kunststoff- und Metallprüfung).

Systembeschreibung

Dieses universale Längenänderungs-Messsystem ist durch seinen konsequent modularen Aufbau für unterschiedlichste Prüfaufgaben einsetzbar. Es besteht aus einem Führungssystem mit integrierten, aber voneinander unabhängig verfahrbaren Messschlitten. Daran angebaut sind die leicht auswechselbaren Messköpfe und Messfühler. Alle Komponenten werden automatisch identifiziert.



Bild 1: Der universale Längenänderungsaufnehmer multiXtens



Bild 2: Die Messköpfe sind auf den Messschlitten angebracht. An ihnen werden die leicht auswechselbaren Messfühler befestigt

Vorteile / Merkmale

- Einsetzbar bis zum Probenbruch, auch bei hohen Kräften und sprödem Probenmaterial
- Höchste Präzision auch bei großen Messwegen (bis 700 mm)
- Genauigkeitsklasse 0,5 nach ISO 9513
- Maximaler Fehler $\pm 1 \mu\text{m}$ in der Differenzweg-Messung zwischen zwei Messpunkten im Bereich $20 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$. Damit wird die Zusatz-Forderung der ISO 527-1 (2011) voll erfüllt
- Der multiXtens ist bereits ab $20 \mu\text{m}$ Messweg in Klasse 0,5 kalibriert
- Durch die geringe Mitnahmekraft und die freie Einstellbarkeit des Anpressdrucks der Fühler können auch empfindliche Proben sicher und nachvollziehbar geprüft werden
- Druck- und Biegeprüfungen sind durch einfaches Wechseln der Messfühler durchführbar
- Vollautomatisches System:
 - Messung des Freiraumes zwischen den Probenhaltern
 - Mittenzentrierung der multiXtens-Messschlitten
 - Automatisches Ansetzen und Abheben der Fühler
 - Automatische Messlängen-Einstellung

Optionen

- Mechanische- und Video-Breitenänderungsaufnehmer (z.B. zur Ermittlung des r-Werts oder der Poissonzahl)
- Feindehnungsaufnehmer
- Präzisions-Schwenkeinrichtung

makroXtens®

Anwendungsbereich

Der makroXtens ist ein universell einsetzbarer hochgenauer Längenänderungsaufnehmer. Ideal geeignet für Zug-, Druck-, Biege- und zyklische Prüfungen an Metallen, Kunststoffen, Composites und vielen weiteren Werkstoffen.

Systembeschreibung

Dieser vielseitig einsetzbare Aufnehmer ist ebenfalls durch einen modularen Aufbau gekennzeichnet. Somit kann zum Beispiel der manuell bedienbare Längenänderungsaufnehmer zu einem automatisch ansetzenden Längenänderungsaufnehmer erweitert werden.

Ausführung

Der makroXtens ist als P- und HP-Variante in jeweils 3 verschiedenen Messlängenbereichen erhältlich. Die HP-Variante unterscheidet sich durch höhere Auflösungen, die intelligente Mitnahmevorrichtung und die Freigabe für „closed Loop“ Dehngeschwindigkeitsregelung nach ISO 6892-1, Verfahren A(1) sowie ASTM E 8-09, Verfahren B.



Bild 1: makroXtens

Optionale Breitenänderungsaufnehmer

Die optionalen Breitenänderungsaufnehmer sind für Zugversuche an Metallen konzipiert. Sie werden an den makroXtens angebaut und sind wahlweise manuell oder automatisch über die Prüfsoftware *testXpert*® II bedienbar. Gemessen werden kann die Breitenänderung in ein, zwei oder vier Querschnittsebenen.

Als Alleinstellungsmerkmal bietet Zwick den videoXtens Breitenänderungsaufnehmer, der berührungslos und hochauflösend die Breitenänderung misst – dadurch ergibt sich ein ideales System aus taktiler und optischer Dehnungsmessung.

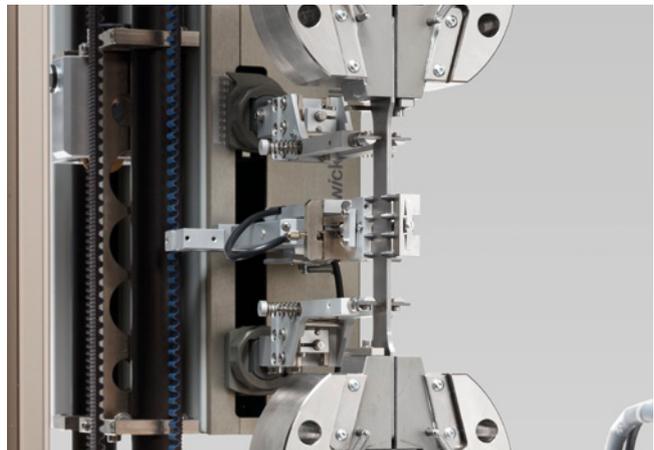


Bild 2: makroXtens in Kombination mit einem Breitenänderungsaufnehmer (mit 4 Messschlitten)

Vorteile / Merkmale

- Standardaufnehmer in der Metall-, Kunststoff- und Automobilbranche mit einer installierten Basis von über 2500 Systemen
- Robustes Messsystem, auch geeignet für den Einsatz in automatisierten Prüfsystemen
- Einsetzbar bis zum Probenbruch, auch bei hohen Kräften und sprödem Probenmaterial
- Genauigkeitsklasse 0,5 nach ISO 9513
- Maximaler Fehler $\pm 1 \mu\text{m}$ in der Differenzweg-Messung zwischen zwei Messpunkten im Bereich $20 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$. Damit wird die Zusatz-Forderung der ISO 527-1 (2011) voll erfüllt
- Der makroXtens ist bereits ab $20 \mu\text{m}$ Messweg in Klasse 0,5 kalibriert
- Druck- und Biegeprüfungen sind durch einfaches Wechseln der Messfühler durchführbar
- Das Messsystem wird automatisch in der optimalen Position zwischen den Probenhaltern mitgeführt. Der maximale Messweg steht stets zur Verfügung

Langweg-Längenänderungsaufnehmer

Anwendungsbereich

Der Langweg-Längenänderungsaufnehmer ist für die Prüfung an hochdehnbaren Kunststoffen, Elastomeren, Folien, Textilien, Leder und ähnlich dehnbaren Werkstoffen konzipiert. Vor allem wird er zur direkten Längenänderungsmessung bei Proben mit mittleren und großen Dehnungen im Zug- und Hystereseversuch eingesetzt. Auch in Temperierkammern mit Hilfe verlängerter Messfühler findet er Anwendung.

Systembeschreibung

Eine Lagerung der Messschlitten mit sehr weitem Lagerabstand und die kippbaren Messschneiden machen das Messsystem unempfindlich gegenüber Schlagbeanspruchung, wie sie beispielsweise beim Bruch einiger Elastomerarten auftreten kann. Die Führung der Messschlitten an zwei Präzisionsführungssäulen, mit Hilfe besonders leichtgängiger Führungselemente, sorgt für eine kraftarme Übertragung der Längenänderung, wodurch Übertragungsfehler minimiert werden. Durch Gegengewichte wird die Masse der Messschlitten ausgeglichen.



Bild 1: Langweg-Längenänderungsaufnehmer

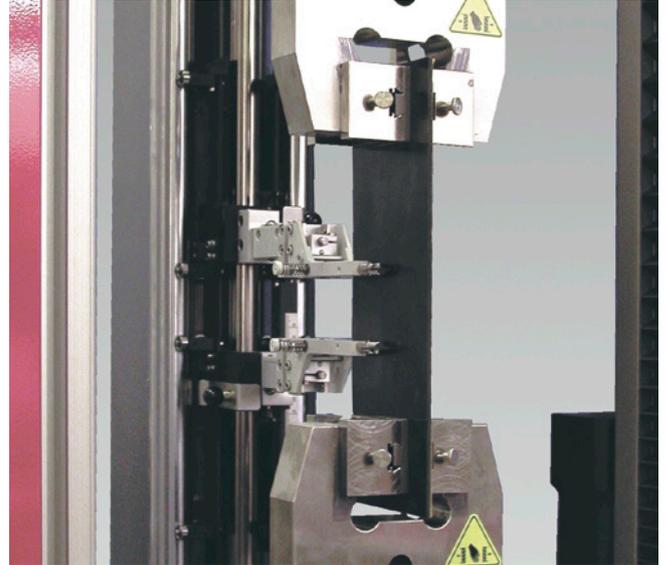


Bild 2: Kippbare Messschneiden verhindern eine Beschädigung bei Probenbruch

Vorteile / Merkmale

- Einsetzbar bis zum Probenbruch, auch bei hohen Kräften und sprödem Probenmaterial
- Die Auflösung ist über den gesamten Messbereich hoch
- Verfügbarkeit eines sehr großen Messweges
- Synchrone Kraft-Weg-Erfassung
- Die Mitnahmekräfte sind sehr gering
- Der Langweg-Längenänderungsaufnehmer kann mit analogen und inkrementalen Ansetzaufnehmern kombiniert werden
- Die Steuerung des Aufnehmers erfolgt automatisch über das Prüfprogramm. Bei Prüfbeginn werden die Messfühler elektromotorisch angelegt und bei Prüfende abgehoben. Über die Traversenbewegung wird die Anfangsmesslänge wieder eingestellt

7.2 Ansetzaufnehmer

Inkrementale Ansetzaufnehmer

Anwendungsbereich

Die Zwick-Ansetzaufnehmer sind für die Prüfung von Kunststoffen und Metallen konzipiert:

- E-Modulbestimmung und Dehnungsmessung an Kunststoffen nach ISO 527-1
- Dehnungsmessung an Metallen, Composites und vielen weiteren Werkstoffen
- Bestimmung der Druckfestigkeit von Kunststoffen und des Druck-E-Moduls bei Metallen

Systembeschreibung

Kern des Systems bildet ein miniaturisierter, inkrementaler Maßstab, der über die gesamte Messlänge eine gleichbleibend hohe Genauigkeit liefert. Das leichtgewichtige Messsystem sitzt sehr nah an der Probe. Damit wird die Belastung der Probe minimiert.

Vorteile / Merkmale

Die inkrementalen Ansetzaufnehmer von Zwick sind in ihrer Ausführung und Funktionalität einzigartig. Das von Zwick patentierte Design bringt folgende Vorteile:

- Sehr robuster Aufnehmer. Bei Kunststoffen und Composites kann der Aufnehmer bis zum Probenbruch angesetzt bleiben. Bei Metallen ist dies abhängig von der freiwerdenden Energie beim Probenbruch
- Genauigkeitsklasse 0,5 nach ISO 9513
- Maximaler Fehler $\pm 1\mu\text{m}$ in der Differenzweg-Messung zwischen zwei Messpunkten im Bereich $20\mu\text{m}$ bis $200\mu\text{m}$. Damit wird die Zusatz-Forderung der ISO 527-1 (2011) voll erfüllt
- Der Aufnehmer ist bereits ab $20\mu\text{m}$ Messweg in Klasse 0,5 kalibriert
- Durch kurze Hebel werden mechanische Übertragungsfehler minimiert, und die Reproduzierbarkeit erhöht
- Das geringe Gewicht und die kompakte Bauweise minimieren die Einflüsse auf die Probe
- Beim Ansetzen wird die Anfangsmesslänge automatisch verriegelt und beim Loslassen entriegelt

Ausführungen / Modelle

Zwick bietet drei verschiedene Ausführungen:

- Längenänderungsmessung: Zwei Ausführungen mit unterschiedlichen Messwegbereichen stehen zur Auswahl. Bei beiden Ausführungen sind die Anfangsmesslängen verstellbar sowie Verlängerungsstücke für größere Messlängen erhältlich.



Bild 1: Einfache, schnelle und sichere Handhabung

- Breitenänderungsmessung: Der inkrementale Ansetzaufnehmer misst die Breitenänderung mit einer Messlinie.
- Biaxiale Messung: Biaxialer Ansetzaufnehmer von Zwick zur Ermittlung der Längen- und Breitenänderung.

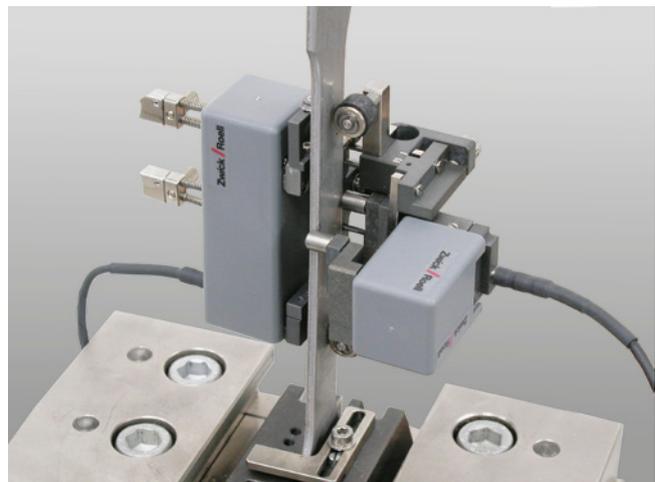


Bild 2: Biaxialer inkrementaler Ansetzaufnehmer

Analoge Ansetzaufnehmer

Anwendungsbereich

Diese Aufnehmer werden direkt an die Proben angeklemt (angesetzt) und sind für die Längenänderungsmessung an Metallen und Kunststoffen konzipiert. Ihr Anwendungsbereich umfasst die Feindehnungs- und Dehngrenzenmessung sowie die E-Modul-Ermittlung.

Die Ansetzaufnehmer sind in manueller oder automatisch ansetzbarer Variante erhältlich. Zwick bietet analoge Ansetzaufnehmer mit induktivem oder DMS (Dehnmessstreifen)-Messsystem.

Induktive (analoge) Ansetzaufnehmer

Bei dem induktiven Wegmessprinzip werden ein Kern und eine Spule mit definiertem Querschnitt relativ zueinander bewegt. Dadurch ergibt sich eine Änderung der Induktivität. Diese Änderung der Induktivität ist folglich ein Maß für die Längenänderung an der Probe.

Die Längenänderung der Probe wird durch die Schneidenpaare, die an zwei Seiten der Probe angesetzt sind, auf je ein induktives Messsystem im Längenänderungsaufnehmer übertragen.

Vorteile / Merkmale

- Sehr hohe Messgenauigkeit
- Die auftretenden Messhebel sind sehr klein, da das Messsystem sehr nahe an dem Probenkörper angeordnet ist. Dadurch wird die Messgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit erhöht
- Sie besitzen zwei Messsysteme zur Mittelung unterschiedlicher Randfaserdehnungen
- Optional können die beiden Messsysteme über einen weiteren Sensorstecker separat ausgewertet werden

DMS-Ansetzaufnehmer

Ein Dehnmessstreifen (DMS) ist ein elektrischer Widerstand, dessen Widerstandsbahn mäanderförmig quer zur Dehnungs-Messrichtung auf eine Isolier-Folie aufgebracht ist. Wird der DMS in Messrichtung gedehnt, so nimmt sein elektrischer Widerstand zu. Die Längenänderung der Probe wird über die Messfühler an mechanische Teile übertragen, die mit DMS bestückt sind. Dabei werden die DMS-bestückten Teile definiert verformt.

DMS-Ansetzaufnehmer sind für die Längen- und Breitenänderungsmessung verfügbar, es gibt ein- oder beidseitige Ausführungen der Systeme. Die Ansetzaufnehmer sind jeweils auch in temperaturbeständigen Varianten für den Einsatz in Temperierkammern erhältlich.

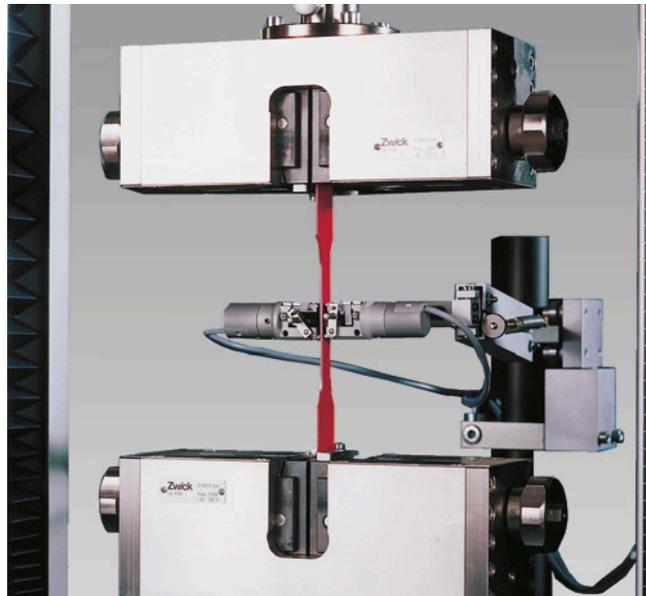


Bild 1: Analoges Ansetzaufnehmer mit optionaler Gewichtsentlastung

Vorteile / Merkmale

- Die Messsysteme weisen eine sehr gute Linearität auf und liefern daher zuverlässige Messergebnisse
- Die Messlängen sind von 10 bis 100 mm einstellbar und dadurch variabel einsetzbar für unterschiedliche Probenstärken
- Aufgrund der miniaturisierten, leichten Bauweise sind sie auch für Proben mit kleiner Länge gut handhabbar
- Die Breitenänderungsaufnehmer sind für den Einsatz in Verbindung mit den Fühleraufnehmern oder auch ohne Längenänderungsaufnehmer konzipiert. Sie sind speziell für die Prüfung an Metallen ausgelegt, aber genauso ist die Bestimmung der Poissonschen Zahl an faserverstärkten Verbundwerkstoffen nach ISO 527-1 möglich



Bild 2: DMS-Ansetzaufnehmer

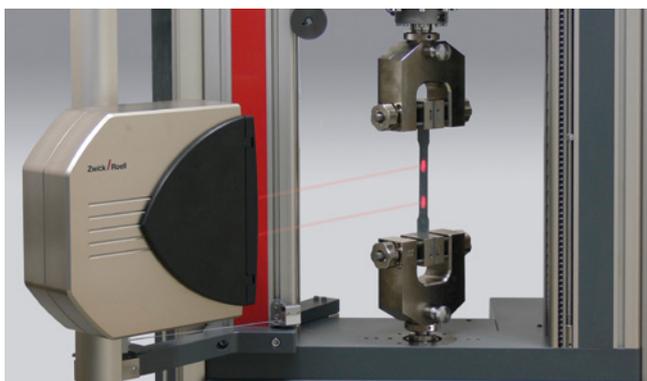
8 Berührungslose Messsysteme

Je nach Material und Umgebungsbedingungen ist das Formveränderungsverhalten von festen Körpern bei Zugbeanspruchung in weiten Grenzen unterschiedlich. Bruchdehnungen von einigen wenigen Prozenten bei Metallen bis hin zu einigen 100 Prozenten bei Kunststoffen und Elastomeren müssen sicher und genau erfasst werden.

An hochelastischen, biegeweichen Proben, wie z.B. an Draht oder Kunststoffseilen, ist die berührende Längenänderungsmessung bis zum Bruch problematisch. Durch die elastische Rückverformung werden die bruchseitigen Enden der Probenteile hoch beschleunigt und drücken beim Abbremsen auf die probenhalter-nahen Probenteile. Die Probenteile knicken aus und ihre bruchseitigen Enden können dabei die Messfühler umschlingen, mitreißen und beschädigen. Für sichere und genaue Messungen bei der Prüfung hochdehnbarer, hochelastischer und berührungsempfindlicher Materialien sind daher berührungslose Messsysteme empfehlenswert.

Berührungslose Messsysteme messen die Verformungen sowohl bei Normalklima, als auch unter veränderten Temperaturbedingungen in Temperierkammern berührungslos und exakt. Wenn sich Proben nach dem Bruch mit hohem mechanischen Impuls peitschenartig zurückverformen oder beim Bruch aufspließen, wie z.B. Seile aus Draht und Hanf oder faserverstärkte Kunststoffe und Elastomere, bieten berührungslose Messsysteme eine hohe Betriebssicherheit.

Als spezielle Entwicklung ragt der laserXtens aus der Reihe der berührungslosen Längenänderungsaufnehmer. Da er ohne den Einsatz von Messmarken arbeitet, übt er absolut keinen Einfluss auf die Probe aus.



Eine Technologie, die von Zwick perfektioniert wurde: Berührungsloser Aufnehmer nach dem Speckle Prinzip

Vorteile der berührungslosen Messsysteme

- Das Verhalten der Probe unterliegt keiner Beeinflussung durch Schneiden und Mitnahmekräfte. Da kein Krafteinfluss auf die Probe erfolgt, wird die Probe nicht beschädigt und eine Verfälschung der Messergebnisse ist ausgeschlossen
- Die Systeme weisen eine sehr hohe Lebensdauer auf
- Berührungslose Längenänderungsaufnehmer eignen sich ideal für „peitschende“ Proben (Elastomere, Drähte, Seile), sowie für sehr kerb- und bruchempfindliche Proben
- Erforderliche Genauigkeitsklassen 0,5 und 1 verfügbar
- Freie Wahl der Messlänge durch Aufbringen von Messmarken in entsprechendem Abstand bzw. frei einstellbar bei Nutzung eines natürlichen (z.B. Rippen eines Betonstahles) oder künstlichen Musters (Sprühmuster, Laser Speckle Muster)
- Keine Wärmebrücke bei Verwendung von Temperierkammern, da die Messung durch eine beheizbare Glasscheibe erfolgt
- Biaxiale optische Messung ist möglich

Zusätzliche Information durch berührungslose Messsysteme

Dehnungsverteilung

Die Option Dehnungsverteilung dient der Bestimmung von lokalen Dehnungen, die als Kanäle in *testXpert*® II verfügbar sind. Mit ihr ist die automatische Erkennung und Auswertung von bis zu 16 Messmarken möglich. Ferner kann durch diese Option eine Symmetrierung der Anfangsmesslänge um die Einschnürung automatisch in Echtzeit erfolgen (nach Anhang H, ISO 6892-1)

Test Re-Run

Das optionale Test Re-Run-Modul ermöglicht, anhand einer während eines Versuches aufgezeichneten Bilderserie die nachträgliche Neukalkulation der Dehnung unter Verwendung einer anderen Ausgangsmesslänge (sofern mehrere Markierungen vorhanden sind). Dies kann von besonderem Vorteil sein, wenn z. B. in der Bauteilprüfung lokale Dehnungen an unterschiedlichen Stellen ausgewertet werden müssen oder wenn im Standard-Zugversuch die Einschnürung der Probe außerhalb der ursprünglichen Ausgangsmesslänge eingetreten ist. Wurde der Versuch mit *testXpert*® II aufgezeichnet, so kann die neu kalkulierte Dehnung selbstverständlich mit den anderen Messwerten im Nachhinein synchronisiert werden. Diese Option ist ab *testXpert*® II Version 3.4 verfügbar.

8.1 videoXtens®

Anwendungsbereich

Der videoXtens misst berührungslos und hochauflösend Zug- und Druckverformungen an allen Arten von Kunststoffen, Metallen, Gummi, Verbundwerkstoffen und Folien. Er ist außerdem geeignet zur Ermittlung der Breitenänderung, des r -Wertes gemäß ISO 10113, ISO 10275 und der Dehngrenzen im Zugversuch gemäß ISO 6892-1.

Systembeschreibung

Das durch eine Vollbildkamera digitalisierte Bild der Messprobe wird in Echtzeit verarbeitet. Dabei werden die Messmarken automatisch erkannt und die Verschiebung der Marken von Bild zu Bild in eine Längenänderung umgerechnet und an die Mess-, Steuer- und Regelelektronik übertragen.

Vorteile / Merkmale

- Das flexible Beleuchtungssystem (Auflicht / Rücklicht) kann optimal an die jeweilige Prüfaufgabe angepasst werden
- Sowohl eine Längen- als auch eine optionale Breitenänderungsmessung sind gleichzeitig möglich. Für die Messung der Breitenänderung ist keine separate Markierung erforderlich. Die Breite kann an einer oder an mehreren Stellen bestimmt werden. Dies erlaubt die Messung der Dehngrenzen im Zugversuch gemäß ISO 6892-1 sowie der r -Werte gemäß ISO 10113 und ISO 10275
- Außerdem kann der videoXtens für Druck- und Biegeprüfungen eingesetzt werden
- Der Messbereich ist variabel und je nach Wahl der Bildgröße bzw. des Objektivs sehr groß
- Automatische Messmarkenerkennung und Erfassung der Anfangsmesslänge L_0
- Präparationsfreie Prüfung bei Proben mit strukturierter Oberfläche durch Mustererkennung. Alternative Präparation von Proben mit homogener, nicht strukturierter Oberfläche mit Musterspray
- Bei Anbindung an *testXpert*® II kann die video Capturing Plus Funktionalität des videoXtens ohne zusätzliche Hardware genutzt werden. Das impliziert eine Integration der Bildsequenz in *testXpert*® II und eine Synchronisierung zu den Messdaten



videoXtens - Berührungslose Messung im temperierten Medienbehälter

Mehr-Kamera-Messsystem videoXtens Array

Die Auflösung des videoXtens hängt vom Sichtfeld der Kamera ab. Je kleiner das Bild, desto besser die Auflösung, aber auch desto kleiner der Messbereich. Erfordert eine Anwendung jedoch einen großen Messweg bei gleichzeitig sehr hoher Auflösung, so bietet die Array-Variante des videoXtens eine flexible Lösung. Dabei werden die überlappenden Sichtfelder von zwei oder mehreren Kameras zu einem großen Sichtfeld zusammengesamt. Markierungen, die das Sichtfeld einer Kamera verlassen werden automatisch zum Sichtfeld der nächsten Kamera weitergereicht.

Mit dem Mehr-Kamera-Messsystem sind verschiedene Konfigurationen möglich: z.B. zwei Kameras in einem videoXtens-Standardgehäuse mit einem Gesamtgesichtsfeld ideal für die meisten Metallzugprüfungen mit einer Ausgangsmesslänge von bis zu 100 mm. Ein aus drei Kameras bestehender Messkopf wird in einem vergrößerten videoXtens-Gehäuse angeboten. Dieser ist besonders geeignet für Prüfungen von Grobblechen, Baustählen, Drähten und auch vielerlei Kunststoffen. Es können aber auch Kameras in je einem Standard-videoXtens-Gehäuse zu einem Array mit einem sehr großen Gesamtgesichtsfeld zusammengesamt werden.

8.2 laserXtens® Systeme

Anwendungsbereich

Aufnehmer aus der Familie der laserXtens Systeme messen berührungslos Verformungen an unterschiedlichsten Materialien. Eine Applikation von Messmarken ist aufgrund des Messprinzips nicht notwendig. Daraus ergibt sich für den Einsatz der laserXtens Systeme ein breites Anwendungsfeld:

- Zug- und Druckprüfungen an Metallen und Kunststoffen
- Prüfungen an Bauteilen
- Tests an Proben, bei denen ein Probenkontakt nicht erwünscht oder aufgrund der Probenbeschaffenheit nicht möglich ist
- Verformungsmessungen an Proben, die bei Bruch aufgrund eines Peitscheneffektes ein berührendes Messsystem beschädigen könnten
- Prüfungen in Temperierkammern
- Anwendungen, bei denen biaxiale Verformungsmessungen notwendig sind

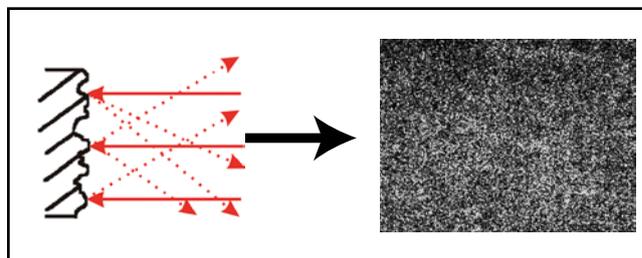
Auch Messungen an kleinen Probengeometrien sind mit laserXtens Systemen mit hoher Auflösung einfach durchführbar. Aufgrund der Flexibilität und einfachen Handhabung eignet sich der laserXtens sowohl für Anwendungen im klassischen Qualitätssicherungsbereich als auch in der Forschung und Entwicklung.

Funktionsbeschreibung

laserXtens Systeme bestehen aus Messköpfen mit digitalen Kameras und Laserlichtquellen. Der Prüfling wird mit Laserlicht beleuchtet, wodurch ein Speckle-Muster an der Probenoberfläche erzeugt wird.

Die Probenoberfläche mit den Speckle-Mustern wird mit Vollbild-Digitalkameras aufgezeichnet. Innerhalb des Gesamtbildes (= Gesichtsfeld) einer Kamera wird ein Auswertefenster gesetzt. Das Speckle-Muster innerhalb dieses Auswertefensters entspricht einer Art Fingerabdruck der Probenoberfläche. Man spricht von einer virtuellen Messmarke. Diese virtuelle Messmarke wurde von dem laserXtens mit Hilfe eines hochentwickelten Korrelationsalgorithmus zwischen den einzeln aufgenommenen Bildern der Kamera verfolgt. Dieser Vorgang wird als Speckle Tracking bezeichnet.

Wird die Probe belastet, verschieben sich die virtuellen Messmarken und die Auswertefenster werden nachgeführt. Aus der Verschiebung von zwei hintereinander aufgenommenen Bildern berechnet der laserXtens die Dehnung am Prüfling.



Ein Speckle Muster wird an der Probenoberfläche durch Laserlicht erzeugt

Jedes Kamerabild enthält ein Auswertefenster. Die Anfangsmesslänge wird durch die zwei gelben Fadenkreuze definiert. Optional können zwei weitere virtuelle Messmarken in Querrichtung parallel vermessen werden.

Ausführungen

Es sind verschiedene Ausführungen erhältlich:

- laserXtens und laserXtens HP: Der Messkopf besteht aus zwei Kameras, die auf motorisierten Schlitzen montiert sind. Damit können die Abstände zwischen den Kameras variiert und somit unterschiedliche Ausgangsmesslängen eingestellt werden
- laserXtens Compact und laserXtens Compact HP: Ein-Kamera-Systeme für kleine bis kleinste Proben
- laserXtens Array: Ein Messkopf bestückt mit vier fix montierten Kameras, deren Gesichtsfelder zu einem großen Bild zusammengefasst werden

Vorteile / Merkmale der laserXtens Systeme

- laserXtens Systeme verfügen über eine hohe Präzision im Mikro und Makro-Messbereich
- laserXtens Systeme haben keinen Kontakt zur Probe, die Messung wird durch das Laserlicht nicht beeinflusst
- Probenmarkierungen werden nicht benötigt. Dies bringt einige Vorteile mit sich:
 - Zeitersparnis, insbesondere bei hohem Probendurchsatz
 - Einsatz in Temperierkammern und Hochtemperaturöfen
 - Einfacher Einsatz in automatisierten Anlagen, da keine manuelle Probenvorbereitung notwendig ist
- laserXtens Systeme können im Gegensatz zu berührenden Aufnehmern oder reinen Videolösungen mit hoher Genauigkeit auch Dehnungen an kurzen Proben mit Messlängen ab 1,5 mm messen
- Der laserXtens ist in testXpert® II integriert. Dazu wird ein separater 22"-Monitor empfohlen, um das Live-Bild des laserXtens parallel zur testXpert®-Anzeige verfolgen zu können

laserXtens®

Ausführungen

Der laserXtens kann mit verschiedenem Abstand zur Probe angebaut werden und ist daher unter anderem zum Einsatz in Temperierkammern geeignet. Der laserXtens HP wird mit geringem Abstand zur Probe angebaut und ist somit für dehnungsgeregelte Versuche gemäß ISO 6892-1 Methode A1 „Closed Loop“ geeignet.

Funktionsbeschreibung

Der Algorithmus arbeitet in zwei unterschiedlichen Modi. Solange die virtuelle Messmarke innerhalb dem Gesichtsfeld der Kamera wandert, wird sie mitverfolgt. Dieser Versatz entspricht dem Messwert. Typischerweise kann damit ein Messweg bis zu 40 mm abgedeckt werden. Sobald die virtuellen Messmarken an den Rand des Gesichtsfeldes gelangen, wird auf einen zweiten Messmodus umgeschaltet. In diesem Modus wird der Durchfluss des Materials unter dem Auswertefenster gemessen und daraus der Messwert bestimmt. Je nach Werkstoff bzw. Verformung des Probekörpers werden auch mit diesem nicht normgerechten Verfahren gute Ergebnisse (d. h. Genauigkeitsklasse 1) erreicht.

Das gesamte Messsystem wird über eine mechanische Ankopplung an die Traverse mit halber Traversengeschwindigkeit nachgeführt. Dadurch wird der Aufnehmer in der Probenmitte gehalten und der Messbereich für das Speckle Tracking erweitert.

Vorteile / Merkmale

- Der laserXtens HP kann für dehnungsgeregelte Versuche nach ISO 6892-1 Methode A1 „Closed Loop“ eingesetzt werden. Geeignet für Messlängen ≥ 50 mm
- Der laserXtens erfüllt die Klasse 1 (0,5 für laserXtens HP) der ISO 9513 (Klasse B2 der ASTM E83)
- Die Auflösung beträgt $0,15 \mu\text{m}$ ($0,11 \mu\text{m}$ für laserXtens HP)
- Der laserXtens kann auch zur gleichzeitigen Messung von Axialdehnung und der Torsion eingesetzt werden

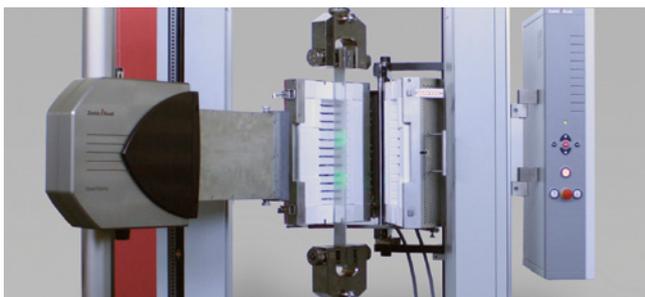


Bild 1: Der laserXtens kann mit grünem Laserlicht und HT-Tunnel auch bei Hochtemperatur Prüfungen bis 1000°C eingesetzt werden

laserXtens Compact

Anwendungsbereich

Diese Ein-Kamera-Messsysteme sind besonders für die Prüfung kleiner bis kleinster Proben geeignet.

Da nur mit einer Kamera gearbeitet wird, erscheinen beide Speckle-Auswertefenster in einem einzigen Bild. Die Anfangsmesslänge kann in diesem Fall die Größe des Gesichtsfeldes nicht überschreiten. Die Anfangsmesslänge entspricht dem Abstand der Auswertefenster.

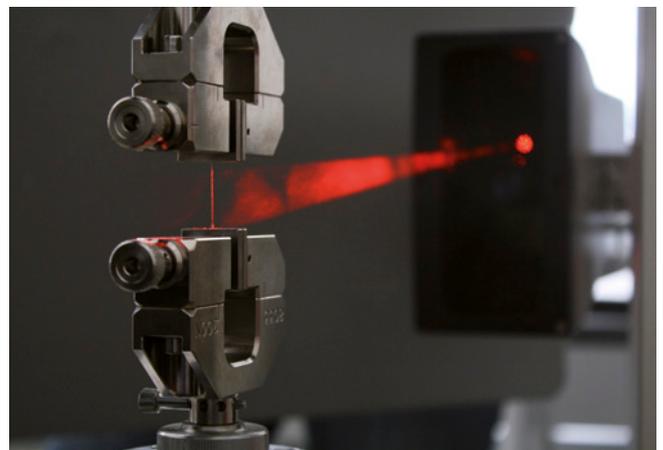


Bild 2: laserXtens Compact

Ausführungen

Der laserXtens Compact kann mit allen Zwick Tisch- und Stand-Prüfmaschinen der Allround-Line verwendet werden. Der laserXtens Compact HP ist für den Anbau an die PrecisionLine Vario konzipiert.

Vorteile / Merkmale

- Der laserXtens Compact erfüllt die Klasse 0,5 der ISO 9513 (Klasse B2 der ASTM E83)
- Die Auflösung beträgt $0,15 \mu\text{m}$ ($0,04 \mu\text{m}$ für laserXtens Compact HP an PrecisionLine Vario)
- Ohne zusätzliche Markierungen kann der laserXtens Compact auch Querdehnungen erfassen, biaxiales Messen ist möglich

laserXtens Array

Anwendungsbereich

Anders als der Standard-laserXtens, bei dem mittels zweier digitaler Kameras auf motorisierten Schlitzen unterschiedliche Ausgangsmesslängen eingestellt werden können, besteht der Messkopf des laserXtens Array aus vier fix montierten hochauflösenden Kameras.

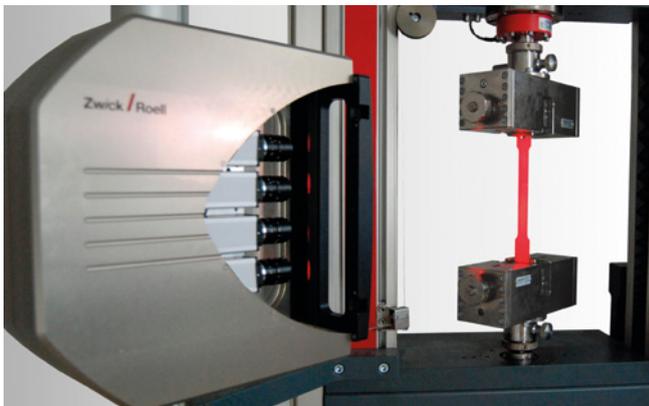


Bild 1: laserXtens Array mit vier Kameras

Funktionsbeschreibung

Die überlappenden Sichtfelder der vier Kameras werden zu einem einzigen, großen Bild zusammengefasst. Die beiden virtuellen Messmarken werden auch hier während des Belastungsvorganges mitverfolgt (Speckle Tracking). Stößt eine Messmarke an den Rand des Sichtfeldes einer Kamera, wird sie an das Sichtfeld der angrenzenden Kamera weitergereicht. Durch dieses Verfahren wird der Messbereich wesentlich vergrößert.

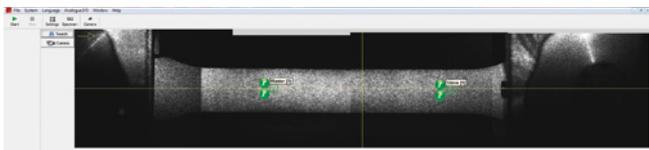


Bild 2: Aus vier Bildern zusammengesetztes Gesamtbild der Probe

Erst wenn eine der Messmarken an den Rand des Gesamtgesichtsfeldes gelangt, wird auf den Durchflussmodus umgeschaltet. Hier wird der Durchfluss des Materials unter dem Auswertefenster gemessen und daraus der Messwert bestimmt. Je nach Werkstoff bzw. Verformung des Probenkörpers werden auch mit diesem nicht normgerechten Verfahren gute Ergebnisse (d. h. Genauigkeitsklasse 1) erreicht.

Vorteile / Merkmale

- Der laserXtens Array verfügt über einen sehr großen Messbereich
- Der laserXtens Array weist keine sich bewegenden Teile auf und ist völlig wartungsfrei
- Der laserXtens Array erfüllt die Klasse 1 der ISO 9513 (Klasse B2 der ASTM E83)
- Die Auflösung beträgt $0,15 \mu\text{m}$
- Das Einstellen von unterschiedlichen Messlängen geschieht in Sekundenbruchteilen
- Ohne zusätzliche Markierungen kann der laserXtens Array auch Querdehnungen erfassen, biaxiales Messen ist möglich
- Optional kann der Aufnehmer zu einem Hybrid-System laserXtens Array/videoXtens ausgebaut werden. Mit einer weiteren Kamera für die Breitenänderungsmessung können dann z.B. die r-Werte nach ISO 10113 und ISO 10275 bestimmt werden

8.3 lightXtens®

Anwendungsbereich

Der lightXtens Längenänderungsaufnehmer eignet sich besonders für sichere und genaue Messungen bei Zug-Prüfungen an hochdehnbaren, hochelastischen und berührungsempfindlichen Materialien. Dies sind beispielsweise die Prüfung von Elastomeren und Naturkautschuk (Latex) oder alle Arten von Folien.

Der lightXtens eignet sich für alle Probenkörper, die eine hohe Bruchenergie aufweisen und bei Bruch peitschenartig zurückschlagen und mechanische, berührende Messsysteme beschädigen können. Dies ist beispielsweise oft bei Gurten, Seilen oder Stahllitzen der Fall.

Der lightXtens misst die Verformung berührungslos und exakt, auch unter erweiterten Temperaturbedingungen in Temperierkammern.

Die Robustheit in der Prüfung und die Einfachheit in der Bedienung machen den lightXtens zu einer interessanten Alternative im Vergleich zu video- oder laser-basierten Längenänderungsaufnehmern.



Bild 1: lightXtens

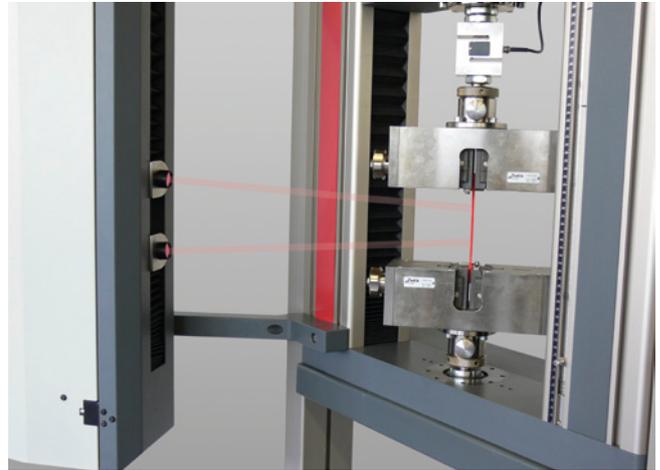


Bild 2: Der lightXtens erkennt die Messmarken automatisch

Vorteile / Merkmale

- Der lightXtens Längenänderungsaufnehmer arbeitet berührungslos und ist für Zug- und Druckversuche geeignet
- Er erfüllt die Genauigkeitsklasse 1 gemäß ISO 9513 ab 3 mm
- Der lightXtens eignet sich für den Einsatz im erweiterten Temperaturbereich bei Einsatz in Verbindung mit Temperierkammern. Ein Wechsel zwischen Raumtemperatur und erhöhter Temperatur ist ohne spezielle Einrichtung möglich
- Die Anbindung an die *testControl* Elektronik erfolgt über ein digitales Bussystem – die Kraft-Weg Erfassung erfolgt synchronisiert
- Die Messmarken werden automatisch erkannt
- Die Anfangsmesslänge wird während der Prüfung automatisch bestimmt und an *testXpert*® II übertragen
- Der lightXtens arbeitet verschleißfrei und ist wartungsarm
- Die Bedienung des lightXtens ist sehr einfach:
 - Die Probenvorbereitung ist simpel, sie wird durch manuelle oder automatische Markiergeräte durchgeführt
 - Die Optik muss nicht justiert oder konfiguriert werden
 - Der Prüfablauf des Aufnehmers (Ansetzen, Bestimmung der Anfangsmesslänge und Aufnehmer in Ausgangsposition fahren) erfolgt vollautomatisch
 - Der lightXtens ist unempfindlich gegenüber wechselnden Umgebungsbedingungen wie Fremdlicht

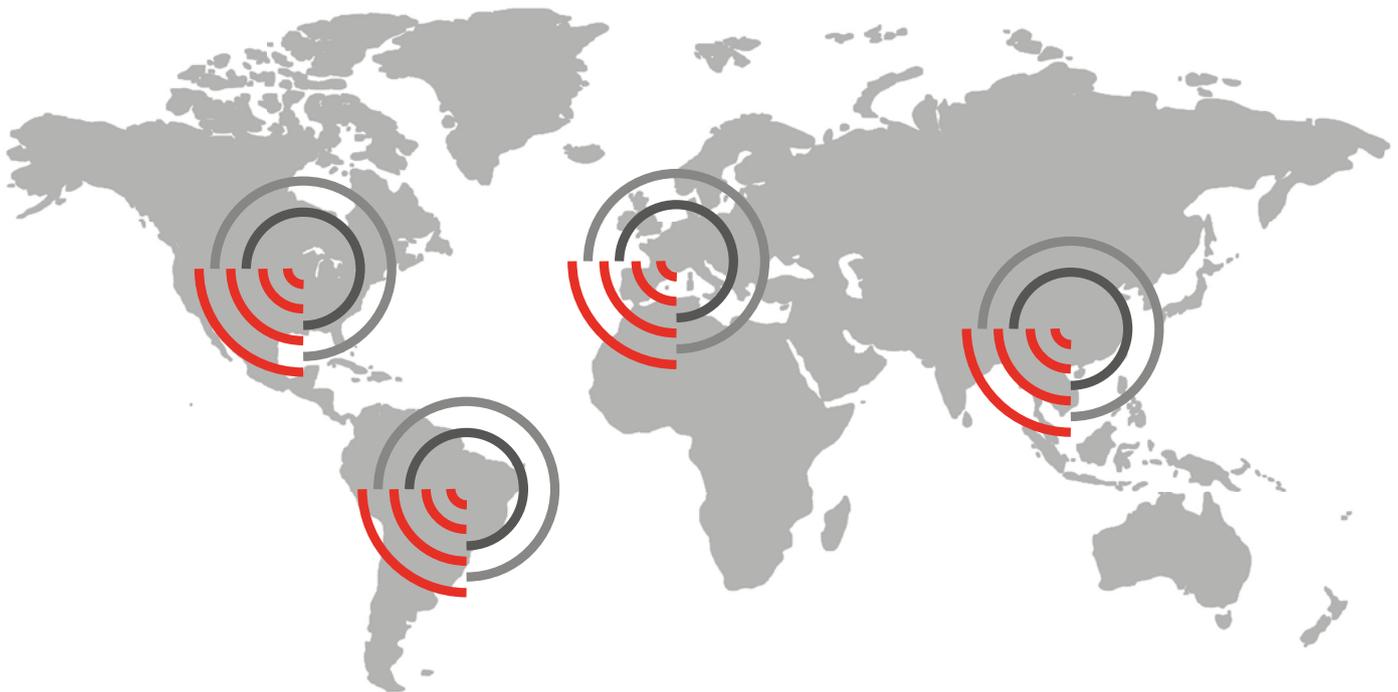
Zwick Roell AG
August-Nagel-Str. 11
D-89079 Ulm
Tel. +49 7305 10 - 0
Fax +49 7305 10 - 200
info@zwickroell.com
www.zwickroell.com

Unternehmen der Zwick Roell AG

Zwick GmbH & Co. KG
www.zwick.com

Messphysik Materials Testing GmbH
www.messphysik.com

GTM Gassmann Testing and Metrology
www.gtm-gmbh.com



Ganz in Ihrer Nähe – Weltweit

Zwick UK
www.zwick.co.uk

Zwick Ibérica
www.zwick.es

Zwick Avrasya
www.zwick.com.tr

Zwick Korea
www.zwick.co.kr

Zwick France
www.zwick.fr

Zwick Norge
www.zwick.no

Zwick USA
www.zwickusa.com

Zwick India
www.zwick.co.in

Zwick Belux
www.zwick.be

Zwick Sveriga
www.zwick.se

Zwick Brazil
www.panambrazwick.com.br

Zwick Venlo
www.zwick.nl

Zwick CR, SR
www.zwick.cz

Zwick Asia
www.zwick.com.sg

Zwick Italia
www.zwickroell.it

Zwick Polska
www.zwick.pl

Zwick China
www.zwick.cn